



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**FOSCO EMMANUEL GUGLIOTTA RUGGERI CHAPARRO**

**RESPOSTAS HIDROSEDIMENTOLÓGICAS EM AMBIENTES COM  
DIFERENTES NÍVEIS DE CONSERVAÇÃO**

**FORTALEZA**

**2024**

FOSCO EMMANUEL GUGLIOTTA RUGGERI CHAPARRO

RESPOSTAS HIDROSEDIMENTOLÓGICAS EM AMBIENTES COM DIFERENTES  
NÍVEIS DE CONSERVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará como requisito para obter o título de Mestre em Ecologia e Recursos naturais. Linha de Pesquisa: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C431r Chaparro, Fosco Emmanuel Gugliotta Ruggeri.  
Respostas hidrossedimentológicas em ambientes com diferentes níveis de conservação / Fosco Emmanuel  
Gugliotta Ruggeri Chaparro. – 2024.  
128 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação  
em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.
1. Bacias hidrográficas. 2. Escoamento. 3. Erosão. 4. Caatinga. I. Título.

CDD 577

---

FOSCO EMMANUEL GUGLIOTTA RUGGERI CHAPARRO

RESPOSTAS HIDROSEDIMENTOLÓGICAS EM AMBIENTES COM DIFERENTES  
NÍVEIS DE CONSERVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará como requisito para obter o título de Mestre em Ecologia e Recursos naturais. Linha de Pesquisa: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Aprovado em: 19/01/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Presidente)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Deodato do Nascimento Aquino (Examinador Externo à Instituição)

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)

---

Prof. Dr. George Leite Mamede (Examinador Externo à Instituição)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dra. María Lidia Aranda Espinoza (Examinador Externo à Instituição)

Universidad Nacional de Asunción (UNA) - Paraguay

A Dios.

A mis padres, Berta y Daniel.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001.

Agradezco a la Organización de los Estados Americanos (OEA) por la oportunidad.

Al Grupo de Cooperación de Universidades Brasileiras (GCUB) por el apoyo.

Al Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes, por su excelente dirección y orientación.

A la Prof. Isabel por la ayuda brindada en el proceso de análisis de laboratorio.

A la Prof. María Lidia, por no dejar nunca de creer en mí.

Al Programa de Pos-Graduación en Ecología y Recursos Naturales (PPGERN) y sus excelentes profesores.

A mis compañeros de clase del máster, por las reflexiones, críticas y sugerencias recibidas.

Al grupo MASSA por tenerme como compañero.

Al DENA por su apoyo como Departamento.

A mis amigos del DENA Erika, Eduardo, Josivan, Karoline y Melina.

A mis amigos de lucha y trabajo de campo Leticia y Mirelio.

A la Fazenda Experimental Vale do Curu, especialmente a mis amigos Seu Zé y Vladimir.

A mi familia, mis amigos, Adelina, Arnaldo, Carolina, Juan, Narel, Pamela y Sara.

A mis amigos de FCA-UNA.

A mi hermano colombiano Juan.

“Estudie la naturaleza, ame la naturaleza, llegue  
cerca de la naturaleza. Ella nunca falla”

-Frank Lloyd Wright

## RESUMO

A pesquisa conduzida na Bacia Experimental do Vale do Curu, Ceará, teve como objetivo analisar as Microbacias efêmeras na Caatinga, uma região semiárida notável por sua extensa biodiversidade, mas que sofre degradação intensa devido à ação humana. Com foco na conservação do solo, o estudo abrangeu quatro áreas distintas, variando em termos de cobertura vegetal e práticas de manejo. A metodologia empregada incluiu a instalação de estruturas como pluviômetros, tanque classe A e sensores automáticos. Parcelas de erosão foram estabelecidas para monitoramento, permitindo a avaliação de diferentes áreas: Caatinga Densa (46 anos de conservação), Caatinga Rala (15 anos), Cobertura Herbácea (1 ano) e Solo Exposto (sem cobertura após 3 anos de agricultura familiar). Ao longo de sete meses, foram monitorados 57 eventos pluviométricos, revelando uma distribuição concentrada nos meses de março e abril. A precipitação total excedeu a média regional em 4,4%. A análise da erosividade indicou a influência significativa de eventos de chuva com lâminas superiores a 20 mm na ocorrência de erosão hídrica. Os resultados destacaram a relação direta entre a cobertura do solo e o lâmina de escoamento, evidenciando a importância crucial da vegetação na mitigação da erosão. A Caatinga Densa, com 46 anos de conservação, mostrou-se mais eficaz na redução de escoamento, perda de solo e nutrientes, em comparação com áreas cultivadas. A metodologia de coletas, análises laboratoriais e mensurações de parâmetros físico-químicos contribuiu para a compreensão da interação entre processos de resposta, erosão, escoamento e conservação da cobertura do solo. A análise estatística, incluindo a Análise de Componentes Principais, foi empregada para interpretar a associação entre variáveis. Em suma, o estudo não apenas fornece insights importantes sobre a dinâmica da erosão do solo e perda de nutrientes na Caatinga, mas também destaca a eficácia das práticas de conservação ao longo do tempo, com base na metodologia robusta que incorpora diversas técnicas de monitoramento e análise.

**Palavras-chave:** bacias hidrográficas; escoamento; erosão; caatinga.

## ABSTRACT

The research conducted in the Experimental Basin of the Curu Valley, Ceará, aimed to analyze ephemeral Watersheds in the Caatinga, a semi-arid region known for its extensive biodiversity but paradoxically subjected to intense degradation due to human activity. Focusing on soil conservation, the study covered four distinct areas, varying in terms of vegetation cover and management practices. The methodology employed included the installation of structures such as rain gauges, Class A tanks, and automatic sensors. Erosion plots were established for monitoring, allowing the assessment of different areas: Dense Caatinga (46 years of conservation), Sparse Caatinga (15 years), Herbaceous Cover (1 year), and Exposed Soil (no cover after 3 years of family farming). Over seven months, 57 rainfall events were monitored, revealing a concentrated distribution in the months of March and April. The total precipitation exceeded the regional average by 4.4%. Erosivity analysis indicated the significant influence of rainfall events with volumes exceeding 20 mm on the occurrence of water erosion. The results highlighted the direct relationship between soil cover and runoff volume, underscoring the crucial importance of vegetation in mitigating erosion. Dense Caatinga, with 46 years of conservation, proved more effective in reducing runoff, soil loss, and nutrient loss compared to cultivated areas. The methodology of sample collection, laboratory analysis, and measurement of physicochemical parameters contributed to understanding the interaction between response processes, erosion, runoff, and soil cover conservation. Statistical analysis, including Principal Component Analysis, was employed to interpret the association between variables. In summary, the study not only provides important insights into the dynamics of soil erosion and nutrient loss in the Caatinga but also highlights the effectiveness of conservation practices over time, based on a robust methodology incorporating various monitoring and analysis techniques.

**Keywords:** watersheds; runoff; erosion; caatinga.

## RESUMEN

La investigación realizada en la Cuenca Experimental del Valle del Curu, Ceará, tuvo como objetivo analizar las Microcuencas efímeras en la Caatinga, una región semiárida conocida por su extensa biodiversidad pero paradójicamente sometida a una intensa degradación debido a la actividad humana. Con un enfoque en la conservación del suelo, el estudio abarcó cuatro áreas distintas, variando en términos de cobertura vegetal y prácticas de manejo. La metodología empleada incluyó la instalación de estructuras como pluviómetros, tanques Clase A y sensores automáticos. Se establecieron parcelas de erosión para el monitoreo, permitiendo la evaluación de diferentes áreas: Caatinga Densa (46 años de conservación), Caatinga Rala (15 años), Cobertura Herbácea (1 año) y Suelo Explotado (sin cobertura después de 3 años de agricultura familiar). A lo largo de siete meses, se monitorearon 57 eventos pluviométricos, revelando una distribución concentrada en los meses de marzo y abril. La precipitación total superó la media regional en un 4,4%. El análisis de erosividad indicó la influencia significativa de eventos de lluvia con volúmenes superiores a 20 mm en la ocurrencia de erosión hídrica. Los resultados resaltaron la relación directa entre la cobertura del suelo y el volumen de escorrentía, subrayando la importancia crucial de la vegetación en la mitigación de la erosión. La Caatinga Densa, con 46 años de conservación, demostró ser más efectiva en la reducción de la escorrentía, pérdida de suelo y nutrientes en comparación con áreas cultivadas. La metodología de recolección de muestras, análisis de laboratorio y medición de parámetros físicoquímicos contribuyó a comprender la interacción entre los procesos de respuesta, erosión, escorrentía y conservación de la cobertura del suelo. El análisis estadístico, incluida la Análisis de Componentes Principales, se empleó para interpretar la asociación entre variables. En resumen, el estudio no solo proporciona importantes perspectivas sobre la dinámica de la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes en la Caatinga, sino que también destaca la eficacia de las prácticas de conservación a lo largo del tiempo, basándose en una metodología sólida que incorpora diversas técnicas de monitoreo y análisis.

**Palabras clave:** cuencas hidrográficas; escorrentía; erosión; caatinga.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização do Sítio – Fazenda Experimental do Vale do Curu – FEVC.....	42
Figura 2 -	Parcela CN0 no período seco.....	44
Figura 3 -	Coleta de amostras de água dos tanques coletores.....	48
Figura 4 -	Pluviômetros.....	48
Figura 5 -	Comportamento das chuvas.....	50
Figura 6 -	Comportamento dos eventos de precipitação e dos eventos de escoamento por tratamento.....	53
Figura 7 -	Precipitação e Erosividade (EI30) dos eventos erosivos.....	54
Figura 8 -	A influência da intensidade máxima de precipitação em relação ao escoamento.....	56
Figura 9 -	Umidade do solo em função do manejo do solo analisado e da precipitação incidente, no período de fevereiro a julho de 2022.....	57
Figura 10 -	Localização do Sítio – Fazenda Experimental do Vale do Curu – FEVC.....	73
Figura 11 -	Vertedouro da MEVC.....	76
Figura 12 -	Granulometria do sedimento erodido nos eventos de escoamento.....	77
Figura 13 -	Perda de solos em relação aos eventos de chuva.....	77
Figura 14 -	Perda de solos nas calhas de acordo aos eventos de precipitação.....	82
Figura 15 -	Perda total de nutrientes por classe de chuva.....	89
Figura 16 -	Granulometria do sedimento de perda no Manejo Sem Cobertura Vegetal em relação aos eventos de chuva.....	91
Figura 17 -	Granulometria do sedimento de perda na MEVC em relação a vazão.....	92
Figura 18 -	Porcentagem de variação explicada para cada dimensão.....	95
Figura 19 -	Autovalores para cada dimensão.....	95
Figura 20 -	Gráfico de corte dos componentes.....	96

Figura 21 -	Contribuição das variáveis na PC1.....	98
Figura 22 -	Contribuição das variáveis na PC2.....	99
Figura 23 -	Contribuição das variáveis na PC3.....	100
Figura 24 -	Contribuição das variáveis na PC4.....	101
Figura 25 -	Contribuição de elemento da PCA comparando as duas PCs principais.	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Solos e coberturas vegetais do Semiárido.....	24
Tabela 2 -	Redução do escoamento frente ao coeficiente CP.....	26
Tabela 3 -	Características físicas das parcelas e cobertura.....	45
Tabela 4 -	Resultados físicos dos solos.....	46
Tabela 5 -	Resultados químicos dos solos.....	46
Tabela 6 -	Classificação dos eventos de precipitação.....	51
Tabela 7 -	Resumo dos processos de perda de água nas parcelas em 2022.....	52
Tabela 8 -	Erosividade mensal no período 2022.....	54
Tabela 9 -	Valores mínimos, máximos e médios da umidade em relação aos dias geradores de escoamento na altura P3 (>20mm).....	58
Tabela 10 -	Histórico de valores da umidade do dia com o evento de maior escoamento nos quatro tratamentos.....	59
Tabela 11 -	Valores mínimos, máximos e médios da temperatura em relação aos dias geradores de escoamento na altura P3 (>20mm).....	60
Tabela 12 -	Histórico de valores da temperatura do dia com o evento de maior escoamento nos quatro tratamentos.....	61
Tabela 13 -	Perda de Sólidos Totais por classe de chuva.....	81
Tabela 14 -	Perda de nutrientes no período 2022.....	84
Tabela 15 -	Média do pH e CE no período 2022.....	85
Tabela 16 -	Classificação da perda de nutrientes de acordo as classes de chuvas.....	88
Tabela 17 -	Matriz de cargas fatoriais das variáveis transformadas das principais componentes selecionadas.....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análises de Variância
AST	Análise de Sólidos Totais
BEVC	Bacia Experimental Vale do Curu
CN	Cobertura Natural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
FEVC	Fazenda Experimental Vale do Curu
FTSS	Floresta Tropical Sazonalmente Seca
I30	Intensidade de chuva em 30 minutos
KMO	Teste de Kaiser–Meyer–Olkin
MANOVA	Análises multivariante de variância
MASSA	Grupo de pesquisa e extensão Manejo de Água e Solo no Semiárido
MEVC	Microbacia Experimental Vale do Curu
NR	Não Representativo
P	Precipitação Incidente
PCA	Principal Component Analysis
PPGERN	Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFC	Universidade Federal do Ceará
U/T	Relação Umidade – Temperatura
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius

## SUMARIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.</b>	<b>Hipóteses e Objetivos.....</b>	<b>20</b>
1.1.1.	Hipótese.....	20
1.1.2.	Objetivos.....	20
1.1.2.1.	<i>Geral</i> .....	20
1.1.2.2.	<i>Específicos</i> .....	20
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO I - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Floresta Tropical Sazonalmente Seca – Vegetação e Clima.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Caatinga Brasileira.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3</b>	<b>Manejo e conservação do solo na Caatinga.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Escoamento superficial na Caatinga como fenômeno relacionado a perda de solo.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Erosão na Caatinga como fenômeno relacionado a perda de solo.....</b>	<b>27</b>
2.5.1	Temperatura como fator abiótico que influencia na conservação do solo...	27
2.5.2	Umidade como fator abiótico que influencia na conservação do solo.....	28
<b>2.6</b>	<b>Dinâmica das chuvas em relação a perda de solos.....</b>	<b>28</b>
<b>2.7</b>	<b>Dinâmica dos processos hidrossedimentológicos nas parcelas experimentais.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8</b>	<b>Avaliação de processos hidrossedimentológicos a partir de análise multivariada.....</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO II - ANÁLISE DO ESCOAMENTO EM RELAÇÃO AO COMPORTAMENTO DAS CHUVAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE COBERTURA DE SOLOS NO SEMIÁRIDO.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>40</b>
4.1.1	Hipóteses e Objetivos.....	41
4.1.1.1	<i>Hipótese</i> .....	41
4.1.1.2	<i>Objetivo</i> .....	41
<b>4.2</b>	<b>Material e métodos.....</b>	<b>42</b>
4.2.1	Área de estudo.....	42
4.2.2	Parcelas experimentais.....	43
4.2.3.	Cobertura das parcelas.....	44

4.2.4	Aspectos físicos e químicos dos solos.....	45
<b>4.3.</b>	<b>Medição dos fatores abióticos que influenciam a conservação do solo.</b>	<b>46</b>
4.3.1.	Umidade.....	46
4.3.2.	Temperatura.....	47
<b>4.4.</b>	<b>Coletas de água.....</b>	<b>47</b>
<b>4.5.</b>	<b>Precipitação pluviométrica.....</b>	<b>48</b>
<b>4.6</b>	<b>Estimativa da intensidade e erosividade.....</b>	<b>49</b>
<b>4.7</b>	<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>50</b>
4.8.1	Comportamento da precipitação pluviométrica.....	50
4.8.2	Escoamento superficial.....	51
4.8.3	Estimativa de perda de solos.....	53
4.8.4	Influência da umidade do solo na perda de água.....	56
4.8.5	Influência da temperatura do solo na perda de água.....	59
<b>4.9</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>63</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>6.</b>	<b>CAPÍTULO III - ANÁLISE DA PERDA DE SOLO E</b>	
	<b>NUTRIENTES SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE</b>	
	<b>SOLO NO SEMIÁRIDO.....</b>	<b>68</b>
<b>6.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>70</b>
6.1.1	Hipóteses e Objetivos.....	71
6.1.1.1	<i>Hipóteses.....</i>	71
6.1.1.2	<i>Objetivos.....</i>	71
<b>6.2</b>	<b>Material e métodos.....</b>	<b>72</b>
6.2.1	Área de estudo.....	72
6.2.2.	Análise de perda de solo e água.....	73
6.2.3	Nutrientes na água.....	74
6.2.3.1	<i>Complexo Ca+Mg.....</i>	74
6.2.3.2	<i>Sódio e Potássio.....</i>	74
6.2.3.3	<i>Fósforo.....</i>	74
6.2.4	Cálculo de vazão nas microbacia.....	74
6.2.5	Aspectos físicos do escoamento dos tanques das parcelas de erosão.....	77
6.2.6.	Modelo de análise dos dados.....	77
<b>6.3</b>	<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>79</b>

6.3.1	Perda de Sólidos Totais.....	79
6.3.1.1	<i>Perda de Sólidos Totais nas Parcelas de Erosão.....</i>	79
6.3.1.2	<i>Medidas de Perda de Sólidos Totais por classe de chuva.....</i>	80
6.3.1.3	<i>Perda de Sólidos Totais nas Microbacias.....</i>	82
6.3.2	Estimativa de perda de nutrientes.....	83
6.3.2.1	<i>Estimativa de perda de nutrientes de acordo as classes de chuva.....</i>	87
6.3.3	Granulometria do sedimento de perda na parcela sem cobertura vegetal....	89
6.3.4.1	<i>Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais (PCA).....</i>	94
6.3.4.2	<i>Variáveis dominantes para cada PC.....</i>	96
6.3.4.3	<i>Variáveis que melhor explicam o PC1.....</i>	97
6.3.4.4	<i>Variáveis que melhor explicam o PC2.....</i>	98
6.3.4.5	<i>Variáveis que melhor explicam o PC3.....</i>	99
6.3.4.6	<i>Variáveis que melhor explicam o PC4.....</i>	100
6.3.4.7	<i>Análise das duas principais dimensões.....</i>	101
<b>6.4</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>104</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>8.</b>	<b>CAPÍTULO IV - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>112</b>
<b>8.1.</b>	<b>Impacto Positivo das Práticas de Conservação.....</b>	<b>112</b>
<b>8.2.</b>	<b>Potencial Excepcional da Caatinga Densa e Rala.....</b>	<b>112</b>
<b>8.3.</b>	<b>Abordagem Integrada: Da Parcela à Microbacia.....</b>	<b>112</b>
<b>8.4.</b>	<b>O Papel Essencial da Análise de Componentes Principais (PCA).....</b>	<b>112</b>
<b>9.</b>	<b>CAPÍTULO V – RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>114</b>
<b>9.1.</b>	<b>Investigação Detalhada das Características Microbiológicas.....</b>	<b>114</b>
<b>9.2.</b>	<b>Continuidade dos Estudos sobre Granulometria no Sedimento de Escoamento.....</b>	<b>114</b>
<b>9.3.</b>	<b>Combinação da Análise PCA com a Metodologia USLE.....</b>	<b>114</b>
<b>9.4.</b>	<b>Revitalização e Expansão da Rede de Monitoramento.....</b>	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>116</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Semiárido Brasileiro é o maior Semiárido tropical do mundo, com uma área de 1,03 milhão de km<sup>2</sup>, correspondente a 12% do território nacional (CEARÁ, 2019). Ele abrange 1427 municípios, nos estados do Nordeste Brasileiro e parte setentrional de Minas Gerais (SUDENE, 2021), delimitado pelas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de N°107, de 27/07/2017 e de N° 115, de 23/11/2017 (PERNAMBUCO, 2017). A classificação da região como semiárida se estabelece sob três critérios principais: precipitação pluviométrica média anual ( $\leq 800$  mm) (SILVA *et al.*, 2021); índice de aridez de Thornthwaite ( $\leq 0,50$ ) e; percentual diário de déficit hídrico ( $\geq 60\%$ ) (CEARÁ, 2019).

Tanto a extensão como as características naturais da área são a chave para um desenvolvimento humano adaptado, que resulta em uma população marcada pela convivência com a seca. A população do Semiárido é de aproximadamente 30,3 milhões de pessoas (IBGE, 2022). Dentro desse território, a Caatinga representa o bioma dominante na extensão e ao mesmo tempo na degradação (QUEIROZ *et al.*, 2017). Cobre 80% do Semiárido Brasileiro, possui uma diversidade resultante de variações geomorfológicas, climáticas, topográficas e das ações antrópicas, que influenciam na distribuição e diversidade das espécies vegetais (SALES *et al.*, 2021).

Provavelmente seja o bioma menos estudado em relação à flora e à fauna, e um dos que têm sofrido mais degradação nos últimos 400 anos devido ao uso desordenado e predatório dos seus recursos naturais (BEZERRA *et al.*, 2014), representando o terceiro bioma mais degradado do Brasil, com 51% de área alterada pela ação humana (OLIVEIRA *et al.*, 2013). A Caatinga é testemunha das consequências resultantes da alteração antrópica descontrolada sob um ambiente sensível.

Essa região é afetada por fenômenos específicos, erosão hídrica e o escoamento, consequência do manejo inadequado de solos (CUNHA *et al.*, 2013). Sendo esses os principais problemas ambientais, pois, além de causar assoreamento dos corpos hídricos, provoca danos irreversíveis nos locais de origem, diminuindo a fertilidade do solo, reduzindo o potencial produtivo (MARIOTI *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2018a).

O desconhecimento e a desatualização são os caminhos para continuar com a degradação do bioma (CUNHA *et al.*, 2013). Por exemplo, não ter informações atualizadas

sobre os movimentos de água, sedimentos e nutrientes entre compartimentos das bacias hidrográficas, e sua relação com a Caatinga, pode levar ao manejo inapropriado do bioma (SANTOS *et al.*, 2018b), com risco de degradação dos recursos naturais e intensificação do processo de desertificação, já verificado em algumas regiões (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Atualmente, apesar do amplo conhecimento adquirido sobre o tema, a utilização do solo frequentemente ocorre sem a devida atenção à preservação de suas características físicas e químicas. Essa lacuna evidencia a necessidade urgente de mais estudos e análise que se concentrem na erosão e no manejo adequado do solo (TOLEDO, 2023). Tais estudos são fundamentais para compreender melhor as dinâmicas do solo, promover práticas de uso sustentável e contribuir significativamente para a conservação de suas propriedades essenciais. A pesquisa proposta visa preencher essa lacuna, destacando a importância crucial de um manejo do solo que leve em consideração não apenas a produção agrícola imediata, mas também a preservação a longo prazo da fertilidade e da saúde do solo.

## **1.1. Hipóteses e Objetivos**

### 1.1.1. Hipótese

- a. Os níveis de cobertura vegetal são mais eficientes na redução de perda de solo e água, e consequentemente, de nutrientes, estabilidade na temperatura e na umidade.
- b. Quanto maior o pousio da Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) menor são as perdas de solo e água no ambiente semiárido.

### 1.1.2. Objetivos

#### *1.1.2.1. Geral*

Analisar e determinar como os processos de resposta das parcelas experimentais se relacionam com o grau de conservação dos solos. Identificar o possível vínculo entre o grau de influência da cobertura do solo com a geração de escoamento superficial, tomando isso como base para avaliar as perdas de solo, água e nutrientes sob diferentes níveis de cobertura.

#### *1.1.2.2. Específicos*

1. Mensurar a perda de solo e água em diferentes coberturas vegetais no semiárido;

2. Quantificar a perda de nutrientes solúveis no processo erosivo;
3. Analisar a relação da umidade/temperatura do solo em função da sua cobertura e conservação.

## **2. CAPÍTULO I - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Floresta Tropical Sazonalmente Seca – Vegetação e Clima**

As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas abrangem uma vegetação tropical caracterizada pela presença abundante de plantas suculentas e gramíneas (FERNANDES e QUEIROZ, 2018). Nessas regiões, a estrutura da vegetação varia consideravelmente, indo desde formações florestais até arbustos xerófilos (SILVA et al., 2021). Essas áreas são frequentemente referidas como mata seca, floresta estacional decidual ou Caatinga (SANTOS et al., 2017b).

O clima dessas regiões é caracterizado por médias de temperatura anual superiores a 26°C, com padrões irregulares de chuva tanto no espaço quanto no tempo (NIMER, 1979). O sistema de chuvas exibe complexidade, alternando anos mais chuvosos de forma irregular com anos de secas (FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO, 2019). Este padrão climático é marcado pela escassez de chuvas, irregularidades espaço-temporais e longos períodos de estiagem, que ocorrem de junho a dezembro (ANDRADE, 2017). A precipitação média anual atinge cerca de 800 mm, concentrando-se nos meses de março a maio (ANDRADE et al., 2010; RIBEIRO FILHO et al., 2017).

A notável variabilidade na pluviometria está associada a diferentes padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (ALMEIDA, 2016), descontinuidades resultantes da convergência dos alísios dos dois hemisférios, conhecida como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (NIMER, 1979) (SILVA; FEDOROVA, 2023). Padrões anômalos relacionados ao fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS) também desempenham um papel significativo (ANDREOLI et al., 2004), geralmente resultando na ascensão do ar, desencadeando chuvas e trovoadas intensas (NIMER, 1979).

A insolação média nessas regiões é alta, atingindo 2.800 h/ano, contribuindo para uma radiação solar intensa que eleva a temperatura, promove a evaporação e reduz a umidade do ambiente (MOURA et al., 2007; SOUZA et al., 2015). Esse fenômeno está associado à capacidade radiativa das zonas de aridez, que é de 30% e varia de acordo com o tipo de vegetação (RODRIGUES et al., 2019).

## 2.2 Caatinga Brasileira

As chuvas na Caatinga apresentam regime pluviométrico irregular, causando períodos de seca severos (ARAUJO NETO *et al.*, 2013). Por conta das suas características físicas e naturais apresenta cursos d'água quase totalmente efêmeros ou intermitentes, que mantem condições críticas de deficiência hídrica (ANDRADE, 2017) (SILVA NETO; JESUS; MONTENEGRO; SOUSA; LINS; CHAGAS, 2022). Deficiência que se intensifica por conta dos impactos e modelos de manejo antrópicos que acabam por gerar consequências nas dinâmicas hidrossedimentológicas (RODRIGUES *et al.*, 2019).

A Caatinga, bioma que em decorrência da relevância que representa para o meio ambiente precisa ser preservado e estudado (ALVES *et al.*, 2009), tem uma relação estreita degradação-vegetação-solos, com a produção tradicional como principal precursora dos processos erosivos (SANTOS *et al.*, 2018b).

A produção baseada em modelos de manejo pode ter consequências irreversíveis, como desmatamento e até desertificação (SILVA *et al.*, 2018a). Isso desequilibra as respostas erosivas em nosso bioma, variando em maior ou menor medida de acordo com diversos fatores, como o tipo de solo (FELIX e PAZ, 2016). A Caatinga possui solos com pouca profundidade e capacidade de armazenamento de água, precursores do fenômeno de escoamento (ANDRADE, 2017), chamados de neossolos regolíticos de textura franco-arenosa (Lima *et al.* 2020) . Os Neossolos, abrangem 33% da área total do Ceará é dividido em quatro subclasses, os Neossolos Litólicos (24%), Neossolos Quartzarênicos (7%), Neossolos Regolíticos (1%) e os Neossolos Flúvicos (1%), em seguida vieram os Argissolos e os Luvisolos (PINHO; FERNANDES; SILVA; TOMA, 2019).

O bioma caatinga apresenta clima semiárido, vegetação pouco foliada e adaptada para os períodos de secas, e riqueza na biodiversidade (SILVA *et al.*, 2021). Por mais que seja de grande importância ecológica, calcula-se que 40 mil km<sup>2</sup> da Caatinga já foram transformados em quase deserto, por ações antrópicas (ALMEIDA, 2016). Nesse sentido, a necessidade de aprimorar e aprofundar conhecimento desses processos se ressalta no Semiárido Brasileiro (SILVA *et al.*, 2018b).

Além do regime temporal, também apresenta uma ocorrência espacial pluviométrica irregular, nas serras mais altas da Caatinga há maiores índices de pluviosidade

(CUNHA *et al.*, 2013), que escoam durante períodos de seca severa forma corpos hídricos temporários em áreas de planície, devido às características do solo raso e embasado no cristalino, que limita a infiltração e a alimentação dos rios durante a estiagem (ARAUJO NETO *et al.*, 2013). Ademais, a desertificação da região semiárida modifica o comportamento climático do Nordeste brasileiro (GONÇALO FILHO *et al.*, 2018), incluindo decréscimos na precipitação e evapotranspiração, e acréscimos de temperatura do ar e os níveis de escoamento superficial (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Nesse sentido, há fatores vinculados aos tipos específicos de solos e as suas coberturas, como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1. Solos e coberturas vegetais do Semiárido

Solos	Cobertura
Solos rasos e pedregosos	Vegetação coberta de cactáceas
Solos arenosos e profundos	Caatingas de areia em vazios demográficos
Solos de baixa fertilidade	Chapada sedimentar
Solos de alta fertilidade	Chapada cárstica

Fonte: Ribeiro Filho *et al.* (2017)

Os solos e a cobertura geram paisagens com massa vegetal ideal e oportunidades de aproveitamento que na maioria das vezes apresentam péssimos modelos de uso e beneficiamento antrópico (SILVA *et al.*, 2018b). Uma maior densidade de vegetação, concordando com Cunha *et al.* (2013) permite vantagens na conservação e aproveitamento, por meio da interceptação, como maior infiltração de água no solo. Em relação a isso, o estudo de Magalhães *et al.* (2018) mostra a ocorrência de um nível de percolação de água maior para um aquífero raso, 11 vezes aproximadamente, nos cenários de reflorestamento. Validando ainda mais a hipótese planteada pela pesquisa de que os fenômenos diretamente relacionados com estes eventos de degradação dos solos podem ser mitigados com modelos de manejo e preservação adequados para a Caatinga.

### 2.3 Manejo e conservação do solo na Caatinga

O escoamento é um fenômeno chave a considerar para gerar estratégias de conservação, pois provoca danos irreversíveis (GONÇALO FILHO *et al.*, 2018), como a perda

do potencial produtivo, que resulta em um maior custo por manutenção da produtividade (SILVA *et al.*, 2019). Por isso, conhecer as dinâmicas do escoamento sob diferentes coberturas é essencial para um bom manejo dos solos (SILVA *et al.*, 2018b). Mais ainda nas áreas agrícolas onde o escoamento superficial aumenta em 11%, correspondendo a 28,8 mm ano<sup>-1</sup> (MAGALHAES *et al.*, 2018). Nas áreas onde se aplicam processos de remoção da vegetação associados a sazonalidade das chuvas acabam por aumentar ainda mais escoamento superficial (SILVA *et al.*, 2019). No Brasil, já ocorrem consideráveis valores de perda no Semiárido, com índices mais altos nos solos agricultáveis com estratégias inadequadas de manejo (CASTRO *et al.*, 2020).

A vegetação natural proporciona uma barreira física ao escoamento que reduz tanto a velocidade como o transporte de sedimentos (RODRIGUES *et al.*, 2015), mas, a influência que tem sob o escoamento superficial diminui em precipitações superiores a 30 mm, devido a outros fatores ainda a serem estudados (ANDRADE *et al.*, 2018) (LIMA; LUPINACCI; GOMES; SOUZA; ALEXANDRE, 2023). Existem áreas na Caatinga que tendem a ter menor escoamento superficial relacionado a sua cobertura e outras características físicas (SILVA *et al.*, 2019). Os impactos negativos são mais graves no Semiárido por seus solos rasos expostos à constante remoção da vegetação (SALES *et al.*, 2021). Mesmo assim, são poucos os estudos que avaliam o impacto da substituição da Caatinga por atividades agrícolas sobre a perda de solo especificamente (SILVA *et al.*, 2019). É necessário conhecer mais a fundo os fatores erosivos e as respostas que geram individualmente e na soma das relações (SANTOS, 2021).

Em estudos com parcelas de solo exposto, por exemplo, observam-se menores valores de umidade, em 3%, e os maiores de escoamento e perda do recurso (MONTENEGRO *et al.*, 2019). A falta de vegetação nos Neossolos, segundo Toro-Guerrero *et al.* (2018) permite que a água adicional atinja a superfície do solo dando lugar ao transporte lateral superficial. A redução de sedimentos está relacionada com a barreira de proteção contra o impacto da gota de chuva proporcionada pela vegetação (LIMA *et al.*, 2020) (SILVA *et al.*, 2019) (MAGALHAES *et al.*, 2018). Nesses casos, a vegetação herbácea tem o melhor desenvolvimento na redução do escoamento superficial, em comparação com a vegetação nativa (RIBEIRO FILHO *et al.*, 2017).

Santos *et al.* (2017a) afirmam que depois da prática de manejo de derrubada e queimada, nas áreas de Caatinga preservada, aumenta a produção de sedimentos, 294% na escala de captação. Nos estudos com parcelas de solo exposto, simulando desmatamento, são

observados menores valores de umidade do solo e os maiores valores de escoamento e perda do recurso (MONTENEGRO *et al.*, 2019). Em concordância com Palácio *et al.* (2016) que afirma que a ausência de cobertura vegetal nos primeiros eventos causa as maiores perdas de solo depois da retirada de cobertura.

#### 2.4 Escoamento superficial na Caatinga como fenômeno relacionado a perda de solo

Diversos são os fatores que determinam o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica (COSTA *et al.*, 2013). Sabe-se que as alterações, naturais e antrópicas, geram trocas na dinâmica do meio ambiente, por consequência nas respostas hidrológicas sendo o escoamento superficial e um dos primeiros processos a se modificar (ARAÚJO NETO *et al.*, 2013). As modificações no sedimento transportado em parcelas de erosão foram observadas em relação à variação nos eventos de chuva. Nos dois anos com o maior acumulado, o transporte de sedimentos representou 41% e 42%, respectivamente, do total de cinco anos, que foi de 715,82 Kg.ha<sup>-1</sup>. Isso evidencia a dependência do transporte total de sedimentos com a lamina do escoamento (SOUSA *et al.*, 2020). Tendo em conta que existem fenômenos de modificação no regime de condições anuais. Como os fenômenos como à anomalia do escoamento superficial mensal média que é positiva em até 0,1 mm.dia<sup>-1</sup> na maior parte do Nordeste Brasileiro (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Para Toledo e Alcântara (2019) a capacidade de infiltração do solo é representada inversamente pelo coeficiente de escoamento superficial e torna-se determinante no processo de re-infiltração do escoamento superficial. Por enquanto, Santos *et al.* (2021) aportam resultados gerais sobre produção de sedimentos, afirmando que nas bacias isso está diretamente relacionada com as chuvas, indicando que o Semiárido possui uma resposta de fluxo rápida. De acordo com Silva *et al.* (2018a) quanto maior intensidade da chuva maior a produção de escoamento superficial acumulado. Na Tabela 2, observa-se a relação de diminuição do escoamento na cobertura herbácea com a altura de precipitação.

Tabela 2. Redução do escoamento frente ao coeficiente CP

Redução do escoamento superficial pela vegetação herbácea	Altura da Precipitação
35,7 a 7,2%	P≤30 mm
5,7 a 4,3%	30<P≤50 mm

Fonte: adaptado do Magalhães *et al.* (2018)

São necessárias alturas de precipitação pluviométricas superiores a 30 mm para gerar escoamento em áreas com floresta de Caatinga raleada (ANDRADE *et al.*, 2018). De acordo com Palácio *et al.* (2016) o escoamento superficial é mais importante que a precipitação total e o I30 para entender as perdas de solo, baseado em um estudo onde a precipitação efetiva apresentou correlação de 0,980 ao nível de significância de 1% com a produção de sedimentos.

## **2.5 Erosão na Caatinga como fenômeno relacionado a perda de solo**

A degradação dos solos pela erosão hídrica é um sério problema estudado nas últimas décadas por órgãos e pesquisadores que analisam os aspectos e as relações socioeconômicas e físicas do Semiárido (SANTOS *et al.*, 2007). A erosão do solo é uma ameaça ambiental generalizada, sendo importante o seu conhecimento para a manutenção dos ecossistemas terrestres (GONÇALO FILHO *et al.*, 2018). Estudos de cobertura de área urbana e pecuária mostram que a persistência da impermeabilização pode ser superior a 80% (SANTOS *et al.*, 2021). Assim, a manutenção da cobertura é de extrema importância para proteger o solo no Semiárido Nordeste (SILVA *et al.*, 2018a).

Destacam-se assim os cenários de reflorestamento que geram uma redução da carga total de sedimentos, em relação ao cenário de uso atual, influenciando na conservação do solo e suas respostas hidrológicas (MAGALHÃES *et al.*, 2018). Por outro lado, Palácio *et al.* (2016) afirmam que a variável que apresentou maior correlação com a perda de solo foi o I30 não a cobertura vegetal. Para compreender mais essas correlações devem-se considerar duas variáveis que afetam de forma direta:

### **2.5.1 Temperatura como fator abiótico que influencia na conservação do solo**

O conhecimento sobre a temperatura dos solos é essencial para entender a dinâmica da vegetação, visto que afeta diretamente a umidade, aeração, estrutura, micróbios e atividade das enzimas, decomposição dos resíduos vegetais e a disponibilidade dos nutrientes, sendo um fator fundamental para o crescimento das espécies vegetais (SOULIS *et al.*, 2016), influenciando mais a brotação e a fotossíntese do que o crescimento das raízes (ZUFFO *et al.*, 2018). Nota-se além o predomínio de valores positivos de temperatura na região do Nordeste Brasileiro, no período chuvoso é onde esse aquecimento torna-se ainda mais evidente, atingindo 6°C acima da média (RODRIGUES *et al.*, 2019).

## 2.5.2 Umidade como fator abiótico que influencia na conservação do solo

A importância da umidade no solo e o seu monitoramento são fundamentais, principalmente em regiões em que a disponibilidade de água se torna restritiva, como por exemplo, no Semiárido Brasileiro (SOUSA *et al.*, 2019). A umidade do solo também influencia a temperatura do ar e a precipitação, e, conseqüentemente, o clima (PIZETTA *et al.* 2017). Lima *et al.* (2020) afirma que quanto maior a umidade, há a tendência de menor temperatura do solo. Assim, baixos coeficientes de escoamento denotam maior porcentagem de água infiltrada, resultando em maior umidade do solo (ANDRADE *et al.*, 2018).

De acordo com Pizetta *et al.* (2017) tem-se que:

- (a) Uma diminuição na umidade do solo vai afetar negativamente a evapotranspiração. Isto ocorre geralmente em zonas de transição entre ambientes secos e úmidos;
- (b) Uma diminuição na evapotranspiração leva ao aumento no fluxo de calor sensível e, conseqüentemente, à um aumento na temperatura do ar;
- (c) Um maior aumento nesta última, gera também aumento na evapotranspiração, reduzindo ainda mais a umidade do solo.

Félix e Paz (2016) afirma que a umidade do solo média anual varia de 116 a 223 mm e o comportamento varia conforme a capacidade máxima de armazenamento de água no solo. Assim, a umidade total média anual apresenta uma anomalia positiva, podendo atingir até  $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$  acima da média, em quase toda a região Nordeste (RODRIGUES *et al.*, 2019). A umidade de solos em locais de encosta segundo as observações de Toro-Guerrero *et al.* (2018) mostram uma resposta ativa após longos pulsos de chuva de baixa intensidade e longos pulsos de chuva com intensidade média-alta. Tem-se uma relação aproximadamente linear entre umidade e armazenamento de água, com coeficiente de correlação de 0,71 (FELIX e PAZ, 2016).

## 2.6 Dinâmica das chuvas em relação a perda de solos

As relações chuva-vazão e chuva-perda apresentam um comportamento exponencial, em condições de solo exposto, a precipitação total explica o escoamento gerado (MONTENEGRO *et al.*, 2019). Assim Palácio *et al.* (2016) propõem a produção total de

sedimentos como variável dependente, e como variáveis independentes, a precipitação total, intensidade máxima de precipitação em trinta minutos (I30), precipitação acumulada em 2 dias e escoamento.

Estudos realizados por Palácio *et al.* (2016) afirmam que a precipitação efetiva é o fator de influência direta sob a produção de sedimentos na Caatinga em pousio, com correlação de 0,98, não significativa para outras coberturas. Assim, precipitações inferiores a ~30 mm, não geraram escoamento superficial nas áreas com cobertura, independentemente da umidade antecedente do solo (LIMA *et al.*, 2020). Mas Toro-Guerrero *et al.* (2018) afirmam que para a fração de infiltração passe para as camadas subjacentes devem dar-se eventos de precipitação superiores a ~10,5 mm.

## **2.7 Dinâmica dos processos hidrossedimentológicos nas parcelas experimentais**

Aumentos na lâmina de enxurrada e perda de solos segundo Palácio *et al.* (2016) são encontrados com precipitação acima de 45 mm, representando 97% das perdas de solos totais. Por enquanto, a Caatinga pode apresentar uma variação de 42 a 55 mm.h<sup>-1</sup> de escoamento com um coeficiente de variação de 29% (SILVA *et al.*, 2018a) (REIS; MARTINS; BERTOTTO; COBALCHINI; ISHIZAWA; WENDLAND, 2022). Assim, o solo coberto com algum tipo de vegetação pode aumentar o tempo de infiltração, reduzindo assim o escoamento (ANDRADE *et al.*, 2018; FELIX e PAZ, 2016).

O escoamento na Caatinga chega até 37,55 mm.h<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2018b). O comportamento esperado para regiões semiáridas é de predominância de geração de escoamento superficial e escoamento de base desprezível, ocorrência que se dá em solos de pouca profundidade (FELIX e PAZ, 2016). Por outro lado, outros autores apontam que o menor escoamento em precipitações abaixo de 30 mm é devido à vegetação herbácea cultivada, denotando sempre a importância dessa cobertura nesses regimes (ANDRADE *et al.*, 2018). Resultados que podem ser explicados pela capacidade de dissipar a energia cinética das gotas de chuva (CUNHA *et al.*, 2013).

## **2.8 Avaliação de processos hidrossedimentológicos a partir de análise multivariada.**

A Análise de Componentes Principais (PCA) e aquela que mais se adequa estatisticamente ao estudo destes fenômenos na Caatinga, segundo Sousa *et al.* (2020) se recomenda o uso do teste KMO, resultando em valores superiores a 0,5, indicando que o modelo

fatorial pode ser aplicado aos dados sem restrições (SOUSA *et al.*, 2020). Assim em outros estudos similares, o KMO foi de 0,742 para a escala da bacia e 0,776 para a escala da parcela de erosão, apresentando uma boa aplicabilidade ( $0,7 \leq \text{KMO} < 0,8$ ) (SANTOS *et al.*, 2018a).

A matriz apresentou correlação altamente significativa ( $p < 0,001$ ) entre a lamina do escoamento com a lamina de chuva anual (peso=0,50) e sedimento transportado (peso=0,79), denotando o efeito da lamina do escoamento total na capacidade de transporte de sedimentos (SANTOS *et al.*, 2018b; SOUSA *et al.*, 2020).

O I20 foi a variável que apresenta maior peso fatorial, indicando que é necessária maior atenção nesta variável em estudos hidrológicos em escala de bacias hidrográficas no Semiárido do Brasil (SOUSA *et al.*, 2020). Por outro lado, segundo Ribeiro Filho *et al.* (2017) é a I30 a variável que apresenta correlação significativa.

A produção de sedimentos tem alta correlação com a lâmina de escoamento nas escalas espaciais: bacia hidrográfica e parcela de erosão; assim a energia do fluxo de massa e o fator limitante para o transporte de sedimentos (SANTOS *et al.*, 2018a). A PCA resultou em quatro componentes principais, que explicaram 84% da variância total, expressando a correlação entre as variáveis e permitiram a identificação daquelas com maior correlação em cada componente (SOUSA *et al.*, 2020).

### 3. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Ana Maria. **As Florestas Esquecidas**. 2016. Disponível em: <https://darwinianas.com/2016/10/11/as-florestas-esquecidas/>. Acesso em: 29 set. 2021.
- ALMEIDA, Cicero Lima de; OLIVEIRA, Jose Gerardo Beserra de; ARAUJO, Jose Carlos de. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. **Water Resources And Irrigation Management**, Salvador Bahia, v. 1, n. 1, p. 39-50, dez. 2012.
- ALVES, Jose Jakson Amancio; ARAUJO, Maria Aparecida de; NASCIMENTO, Sebastiana Santos do. DEGRADAÇÃO DA CAATINGA: UMA INVESTIGAÇÃO ECOGEOGRÁFICA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, set. 2009
- ANDRADE, Alberício Pereira de; COSTA, Roberto Germano da; SANTOS, Edson Mauro; SILVA, Divan Soares da. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, João Pessoa, v. 4, n. 4, p. 1-14, dez. 2010.
- ANDRADE, Eunice Maia de. A floresta tropical seca, caatinga: as certezas e incertezas das águas. Trim: Tordesillas, **Revista de Investigación Multidisciplinar**, Ceará, n. 12, p. 11-20, 2017.
- ANDRADE, Eunice Maia de; RODRIGUES, Rafael do Nascimento; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; BRASIL, José Bandeira; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho. HYDROLOGICAL RESPONSES OF A WATERSHED TO VEGETATION CHANGES IN A TROPICAL SEMIARID REGION. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 161-170, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n119rc>.
- ANDREOLI, Rita Valéria; KAYANO, Mary Toshie; GUEDES, Roberto Lage; OYAMA, Marcos Daisuke; ALVES, Maria Aparecida Senaubar. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos pacífico e atlântico na variabilidade de precipitação em fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 337-344, out. 2004.
- ARAÚJO NETO, José Ribeiro de; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; SANTOS, Júlio César Neves dos; LOBATO, Francisco Antônio de Oliveira. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources And Irrigation Management**, Salvador Bahia, v. 2, n. 3, p. 111-120, dez. 2013.
- BEZERRA, Joel M.; MOURA, Geber B. de A.; SILVA, Bernardo B. da; LOPES, Pabrcio M. O.; SILVA, Ênio F. de F. e. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 73-84, jan. 2014.
- CASTRO, Francelita Coelho; SANTOS, Antonio Marcos dos. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. **Mercator**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 1-13, 15 Jan. 2020.
- CEARA. Governo do Estado do Ceara. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestao dos **Recursos Hidricos. Caracterizacao Hidrografica do Curu**. 2018. Disponível

em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-Bacia-Hidrogr%C3%A1fica-Curu.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

CEARA. Ministerio De Desenvolvimento Regional. **Semiárido brasileiro**. 2019. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/irrigacao/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 29 set. 2021.

COSTA, Cristiane F. G. da; FIGUEIREDO, Ricardo de O.; OLIVEIRA, Francisco de A.; SANTOS, Izabela P. de O.. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 162-169, fev. 2013.

CUNHA, Ana Paula Martins do Amaral; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 139-152, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862013000200003>.

FELIX, Vagner de Souza; PAZ, Adriano Rolim da. Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída. **Rbrh**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 556-569, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616009>.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e cultura**. São Paulo. v. 70, n. 4., p. 51-56, 2018.

FUNDACAO JOAQUIM NABUCO (Recife). **Características da Caatinga**. 2019. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/conselho-nacional-da-reserva-da-biosfera-da-caatinga/9193-saiba-quais-sao-as-caracteristicas-da-caatinga>. Acesso em: 29 set. 2021.

GONÇALO FILHO, Francisco; FERREIRA NETO, Miguel; FERNANDES, Cleyton dos Santos; DIAS, Nildo da Silva; CUNHA, Rutilene Rodrigues da; MESQUITA, Francisco de Oliveira. Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 1-5, 29 dez. 2018. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801581>.

LIMA, C.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, T.E.M.; ANDRADE, E.M.; MONTEIRO, A.L.N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.4, p.697-706, 2015

LIMA, Cleene Agostinho de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; LIMA, João L. M. P. de; ALMEIDA, Thayná Alice Brito; SANTOS, Júlio Cesar Neves dos. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 531-542, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>.

MAGALHÃES, Adriana Guedes; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins de; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima;

FONTES JÚNIOR, Robertson Valério de Paiva. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 1, 31 out. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2204>.

MARIOTI, Juliana; BERTOL, Ildegardis; RAMOS, Júlio César; WERNER, Romeu de Souza; PADILHA, Juscelia; BANDEIRA, Douglas Henrique. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 1361-1371, out. 2013.

MONTENEGRO, Abelardo A. A.; LOPES, Iug; CARVALHO, Ailton A. de; LIMA, João L. M. P. de; SOUZA, Thais E. M. S. de; ARAÚJO, Helio L.; LINS, Frederico A. C.; ALMEIDA, Thayná A. B.; MONTENEGRO, Hugo G. L. A.. Spatio Temporal Soil Moisture Dynamics and Runoff under Different Soil Cover Conditions in a Semiarid Representative Basin in Brazil. *Advances In Geosciences*, [S.L.], v. 48, p. 19-30, 5 jun. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-48-19-2019>.

MOURA, Magna Soelma Beserra de; GALVINCIO, Josiclêda Domiciano; BRITO, Luiza Teixeira de Lima; SOUZA, Luciana Sandra Bastos de; SÁ, Ivan Ighour Silva; SILVA, Thieres George Freire da. *Clima e água de chuva no Semi-Árido*. 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021

NIMER, Edmon. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979  
OLIVEIRA, Ivanildo Amorim de; CAMPOS, Milton César Costa; SOARES, Marcelo Dayron Rodrigues; AQUINO, Renato Eleotério de; MARQUES JÚNIOR, José; NASCIMENTO, Ediana Pereira do. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 1103-1112, ago. 2013.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; SANTOS, Júlio César Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; BRASIL, José Bandeira. EFFECTIVE PRECIPITATION, SOIL LOSS AND PLANT COVER SYSTEMS IN THE CAATINGA BIOME, BRAZIL. *Revista Caatinga*, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 956-965, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n421rc>.

PERNAMBUCO. Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. Ministerio do Desenvolvimento Regional. *Delimitação do semiárido*. 2017. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 29 set. 2021.

PINHO, Monique Mourao; FERNANDES, Antonia Karine Mesquita; SILVA, Antonio Dejaime Teofilo da; TOMA, Raul Shiso. CONHECENDO OS SOLOS CEARENSE: CARACTERÍSTICAS E DISTRIBUIÇÃO. *Encontros Universitários da Ufc*, Fortaleza, v. 4, n. 1, p. 4233-4246, set. 2019.

PIZETTA, Samuel Cola; RODRIGUES, Rogério Rangel; PEREIRA, Geraldo Magela; PACHECO, Fabián Enrique Díaz; VIOLA, Marcelo Ribeiro; LIMA, Luiz Antônio. Calibração de um sensor capacitivo para estimativa da umidade em três classes de solos. *Irriga*, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 458-468, 28 ago. 2017.

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M.; Moro, M. "Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain". In: da Silva, J. C.; Leal, I.; Tabarelli, M, (eds.), **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer, 2017, p. 23-63.

REIS, Alan; MARTINS, Rubens Takeji Aoki Araujo; BERTOTTO, Luís Eduardo; COBALCHINI, Érick Rúbens Oliveira; ISHIZAWA, Yuri Batista; WENDLAND, Edson Cezar. Experimental and representative watersheds as a training site of qualified professionals in water resources: a case study of onça creek watershed (sp, brazil). **Rbrh**, [S.L.], v. 27, n. 26, p. 1-14, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.272220220040>.

RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; SANTOS, Júlio César Neves dos; BRASIL, José Bandeira. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of brazil. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 468-478, June. 2017.

RODRIGUES, Talmo Manhães de França; SENNA, Mônica Carneiro Alves; CATALDI, Marcio. Simulação dos impactos climáticos da desertificação do Nordeste brasileiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 1037-1047, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019164751>.

RODRIGUES, Valdemir Antonio; SÁNCHEZ-ROMÁN, Rodrigo Máximo; TARJUELO, José Maria; SARTORI, Maria Márcia Pereira; CANALES, Antonio Ruiz. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 01-13, 12 jun. 2015.

SALES, Eliton Sancler Gomes; ALCÂNTARA, Fabrícia Torreão Araújo de; ARAËJO, Fabiano da Silva; DORNELAS, Carina Seixas Maia; ALCÂNTARA, Hugo Morais de. Influência de práticas conservacionistas na recuperação de áreas degradadas no semiárido/ influence of conservationist practices in the recovery of degraded areas in the semi-arid region. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 9298-9316, 2021.

SANTOS, Eduardo S. dos; SOUZA, Eduardo S. de; PESSOA, Luiz G. Medeiros; LEITE, Pedro A.; WILCOX, Bradford P.; SILVA, José R. Inácio. Water erosion in Caatinga and degraded pasture areas in semiarid region. **Amazonian Journal Of Plant Research, Belem**, v. 2, n. 4, p. 261-266, Dec. 2018a.

SANTOS, José Yure Gomes dos; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; QUINN, Nevil Wyndham; DANTAS, Ana Paula Xavier; RIBEIRO NETO, Alfredo. Modeling the impacts of future LULC and climate change on runoff and sediment yield in a strategic basin in the Caatinga/Atlantic forest ecotone of Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 203, p. 105308, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2021.105308>.

SANTOS, Julio Cesar Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto; GUERREIRO, Maria João Simas; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência**

**Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 251-260, 2017a. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170029>.

SANTOS, Júlio César Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ARAUJO NETO, José Ribeiro de; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho. EROSIVE PROCESS CONTROL IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 695-703, jul. 2018b. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n319rc>.

SANTOS, Rozely Ferreira dos; PÉREZ, Carolina; ARTURI, Marcelo; GOYA, Juan; SANDOVAL, Martín. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Brasília: Mma, 2007. 129 p.

SANTOS, Wagner Martins dos; SOUZA, Rodolfo Marcondes Silva; SOUZA, Eduardo Soares de; ALMEIDA, André Quintão de; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 368-376, 15 ago. 2017b.

SILVA NETO, Moisés Alves da; JESUS, Jully Emilly Galdino de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; SOUSA, Lizandra de Barros de; LINS, Frederico Abraão Costa; CHAGAS, Aline Maria Soares das. Parâmetros biofísicos como instrumento analítico de degradação do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. **Agrometeoros**, [S.L.], v. 30, p. 173-184, 5 jul. 2022. AGROMETEOROS. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v30.e026989>.

SILVA, Adrielle Gomes da; VILAR, Larissa Oliveira; VILAR, Viviane Oliveira; COELHO, Fernando Pinto; ACIOLI, Nayara Rithelly dos Santos; RAMOS, Ramon Brilhante Gonçalves Araújo; MOREIRA, Jefferson Gomes; DIARES, Thiago Rocha; SILVA, Danielly Ferreira da; CRUZ, Mayra Santos da. O MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL DA CAATINGA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 872-884, 17 jun. 2021. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciencias e Educacao. <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v7i5.1299>.

SILVA, Bruce Francisco Pontes da; FEDOROVA, Natalia. “Distúrbios Ondulatórios de Leste” Sobre o Atlântico Tropical Sul: revisão e discussão sobre terminologia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 38, p. 1-17, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863810025>.

SILVA, Jadielle Lidianne Clemente; VIDAL, Carlos Alberto Soares; BARROS, Luiz Marivando; FREITA, Francisco Ronaldo Vieira. ASPECTOS DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 180, 27 abr. 2018a. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>.

SILVA, José Raliuson Inácio; SOUZA, Eduardo Soares de; SOUZA, Rodolfo; SANTOS, Eduardo Silva dos; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NA EROSIÃO HÍDRICA EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 272-283, 19 jun. 2019. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>.

SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; SANTOS, José Yure Gomes dos. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal Of Sediment Research**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 117-125, jun. 2018b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>

SOULIS, Konstantinos X.; ELMALOGLOU, Stamatios. Optimum Soil Water Content Sensors Placement in Drip Irrigation Scheduling Systems: concept of time stable representative positions. **Journal Of Irrigation And Drainage Engineering**, [S.L.], v. 142, n. 11, p. 04016054, Nov. 2016.

SOUSA, Marcos Makeison Moreira de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; MOURA, Matheus Magalhães Silva. DETERMINANT PLUVIOMETRIC CHARACTERISTICS OF SEDIMENT TRANSPORT IN A CATCHMENT WITH THINNED VEGETATION IN THE TROPICAL SEMIARID. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 785-793, set. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n322rc>.

SOUSA, Valdemício Ferreira de; NUNES, Guilhermina Maria Vieira Cayres; ZONTA, João Batista; ARAUJO, Eugênio Celso Emérito. **Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense**. 21. ed. Sao Luis: Embrapa Cocais, 2019. 139 p.

SOUZA, Rodolfo M. S.; SOUZA, Eduardo S. de; ANTONINO, Antonio C. D.; LIMA, José R. de S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 449-455, maio 2015. SUDENE. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do Semiárido**. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>> Acesso em: 24 out 2019.

TOLEDO, Cristian Epifanio; ALCANTARA, Nayra Rodrigues. Sensitivity of hydrological connectivity in a semiarid basin with a high-density reservoir network. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 1, 16 jul. 2019. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-agua.2367>.

TOLEDO, Juliana Aparecida Cantarino. Relações entre manejo do solo e erosão hídrica: uma revisão bibliográfica. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Minas Gerais, v. 1, n. 8, p. 1-13, mar. 2023.

TORO-GUERRERO, Francisco del; VIVONI, Enrique; KRETZSCHMAR, Thomas; RUNQUIST, Stephen Bullock; VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Rogelio. Variations in Soil Water Content, Infiltration and Potential Recharge at Three Sites in a Mediterranean Mountainous Region of Baja California, Mexico. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1844, 13 dez. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10121844>.

ZUFFO, Alan Mario; STEINER, Fábio. **Elementos da Natureza e Propriedades do Solo**. 4. ed. Belo Horizonte: Atena Editora, 2018. 245 p.

#### **4. CAPÍTULO II - ANÁLISE DO ESCOAMENTO EM RELAÇÃO AO COMPORTAMENTO DAS CHUVAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE COBERTURA DE SOLOS NO SEMIÁRIDO**

**RESUMO:** O estudo dos processos hidrossedimentológicos é fundamental para compreender quais métodos de manejo de solos e tipos de cobertura são mais adequados em termos de conservação. Diferentes tratamentos do solo têm efeitos variados na redução da desagregação do solo causada pela chuva, o que conseqüentemente diminui a disponibilidade de sedimentos transportados pelo escoamento superficial. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes tipos de cobertura nas perdas de solo e água por escoamento em parcelas experimentais na região semiárida, além de reconhecer o efeito dessas coberturas na relação entre umidade e temperatura. O experimento foi conduzido na Bacia Experimental do Curu (BEVC), na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste, Ceará. Foram aplicados quatro tratamentos: sem cobertura vegetal, com cobertura herbácea, com caatinga rala e com caatinga densa. O período de estudo abrangeu os meses de janeiro a julho de 2022. Durante este período, foram coletadas amostras de água em cada evento, bem como dados de temperatura e umidade. Ao longo do monitoramento de 57 eventos de chuva, observou-se que 24 desses eventos geraram fenômenos de escoamento em pelo menos um dos tratamentos estudados. Os meses de março e abril concentraram os maiores eventos. A parcela sem cobertura vegetal (CN0) registrou o maior número de eventos, com 24 ocorrências, seguida pela parcela com caatinga densa (CN46) com quatro eventos, a parcela com caatinga rala (CN2) com dois eventos, e a parcela com cobertura herbácea (CN25) apresentou apenas um evento de escoamento durante todo o período estudado. Observou-se também que a parcela com caatinga rala apresentou menor perda de solo em comparação com a parcela com caatinga densa. Os maiores teores de escoamento foram registrados na parcela sem cobertura vegetal. Além disso, confirmou-se que a temperatura está diretamente relacionada ao tipo de cobertura do solo na relação umidade/temperatura. Este estudo demonstra que o uso de práticas conservacionistas no semiárido apresenta um grande potencial na redução da perda de solo e nas respostas hidrossedimentológicas.

**Palavras-chave:** sedimento; floresta tropical sazonalmente seca; escoamento superficial.

## **Physical analysis of flow in relation to rain behavior under different soil cover treatments in the semi-arid**

**ABSTRACT:** The study of hydrosedimentological processes is key to understanding which are the most appropriate soil management methods and type of cover from the point of conservation, so to have a much more precise horizon on how these processes take place, the analysis of plots is used. representative to obtain correct and analyzable data. Different soil treatments reduce the breakdown, to a greater or lesser extent, of the soil caused by rain, reducing the availability of sediment to be transported by surface runoff. The objective was to evaluate the effect of different types of cover on soil and water losses by runoff in experimental plots in the semi-arid region, and to recognize their effect on the humidity/temperature relationship. The experiment was carried out in the Experimental Basin of Curu (BEVEC), belonging to the Experimental Farm of the Federal University of Ceará, in the municipality of Pentecoste, Ceará. Four treatments were used: without vegetation cover, with herbaceous cover, sparse Caatinga and dense Caatinga. The period studied comprised the months from January to June 2022. Water samples were collected in each erosive event, as well as temperature and humidity. Monitoring 57 rainfall events, of which 24 generated runoff phenomena in at least one treatment. The most erosive events were concentrated in the months of March and April. The CN25 plot presented only one flow during the entire period studied, followed by CN2 with two, CN46 with four events and finally CN0 with 24 events. Soil loss in the sparse Caatinga plot was lower than in the dense Caatinga plot. The highest levels of runoff were recorded in the plot without vegetation cover. It was corroborated that in the humidity/temperature relationship, the temperature is directly linked to the type of soil cover. The use of conservation practices in the semiarid region has shown great potential in reducing soil loss and decreasing its hydrosedimentological responses.

**Keywords:** types of ground cover; seasonally dry tropical forest; surface runoff.

## **Análisis físico del flujo en relación con el comportamiento de la lluvia bajo diferentes tratamientos de cobertura del suelo en el semiárido**

**RESUMEN:** El estudio de los procesos hidrosedimentológicos es clave para entender cuáles son los métodos de manejo del suelo y los tipos de cobertura más adecuados desde el punto de vista de la conservación, por lo que para tener un horizonte mucho más preciso sobre cómo se desarrollan estos procesos, se utiliza el análisis de parcelas representativas para obtener datos correctos y analizables. Diferentes tratamientos del suelo reducen la descomposición, en mayor o menor medida, del suelo causada por la lluvia, disminuyendo la disponibilidad de sedimentos para ser transportados por la escorrentía superficial. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes tipos de cobertura sobre las pérdidas de suelo y agua por escorrentía en parcelas experimentales en la región semiárida, y reconocer su efecto en la relación humedad/temperatura. El experimento se llevó a cabo en la Cuenca Experimental del Curu (BEVEC), perteneciente a la Granja Experimental de la Universidad Federal de Ceará, en el municipio de Pentecoste, Ceará. Se utilizaron cuatro tratamientos: sin cobertura vegetal, con cobertura herbácea, Caatinga dispersa y Caatinga densa. El período estudiado comprendió los meses de enero a junio de 2022. Se recogieron muestras de agua en cada evento erosivo, así como datos de temperatura y humedad. Se monitorearon 57 eventos de lluvia, de los cuales 24 generaron fenómenos de escorrentía en al menos un tratamiento. Los eventos más erosivos se concentraron en los meses de marzo y abril. La parcela CN25 presentó solo un flujo durante todo el período estudiado, seguida por CN2 con dos, CN46 con cuatro eventos y finalmente CN0 con 24 eventos. La pérdida de suelo en la parcela de Caatinga dispersa fue menor que en la parcela de Caatinga densa. Los niveles más altos de escorrentía se registraron en la parcela sin cobertura vegetal. Se corroboró que en la relación humedad/temperatura, la temperatura está directamente ligada al tipo de cobertura del suelo. El uso de prácticas de conservación en la región semiárida ha mostrado un gran potencial para reducir la pérdida de suelo y disminuir sus respuestas hidrosedimentológicas.

**Palabras clave:** tipos de cobertura del suelo; bosque tropical estacionalmente seco; escorrentía superficial.

## 4.1 Introdução

O bioma caatinga apresenta uma relação estreita de degradação-vegetação-solos, sendo o desenvolvimento produtivo baseado em modificações na cobertura vegetal (CUNHA *et al.*, 2013), o que resulta no aumento de processos erosivos e deterioração das propriedades do solo (SANTOS *et al.*, 2018). A principal fonte de degradação do solo no mundo é proveniente da erosão causada pelas precipitações pluviométricas, ocasionando perdas de solo e nutrientes em mais de 751 milhões de hectares pelo mundo (DAI *et al.*, 2018).

Como afirma Winpenny *et al.* (2013), no Semiárido com encostas de 1 a 15% e 80% de cobertura vegetal herbácea por hectare pode ver-se reduzido o escoamento em torno de 5% do total da chuva sazonal. Informação que indica que o maior grau de remoção de vegetação de encostas, aumentam as possibilidades de perda de solos. Assim, já é de amplo conhecimento que a vegetação natural proporciona uma barreira física para este fenômeno de escoamento, resultando em redução da velocidade e do transporte de sedimentos (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Quando é realizada a remoção da vegetação nativa, frase chave para definir as práticas utilizadas na agricultura, que associada a uma elevada irregularidade das chuvas, acentuam ainda mais a variabilidade já existente no Semiárido e promovem condições favoráveis para o aumento de escoamento superficial e erosão hídrica (SILVA *et al.*, 2019). Por isso, informações sobre as características do escoamento superficial e da produção de sedimentos sob diferentes coberturas do solo são essenciais para as práticas de bom manejo dos solos, principalmente em regiões semiáridas (SILVA *et al.*, 2018).

Essas práticas quando conservacionistas são ferramentas de gerenciamento dos recursos naturais, que contrapõem práticas antigas que não oferecem proteção ao solo, essas são capazes de reduzir prejuízos ambientais e até aumentar a produtividade local (DAI *et al.*, 2018). Corroborando-se na existência de áreas na Caatinga que tendem a ter um menor escoamento superficial de água, isso relacionado a sua cobertura, manejo e outras características físicas (SILVA *et al.*, 2019).

Assim, outras práticas tradicionais causam resultados que tem como consequência a deterioração do recurso, desse modo, cerca de 26% da precipitação pluvial do Semiárido é perdida na forma de escoamento superficial, em áreas de pastagem (SOUZA *et al.*, 2015) os efeitos destes fenômenos são nítidos. No entanto, ainda são poucos os estudos que avaliam o

impacto da substituição da Caatinga por atividades agro produtivas, sob o efeito do escoamento e erosão do solo (SILVA *et al.*, 2019).

Os eventos de alto índice de erosividade no Semiárido, início da temporada de chuvas (janeiro e fevereiro), segundo Santos *et al.* (2017) apresentam grande quantidade de energia disponível para desprender as partículas do solo quando se encontra desprotegido devido à natureza decídua das espécies vegetais da floresta tropical seca. A taxa de desagregação segundo Silva *et al.* (2019) é maior ainda na terra arada e menor na Caatinga preservada. Nesse contexto, a vulnerabilidade do semiárido à erosão justifica a necessidade de entender o comportamento da Caatinga e suas respostas hidrossedimentológicas sob diferentes tratamentos ou graus de conservação, visando adequar as atividades humanas a capacidade de uso do solo.

#### 4.1.1 Hipóteses e Objetivos

##### 4.1.1.1 Hipótese

- As áreas com maior grau de cobertura apresentam melhor resposta na diminuição do escoamento por conta do efeito da vegetação, tanto do dossel arbóreo como por conta das raízes.

##### 4.1.1.2 Objetivo

- Avaliar o efeito da cobertura do solo e as suas propriedades físicas, temperatura e umidade nas perdas por escoamento em parcelas experimentais de erosão padrão.

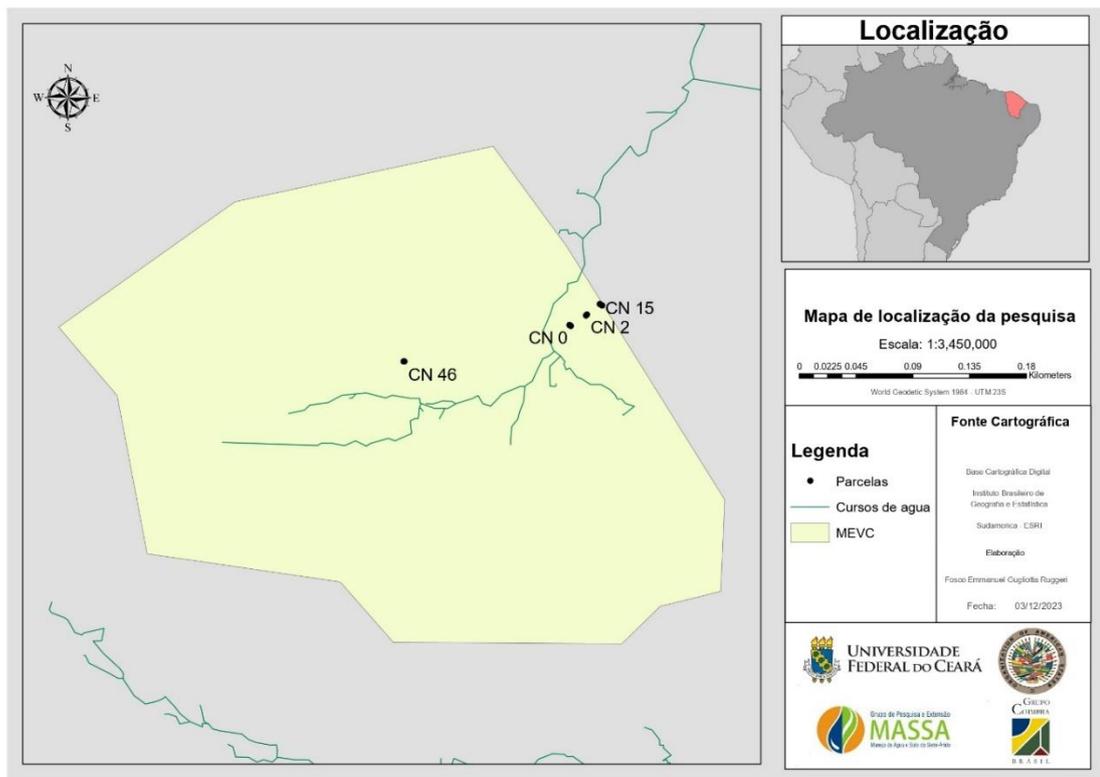
## 4.2 Material e métodos

### 4.2.1 Área de estudo

Localiza-se na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), propriedade pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste. Este sítio é composto por uma microbacia, é uma área de estudo onde são realizadas pesquisas sobre escoamento superficial e perdas de nutrientes. Nessa microbacia, existem quatro fragmentos distintos de uso e ocupação do solo, que incluem Caatinga em regeneração, Caatinga raleada, área de pastejo animal e cultivos agrícolas, Figura 1.

O município de Pentecoste está localizado geograficamente na Microrregião do Médio Curu, com coordenadas de 6°47'34" S e a 39°16'13" W, a uma altitude média de 60 metros (BRASIL, 1973). Partindo de Fortaleza o principal acesso ao município é pela BR – 222 e CE – 235, como se ilustra na Figura 1 de localização do sítio de estudo, a Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC).

Figura 1 – Localização do Sítio – Fazenda Experimental do Vale do Curu – FEVC



Fonte: Dados da pesquisa.

A BEVC com área de 285 ha, está inserida na Bacia do Curu, que se encontra posicionada no centro-norte do estado do Ceará, a qual possui o principal afluente, o rio Curu, com extensão de 195 km (CEARÁ, 2018). A microbacia em estudo (MEVC) compreende 12,5 ha da área total da BEVC.

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), com temperatura média mensal sempre superior a 18°C, as chuvas apresentam uma distribuição uni-modal, iniciando em janeiro/março e estendendo-se até junho, com máximas ocorrências em março e abril. As precipitações pluviométricas médias anuais ficam em torno da isoietas de 700 mm. A distribuição mensal é marcada por alta variabilidade temporal e espacial, podendo em um único mês, concentrar um acumulado superior ao total anual de um ano seco (MASSA, 2022).

Os aspectos físicos do solo são classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Neossolos e Luvisolos Háplicos (EMBRAPA, 2018).

#### 4.2.2 Parcelas experimentais

Os estudos de escoamento superficial, perda de solo e nutrientes foram realizados em quatro parcelas de erosão baseadas na parcela padrão de Wischmeier. As unidades experimentais se encontram instaladas em escala de parcela na MEVC. A área de cada parcela é de 88 m<sup>2</sup> (4 x 22 m) (FIGURA 2) com comprimento maior obedecendo o sentido da declividade. Com estrutura de chapa de aço galvanizado com 0,30 m de largura e 52 m de comprimento, enterrada a 0,15 m para contornar e isolar cada parcela da influência do escoamento subsuperficial.

Na parte mais baixa das parcelas estão instalados sistemas coletores formados por 3 tanques com capacidade de 25, 200 e 200 L, todos em nível. O primeiro tanque é conectado à parcela por um dispositivo com 8 orifícios em nível, sendo um para coleta do escoamento e sete para o vertimento de água e sedimento. Este dispositivo permite que o escoamento seja quantificado, armazenando apenas 1/7 do escoamento total nos tanques posteriores reduzindo assim o custo da instrumentação e a mão de obra tanto de instalação, como do monitoramento. Também chamado de tanque decantador, o primeiro tanque tem a função de reter parte dos sedimentos presentes no escoamento. O volume total armazenado em cada evento é o produto do somatório do volume do segundo e terceiro tanque multiplicado por sete, mais o volume do primeiro tanque.

Figura 2 - Parcela CN0 no período seco



Fonte: Autor

#### 4.2.3. Cobertura das parcelas

As coberturas vegetais das parcelas estão compostas por quatro manejos de solo, nomeados CN - Cobertura Natural, seguido de um número que representa os anos de conservação. As parcelas CN25 (Caatinga Rala) e CN46 (Caatinga Densa) representam a cobertura majoritária da microbacia estudada, representando a Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) da região (TABELA 3). Na região da MEVC, em que a parcela CN25 está situada, foi realizado corte da vegetação nativa há 15 anos, sendo mantida em pousio desde então. Portanto, é caracterizada por cobertura de árvores de médio porte, menor volume de serapilheira e melhor desenvolvimento do extrato herbáceo no período chuvoso, devido a maior passagem de luz no interior das copas das árvores.

A parcela CN46 por estar situada numa área com 46 anos de pousio, apresenta árvores de grande porte, que cobrem praticamente todo o solo impedindo a penetração de luz e dificultando o desenvolvimento do extrato herbáceo e possui maior volume de serapilheira. A região apresenta característica enquadrada como arbustivo-arbórea fechada (FEITOSA, 2017).

Tabela 3 - Características físicas das parcelas e cobertura

Cobertura do solo		
Parcela (88 m <sup>2</sup> )	Decl. (%)	2022
<sup>1</sup> CN25	8,9	FTSS - Preservada há 15 anos
<sup>2</sup> CN46	9,7	FTSS - Preservada há 46 anos
<sup>3</sup> CN2	9,9	FTSS - Preservada há 2 anos (após cultivo de três anos consecutivos)
<sup>4</sup> CN0	11,2	FTSS - Remoção de cobertura vegetal (após cultivo de três anos consecutivos)

CN46 – Cobertura Natural a 46 anos, CN25 – Cobertura Natural a 15 anos, CN2 - Cobertura Natural a 2, e CN0 - Sem Cobertura Vegetal.

Fonte: Dados da pesquisa

As parcelas CN2 (Cobertura Herbácea) foram instaladas há quatro anos, onde foi realizada atividade produtiva tradicional da agricultura familiar na Caatinga nos primeiros três anos e este último foi deixado em pousio para medir a sua recuperação. E a última a CN0 (Sem Cobertura Vegetal) ou solo exposto. Os tratamentos procuram simular a realidade das parcelas produtivas e verificar como se comporta a sua resposta com respeito aos seus diferentes graus de conservação e manejo ao longo do tempo.

#### 4.2.4 Aspectos físicos e químicos dos solos

As amostras de solo das unidades experimentais das parcelas foram coletadas dia 23 de janeiro do 2022. Foram analisadas em laboratório para caracterização físico-química do solo, foram coletadas amostras compostas deformadas de solo na profundidade de 0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m (TABELA 4 e 5). As análises granulométricas e das características químicas do solo foram realizadas conforme a metodologia descrita pela EMBRAPA (2017), e foram realizadas no Laboratório de Relações Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 4 – Resultados físicos dos solos

Manejo	Granulometria			
	Prof.	Areia	Silte	Argila
	M	%		
CN0	0 - 0,2	71,6	16,71	11,53
	0,2 - 0,4	64,08	19,42	16,50
CN2	0 - 0,2	74,18	14,15	11,68
	0,2 - 0,4	72,63	14,53	12,84
CN25	0 - 0,2	70,38	14,95	14,68
	0,2 - 0,4	69,44	19,92	10,65
CN46	0 - 0,2	71,58	12,93	15,48
	0,2 - 0,4	68,02	18,21	13,77

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 5 – Resultados químicos dos solos

Manejo	Prof.	Ca	Mg	Na	K	P	pH Água	CE	MO
	m	g.ha <sup>-1</sup>						uS.cma <sup>-1</sup>	g.kg <sup>-1</sup>
CN0	0 - 0,2	10,96	226,23	2,17	12,36	1,81	5,36	63,26	12,02
	0,2 - 0,4	41,77	86,05	4,33	24,60	3,57	5,46	35,00	11,95
CN2	0 - 0,2	20,88	43,02	2,17	12,39	2,18	6,23	41,56	16,93
	0,2 - 0,4	31,49	180,60	4,33	24,42	2,71	5,33	22,17	16,78
CN25	0 - 0,2	18,63	63,71	2,16	12,36	2,19	5,64	27,94	42,09
	0,2 - 0,4	34,06	156,96	4,33	24,56	1,79	5,37	25,59	41,91
CN46	0 - 0,2	12,85	116,90	2,19	12,80	2,04	5,19	35,50	84,97
	0,2 - 0,4	31,49	180,60	4,35	24,98	1,73	5,49	20,13	28,04

Fonte: Dados da pesquisa

### 4.3. Medição dos fatores abióticos que influenciam a conservação do solo

#### 4.3.1. Umidade

A umidade do solo foi monitorada durante os meses de janeiro a julho, com o objetivo de analisar sua influência na geração de escoamento superficial. As coletas foram

realizadas em cada unidade experimental uma vez por semana, uma coleta por parcela, com três repetições. As amostras deformadas foram coletadas na profundidade de 0 – 0,2 m, distribuídas sempre ao longo do perfil da parcela, acondicionadas em latas de alumínio e determinada a umidade pelo método gravimétrico. As amostras, ainda úmidas, foram pesadas e levadas a estufa a 105°C, durante 24 horas, e após novamente pesadas (peso seco). A umidade foi determinada com base nos dados de massa de solo úmido e seco por meio da seguinte Equação 1.

$$\mu = (m_{\mu} - m_s) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

em que:

$\mu$  = umidade do solo (%);

$m_{\mu}$  = massa do solo úmido (g);

$m_s$  = massa do solo seco (g).

#### 4.3.2. Temperatura

A temperatura foi medida de maneira manual e local. Tomando duas medições, uma a 0-0,1 m (temperatura superficial) e outra a 0,1-0,2 m (temperatura da rizosfera), para obter temperaturas comparativas. A primeira da superfície do solo e a segunda da primeira camada do solo ou a camada prioritária para o desenvolvimento vegetal e a que influencia os fenômenos físico-químicos (GLOBE, 2005). As coletas foram realizadas em cada unidade experimental, uma vez por semana, 3 coletas por parcela, em faixas horárias distintas, com três repetições. As faixas foram: 09h00min, 13h00min e 17h00min, fazendo uma média geral por dia (MOROCHO; VILLANUEVA; SORIANO, 2017).

#### 4.4. Coletas de água

As coletas de água foram realizadas no período da estação chuvosa da região, correspondendo ao período de janeiro a julho, considerando relevante cada evento com geração de escoamento superficial no acumulado de 24 horas. As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas esterilizadas na FEVC. Também se quantificou o volume hídrico escoado superficialmente de cada tanque, e coletadas amostras de água para determinação de perda de

nutrientes e perda de sedimento, como amostras de sedimento do fundo para realização de medidas de perda granulométrica (FIGURA 3).

Figura 3 - Coleta de amostras de água dos tanques coletores



Fonte: Autor

#### 4.5. Precipitação pluviométrica

Os dados de precipitação pluviométrica (P) foram obtidos na estação meteorológica da FEVC e no posto pluviométrico instalado na área experimental, contendo os pluviômetros Ville de Paris (FIGURA 4), que foram medidos dentro de um ciclo de 24h de cada evento, as 09h00min do dia seguinte da chuva, de modo que as lâminas acumuladas nos pluviômetros foram medidos empregando o uso de proveta.

Figura 4 - Pluviômetros



Fonte: Autor

#### 4.6 Estimativa da intensidade e erosividade

Os dados de intensidade da precipitação foram perdidos por falha na comunicação com o datalog que armazenava as informações do pluviógrafo, então, para determinação da intensidade (I) de cada evento e máxima intensidade em trinta minutos, I30, em mm.h<sup>-1</sup>, foi utilizada equação proposta por Rodrigues *et al.* (2008) em um período de retorno de 20 anos e duração da precipitação de 30 min e 60 min (EQUAÇÃO 2). A energia cinética associada a chuva foi obtida pelo sistema de equações proposto por Wischmeier & Smith (1978) e modificado por Foster *et al.* (1981):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \dots\dots\dots(1)$$

$$I = 3854,60 (t+18)^{0,9434} \dots\dots\dots(2)$$

em que:

EC = energia cinética das gotas da chuva (MJ.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>);

I = intensidade da chuva (mm.h<sup>-1</sup>);

t = duração da precipitação.

A erosividade (R) foi determinada pelo cálculo do EI30, que é produto da EC da chuva e do I30 além da altura total da precipitação pluviométrica (P) em mm, (EQUAÇÃO 3).

$$EI30 = EC.I30.P \dots\dots\dots(3)$$

em que:

EI30 = índice de erosividade (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>);

EC = energia cinética das gotas da chuva (MJ.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>);

I30 = intensidade máxima em 30 minutos (mm h<sup>-1</sup>);

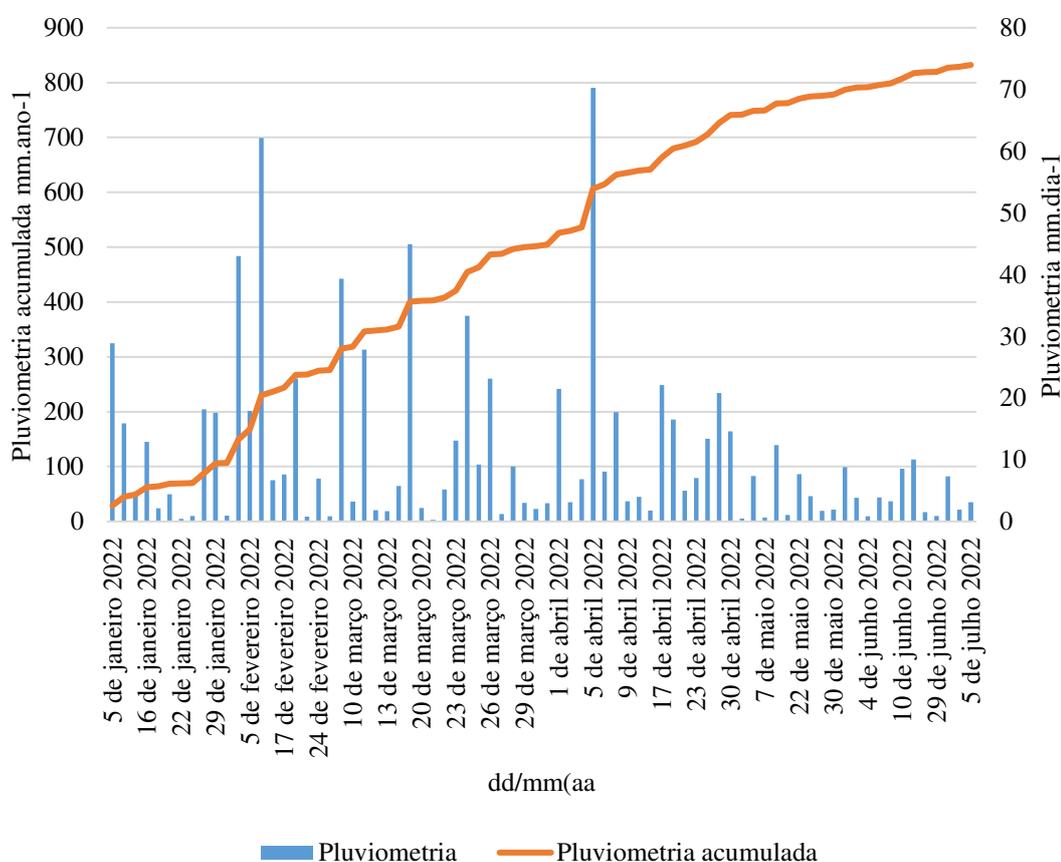
P = altura total de precipitação pluviométrica (mm).

## 4.7 Resultados e discussão

### 4.8.1 Comportamento da precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica total foi de 832,13 mm, valor acima da média normal da região em 4,4%, que é de 797 mm (FEITOSA, 2017). As magnitudes mais elevadas dos eventos analisados foram de 70,25 mm em 05 de abril, 62,15 mm em 11 de fevereiro e 44,9 mm em 16 de março (FIGURA 5).

Figura 5 - Comportamento das chuvas



Fonte: Dados da pesquisa

Foram monitorados 57 eventos pluviométricos acima de 2 mm distribuídos nos 7 meses estudados, essa distribuição apontou uma concentração da precipitação pluviométrica nos meses de março e abril. O somatório das precipitações pluviométricas com altura >30 mm (P3) correspondeu a 55,33% do total precipitado (TABELA 6). As precipitações com potencial mais erosivo são aquelas com maior lâmina precipitada, P3, e foram registrados 8 eventos com

lâmina acima de 30 mm, 14,04% do total de eventos. Sendo aqueles não representativos 19 (não considerados) do total, correspondendo a 33,3% dos eventos.

Tabela 6 - Classificação dos eventos de precipitação mensal

Meses 2022	Precipitação Incidente			
	NR (<2mm)	P1 (2 – 14,9mm)	P2 (15 – 29,9mm)	P3 (>30mm)
Janeiro	2	3	5	0
Fevereiro	3	3	1	3
Março	4	9	2	4
Abril	1	7	7	1
Maiο	5	3	1	0
Junho	3	6	0	0
Julho	1	2	0	0
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>33</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

NR – Não Representativa, P1 – Precipitação tipo 1, P2 – Precipitação tipo 2 e, P3 – Precipitação tipo 3.

Fonte: Dados da pesquisa

#### 4.8.2 Escoamento superficial

Do total de 57 eventos de precipitação pluviométrica registrados, somente 24 foram capazes de gerar escoamento superficial em no mínimo uma das parcelas experimentais, produzindo lâmina total escoada superficialmente de 781 L na parcela CN25, 2,35 L na parcela CN46, enquanto nas parcelas CN2 e CN0, foram registrados escoamentos de 2894,1 L e 13306,4 L, respectivamente (TABELA 7). Na Figura 6 é apresentado o cruzamento dos dados de precipitação e escoamento. Estudos anteriores apresentaram valores de 2518 L na parcela CN22 e 4 L na parcela CN43, enquanto nas demais parcelas CPL (cultivo de feijão-caupi em nível com leiras) e CPq (cultivo de feijão-caupi no sentido da declividade após queima - agora CN0), foram registrados escoamentos de 2395 L e 2823 L, respectivamente, no ano 2019 (Cavalcante, 2019).

Sendo as mesmas parcelas, só que variando no tratamento da CPq - cobertura de feijão-caupi, que se tornaram o tratamento CN0. Assim, estudos indicam que em encostas de

1-15% e 80% de cobertura vegetal herbácea/hectare, segundo Winpenny *et al.* (2013), se reduz o escoamento em torno de 5% do total precipitado. Por outro lado, Magalhães *et al.* (2018) menciona que a cobertura vegetal no semiárido tem a capacidade de diminuir 35,7% a 7,2% a  $CP \leq 30$  mm e 5,7% a 4,3% a  $30 < CP \leq 50$  mm o escoamento.

Tabela 7 - Resumo dos processos de perda de água nas parcelas em 2022

Tratamento	Nº de eventos	Nº de eventos erosivos	Precipitação Total (mm)	Precipitação escoada (mm)	Coefficiente de escoamento – C (%)
CN0				151,21	18,17
CN2	57	24	832,12	32,89	3,95
CN25				8,88	1,07
CN46				0,03	0,003

CN46 – Cobertura Natural a 46 anos, CN25 – Cobertura Natural a 15 anos, CN2 - Cobertura Natural a 2, e CN0 - Sem Cobertura Vegetal.

\*C = Precipitação escoada / Precipitação total

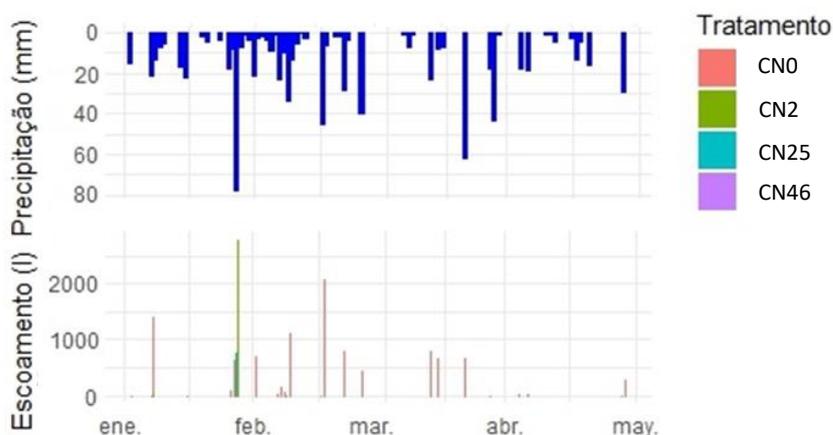
Fonte: Dados da pesquisa

Os eventos geradores de escoamento apresentaram diferentes coeficientes de escoamento de acordo com o manejo de solo aplicado nas parcelas. Sendo os valores na CN25, CN2 e CN0 de 1,07%, 3,95% e 18,17% respectivamente, enquanto a parcela CN46 obteve um coeficiente de 0,003%. Em estudos anteriores obteve-se coeficientes na CN22, CPq e CPL de 5,28%, 4,05% e 3,45%, respectivamente, enquanto a parcela CN43 obteve coeficiente de 0,01% (CAVALCANTE, 2019).

Palácio *et al.* (2016) verificaram que a análise de uma área de queima e cultivo de capim teve a maior perda de água, 10 vezes > Caatinga em pousio e 7,5 vezes > Caatinga rala. Com relação a taxa de infiltração total Silva *et al.* (2019) (TASSINARI; BARRAL; CHRISTOFARO; PINTO; OLIVEIRA; SILVA, 2023) mencionam que houve diferença entre as áreas, com a Caatinga preservada se destacando em relação às demais, superando em 145% (pastagem), 111% (terra arada) e 115% (regeneração natural). De acordo com Palácio *et al.* (2016), de maneira geral, nenhuma variável é capaz de explicar a perda de solo em diferentes

bacias ao mesmo tempo. Isso sugere que os mecanismos de perda de solo variam de acordo com as características específicas da área. Essas características não apenas variam espacialmente, mas também temporalmente. Por exemplo, ao comparar a CN46 (pesquisa de 2022) com a CN43 (pesquisa de 2019), mesmo com pouca mudança na formação vegetal e uma dinâmica de chuvas quase idêntica, foram observados diferentes coeficientes de escoamento.

Figura 6 - Comportamento dos eventos de precipitação e dos eventos de escoamento por tratamento



Fonte: Dados da pesquisa

Em regiões áridas e semiáridas, os solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal são vulneráveis aos processos físicos e químicos de alteração das condições da camada superficial (GONÇALO FILHO *et al.*, 2018) (GONÇALVES; CUNHA; CRUZ; FREITAS, 2022). Como formação de crostas, típicas destas áreas secas, levando a diminuição das taxas de infiltração e aumentando as taxas de escoamento superficial e erosão (RIES e HIRT, 2008).

#### 4.8.3 Estimativa de perda de solos

A lâmina total precipitada produziu um índice de erosividade (EI30) acumulado de 670,29 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> entre janeiro e julho de 2022 (TABELA 8). Os meses de fevereiro, março e abril, que apresentaram maiores concentrações do total precipitado, corresponderam a 76,32% do total anual. De acordo com Carvalho *et al.* (2008) o índice de erosividade da precipitação da região é classificado como moderado a forte. As precipitações de alta intensidade e de curta duração, que apresentam grande energia cinética e poder de arraste de partículas do solo, são características das chuvas convectivas presentes na região semiárida (RODRIGUES *et al.*, 2008).

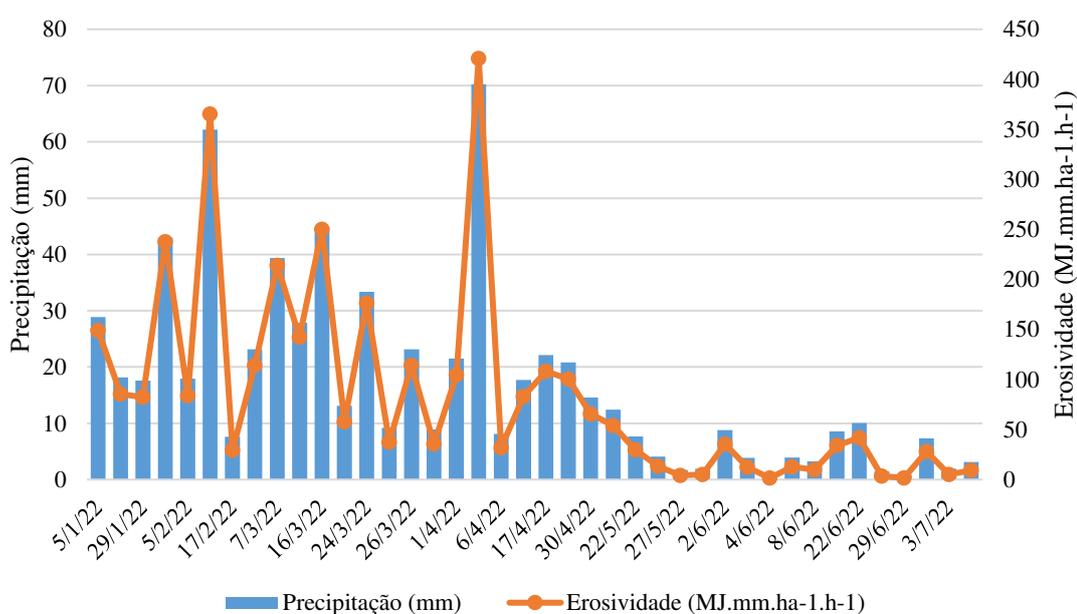
Tabela 8 - Erosividade mensal no período 2022

Meses 2022	Total	Media	Máximo	Mínimo	DP	CV
	MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>					%
Janeiro	62,48	6,24	25,37	0,009	8,03	128,49
Fevereiro	189,49	18,95	103,55	0,034	33,85	178,63
Marco	191,67	10,09	56,99	0,004	17,17	170,24
Abril	208,22	13,88	129,68	0,147	32,54	234,39
Maio	18,43	2,30	7,24	0,015	2,78	120,92
Junho	11,13	1,24	3,64	0,03	1,42	114,60
Julho	2,63	0,88	2,02	0,17	1,00	114,71
Total	670,29	51,46	322,83	0,209	94,37	832,67

Fonte: Dados da pesquisa

A erosividade dos eventos geradores de escoamento variou entre 1,53 a 421,01 mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> (FIGURA 7). Os maiores valores de erosividade foram correspondentes com as maiores alturas pluviométricas, 250,03; 365,24 e 421,01 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.

Figura 7 - Precipitação e Erosividade (EI30) dos eventos erosivos



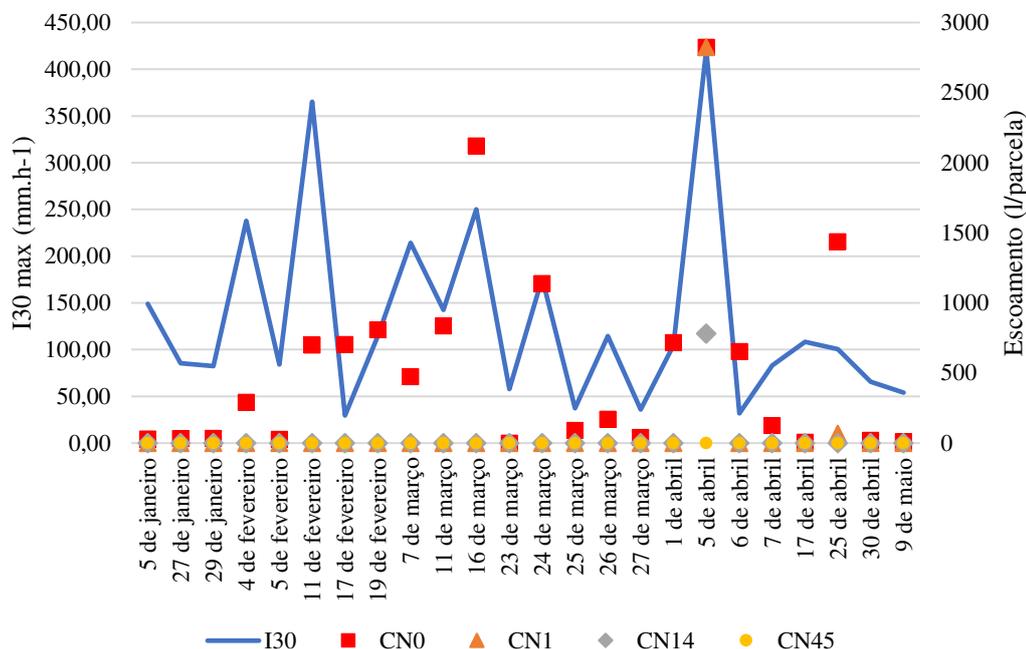
Fonte: Dados da pesquisa

O mês de maio apresentou chuvas do tipo P2, mas não aconteceram eventos representativos de escoamento nas parcelas, só 9 L na parcela CN0, por conta de que tanto a umidade do solo estava diminuindo, quanto a temperatura já se encontrava aumentando, principalmente nas parcelas Sem Cobertura Vegetal e com Cobertura Herbácea de um ano. Essa característica da distribuição da precipitação favoreceu a redução do potencial erosivo da precipitação no final da quadra chuvosa.

A lâmina pluviométrica anual é a variável responsável pela diferença no total de eventos causadores de escoamento, conforme destacado por Sousa et al. (2020). Palácio et al. (2016) afirmam que a perda de solo, além da cobertura, que é o principal fator, relaciona-se também com a I30 e a umidade antecedente, representando mais de 95% da perda de solo. De acordo com as características pluviométricas, a produção de sedimentos em diferentes usos de solo pode estar altamente correlacionada com o I30, denotando uma maior dependência do processo erosivo da intensidade da precipitação, como evidenciado por Ribeiro Filho et al. (2017).

A influência da intensidade máxima de precipitação (I30 max) em relação ao escoamento (l/parcela) (FIGURA 8) revelou resultados notáveis nas diferentes condições de cobertura do solo. A parcela sem cobertura vegetal (CN0) demonstrou uma resposta significativa, respondendo de maneira proporcional aos maiores níveis de I30. Esta área experimentou alterações substanciais, indicando uma sensibilidade pronunciada ao aumento da intensidade de precipitação. Em contraste, a Caatinga Densa (CN46) apresentou uma estabilidade notável diante das variações de I30.

Figura 8. A influência da intensidade máxima de precipitação em relação ao escoamento.



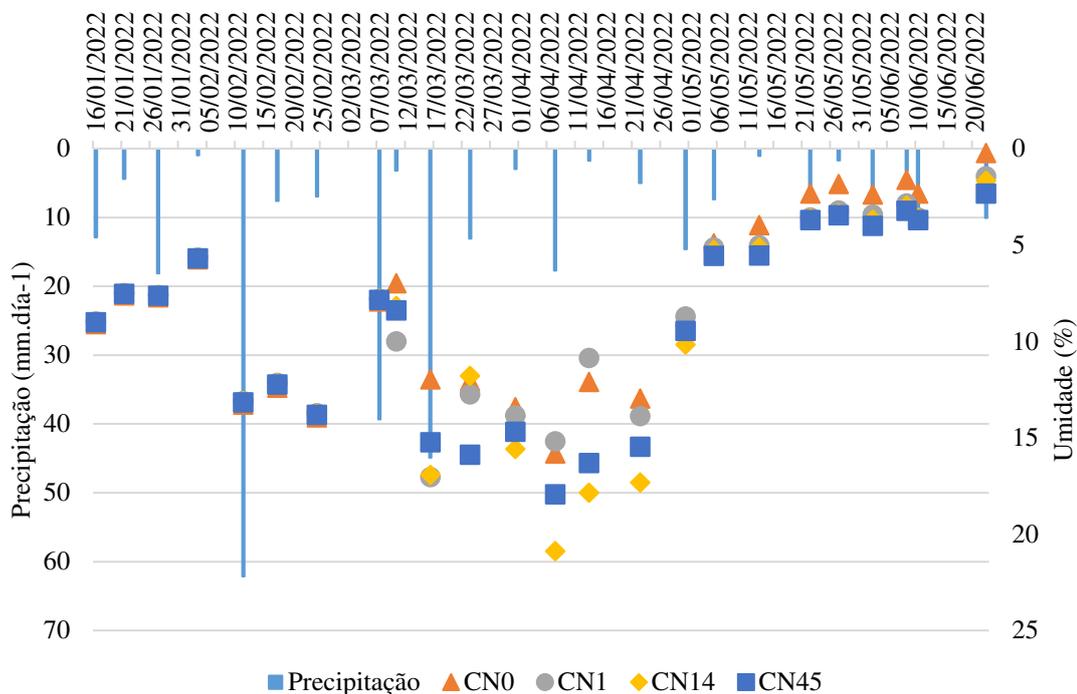
Fonte: Dados da pesquisa

Surpreendentemente, praticamente não houve alteração significativa no escoamento, destacando a resiliência desse ecossistema em manter suas características hidrológicas mesmo diante de eventos pluviométricos intensos. Essa disparidade de respostas entre as áreas sem cobertura vegetal e com cobertura densa destaca a importância crítica da preservação da vegetação na regulação do escoamento hídrico e na mitigação dos impactos da erosão em ambientes como a Caatinga.

#### 4.8.4 Influência da umidade do solo na perda de água

Observou-se a variação temporal da umidade, para profundidade de 0 - 0,2 m, onde se constatou o efeito dos manejos aplicados na manutenção da água no solo, principalmente na parcela CN25 (FIGURA 9). Com o aumento da precipitação houve incremento gradual de água no solo independentemente do manejo do solo aplicado nas parcelas.

Figura 9 - Umidade do solo em função do manejo do solo analisado e da precipitação incidente, no período de fevereiro a julho de 2022



Fonte: Dados da pesquisa

O tratamento CN25 obteve os maiores valores de umidade no solo (20,88% e 20,72%) em relação aos outros tratamentos, no mês de abril. Os meses de fevereiro e março apresentaram as maiores concentrações de eventos de chuva P3, 3 e 4, respectivamente, o que contribuiu para o desenvolvimento do extrato herbáceo, favorecendo a infiltração. A eficiência na conservação de umidade na camada superficial do solo é maior em áreas com maior desenvolvimento do extrato herbáceo, quando comparadas as áreas com mata nativa com maior tempo de recuperação (ANDRADE *et al.*, 2016) (DAI *et al.*, 2018).

Estudos de comparação de tratamentos com intensidade de chuva constante revelaram que as condições de umidade do solo são um fator importante e resultam em grande variabilidade na produção de sedimentos para os diferentes tratamentos (SILVA *et al.*, 2018) (CHAGAS; MONTENEGRO; LINS; FARIAS, 2022). Durante a estação chuvosa, houve observações de que o solo mais raso demonstrou uma maior eficácia em manter níveis adequados de umidade, como discutido por Costa *et al.* (2016). Em relação à influência dos períodos secos na umidade do solo durante a estação chuvosa, não parece que haja uma

redefinição das diferenças de umidade do solo entre os locais estabelecidos durante o período úmido, conforme afirmado por Toro-Guerrero et al. (2018).

A média do valor mínimo das quatro parcelas nas semanas com eventos de altura P3 foi 7,62% e a média do máximo 17,92% de umidade no solo (TABELA 9). Observa-se que a CN25 apresenta os maiores valores máximos e médios da umidade em comparação com as outras três, com 20,88% e 13,15%, mas por outro lado, nos valores mínimos a CN46 apresenta o maior valor percentual de umidade 7,85%.

Tabela 9 - Valores mínimos, máximos e médios da umidade em relação aos dias geradores de escoamento na altura P3 (>30 mm)

Parcela	Umidade (%)		
	Min	Max	Media
CN0	7,00	15,82	11,25
CN2	7,81	17,05	12,47
CN25	7,81	20,88	13,15
CN46	7,85	17,94	13,05

CN46 – Cobertura Natural a 46 anos, CN25 – Cobertura Natural a 15 anos, CN2 - Cobertura Natural a 2, e CN0 - Sem Cobertura Vegetal.

Fonte: Dados da pesquisa

Apesar dos valores de umidade inicial serem diferentes entre as áreas de Caatinga, a infiltração inicial entre elas não é diferenciada, demonstrando ser um processo dinâmico influenciado por outros fatores (SILVA *et al.*, 2019). Assim, Palácio *et al.* (2016) afirmam que o escoamento depende de como os eventos de precipitação estão distribuídos e da condição do solo em relação a sua umidade anterior.

Ao analisar a variação da umidade do solo entre o dia anterior e posterior ao único evento de escoamento nas quatro parcelas (conforme mostrado na TABELA 10), foram observadas as seguintes mudanças: na CN0, a umidade aumentou em 2,4% no dia seguinte ao evento e diminuiu em 3,71% no dia posterior. Na CN2, houve um aumento de 1,34% no dia seguinte ao evento, seguido de uma perda de umidade de -8,9%. Na CN25, a variação foi de 5,3% e -3,01%, enquanto na CN46 foi de 3,24% e 1,62%, respectivamente. Destaca-se que a

CN25 apresentou a maior variação positiva na umidade após o evento de maior intensidade do período, enquanto a CN2 teve a maior redução na umidade durante a primeira semana após o mesmo evento.

Tabela 10 - Histórico de valores da umidade do dia com o evento de maior escoamento nos quatro tratamentos

Data	Umidade Media (%)			
	CN0	CN2	CN25	CN46
31 de março	13,42	13,85	15,58	14,70
5 de abril*	15,82	15,19	20,88	17,94
13 de abril	12,11	6,29	17,87	16,32

CN46 – Cobertura Natural a 46 anos, CN25 – Cobertura Natural a 15 anos, CN2 - Cobertura Natural a 2, e CN0 - Sem Cobertura Vegetal.

\*5 de abril: único evento registrado com ocorrência de escoamento nas quatro parcelas experimentais

Fonte: Dados da pesquisa

Constatou-se que a cobertura teve um impacto positivo sobre a umidade. É possível observar que mesmo após 8 dias, a diminuição da umidade não a levou para patamares inferiores aos iniciais no caso da CN25 e CN46, isso é justificado pelo efeito da cobertura. Na Caatinga apresenta-se maiores teores de umidade do solo próximo à superfície para dias úmidos, após altas lâminas de chuva (MONTENEGRO *et al.*, 2019).

Verificou-se que os locais com Cobertura Natural de Caatinga apresentaram o maior coeficiente de variação da umidade do solo, devido à infiltração (MONTENEGRO *et al.*, 2019). A vegetação densa, dá maior umidade, maior fluxo de calor latente e, conseqüentemente, menor temperatura do ar (SOUSA *et al.*, 2019). A umidade do solo é considerada um parâmetro associado aos processos de movimentação da água no solo (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

#### 4.8.5 Influência da temperatura do solo na perda de água

Observou-se a variação temporal da temperatura, para profundidades em duas camadas, a camada superficial de 0 - 0,1 m e a camada da rizosfera de 0,1 – 0,2 m, onde se constatou o efeito dos manejos aplicados no efeito deste parâmetro no solo, principalmente na

parcela CN0 que apresentou as temperaturas mais altas das quatro parcelas, tanto superficial como na rizosfera.

Assim, as mais baixas se apresentaram na CN46 no que diz respeito a temperatura superficial e na temperatura da rizosfera. Com o aumento da precipitação houve diminuição da temperatura do solo, mas foi dependente do manejo do solo aplicado nas parcelas.

Desse modo, o aumento das áreas agrícolas de sequeiro resulta em menor evapotranspiração e maior temperatura (MAGALHÃES *et al.*, 2018). A Caatinga preservada, com a sua acumulada cobertura morta, segundo Lima *et al.* (2020) apresenta menor temperatura do solo, efeito devido as perdas de energia via calor latente e sensível. Assim, podem se confirmar isso nos valores da temperatura dos eventos com altura P3, aqueles maiores a 30 mm (TABELA 11).

Tabela 11 - Valores mínimos, máximos e médios da temperatura em relação aos dias geradores de escoamento na altura P3 (>30mm)

	Temperatura (°C)		
	Min	Max	Media
Superficial			
CN0	27,50	34,80	30,37
CN2	26,60	29,57	27,94
CN25	26,23	28,77	27,38
CN46	25,80	31,07	27,53
Rizosfera			
CN0	26,87	31,17	29,22
CN2	26,80	28,87	27,51
CN25	26,20	28,30	26,92
CN46	24,10	28,53	26,69

CN46 – Cobertura Natural a 46 anos, CN25 – Cobertura Natural a 15 anos, CN2 - Cobertura Natural a 2, e CN0 - Sem Cobertura Vegetal.

Fonte: Dados da pesquisa

O valor mínimo médio das quatro parcelas nas semanas com eventos de altura P3 foi 26,53°C e o máximo 31,05°C na superfície, assim 25,99°C e 29,22°C respectivamente na rizosfera, apresentando uma variação entre as duas camadas de 0,54°C nos valores mínimos e 1,84°C nos valores máximos.

Analisando a variação entre a umidade do dia anterior e posterior mais próximo do evento com ocorrência de escoamento nas quatro parcelas (TABELA 12), a CN0 apresentou a maior variação de temperatura tanto na superficial como na rizosfera. Nas duas camadas a CN46 apresentou a maior variação antes do evento de precipitação, depois da CN0, e as menores taxas de variação de temperatura depois do evento

Tabela 12 - Histórico de valores da temperatura do dia com o evento de maior escoamento nos quatro tratamentos

Data	Temperatura Superficial (°C)				Temperatura Rizosfera (°C)			
	CN0	CN2	CN25	CN46	CN0	CN2	CN25	CN46
30 de março	29,60	27,50	25,63	25,50	28,00	26,97	26,33	24,97
5 de abril*	34,80	29,30	28,37	28,40	30,13	27,60	26,73	27,03
13 de abril	35,93	30,10	29,03	28,70	33,63	29,23	27,83	27,73

CN46 – Cobertura Natural a 46 anos, CN25 – Cobertura Natural a 15 anos, CN2 - Cobertura Natural a 2, e CN0 - Sem Cobertura Vegetal.

\*5 de abril: único evento registrado com ocorrência de escoamento nas quatro parcelas experimentais

Fonte: Dados da pesquisa

Não foi observada uma variação negativa nas temperaturas médias após o evento de precipitação, sugerindo que a temperatura não é necessariamente uma variável dependente da precipitação, mas sim da cobertura vegetal. No entanto, é importante ressaltar que essa relação é complexa e pode variar de acordo com diversos fatores. Por exemplo, em áreas de Caatinga, é comum encontrar maiores teores de água nas camadas profundas do solo, o que é crucial para a sustentação da evapotranspiração, produção de biomassa natural e cobertura herbácea. A variação da temperatura está diretamente vinculada à estrutura das formações vegetais (MONTENEGRO *et al.*, 2019). No entanto, para uma compreensão mais completa

dessas relações, seria necessário incluir medições detalhadas de temperatura ao longo do dia, incluindo a madrugada, além de considerar outros fatores como altitude, latitude, umidade relativa do ar e ventos locais. Portanto, é fundamental abordar essas questões com cautela e basear as conclusões em uma análise completa e detalhada dos dados disponíveis.

## 4.9 Conclusão

As áreas com maior grau de cobertura, notadamente a Caatinga Densa, demonstraram uma resposta mais eficaz na diminuição do escoamento e perda de solos. Portanto, práticas de manejo convencionais, baseadas na remoção da cobertura, contribuem para lâminas mais elevadas de escoamento em ambientes semiáridos, destacando a importância da preservação da vegetação, tanto do dossel arbóreo quanto das raízes, para a mitigação da erosão hídrica.

A relação entre as precipitações e as perdas de solo revelou que eventos com lâminas acima de 30 mm são mais propensos a causar erosão significativa. Esse insight é crucial para a gestão de áreas vulneráveis, permitindo a antecipação e adoção de medidas preventivas em resposta a condições climáticas específicas.

A análise das condições de umidade do solo revelou que a Caatinga Rala apresentou os maiores valores, destacando sua capacidade superior de absorção e retenção de umidade em comparação com outros tratamentos. Esse resultado ressalta a importância crítica da preservação desse tipo específico de cobertura vegetal para facilitar a infiltração e a retenção de água no solo. A manutenção da Caatinga Rala pode desempenhar um papel vital na sustentabilidade dos ecossistemas e no manejo eficaz das terras em ambientes semiáridos, fornecendo uma base sólida para a conservação dos recursos hídricos e a promoção da resiliência ambiental.

As variações nas temperaturas superficial e da rizosfera demonstraram a regulação efetiva exercida pela cobertura vegetal sobre as condições térmicas do solo. Esse achado enfatiza a importância da vegetação na modulação das condições ambientais, o que tem implicações diretas na evaporação e nas taxas de infiltração.

A cobertura do solo é essencial na mitigação da erosão hídrica em ambientes semiáridos. As práticas de conservação, especialmente aquelas que promovem e preservam a cobertura vegetal, são essenciais para a sustentabilidade desses ecossistemas. Portanto, é fundamental a implementação de políticas públicas com estratégias eficazes de manejo de solo e da cobertura vegetal para promover a resiliência ambiental e para a preservação dos recursos naturais em ambientes semiáridos.

## 5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eunice Maia de; SENA, Maria Gina Torres; SILVA, Antonio Givanilson Rodrigues da; PEREIRA, Francisco Jairo Soares; LOPES, Fernando Bezerra. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the state of Ceará. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 88, 19 jul. 2016. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3500>.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. 326p.

CAVALCANTE, Raí Rebouças. **Acurácia de modelos digitais de elevação e processos hidrossedimentológicos em microbacia hidrográfica no semiárido**. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CEARA. Governo do Estado do Ceara. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestao dos **Recursos Hídricos. Caracterizacao Hidrografica do Curu**. 2018. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-Bacia-Hidrogr%C3%A1fica-Curu.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

CHAGAS, Aline Maria Soares; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; LINS, Frederico Abraão Costa; FARIAS, Carolyne Wanessa Lins de Andrade. Análise da umidade do solo em bacia experimental no semiárido pernambucano utilizando o modelo SWAT. **Agrometeoros**, [S.L.], v. 30, p. 173-182, 8 ago. 2022. AGROMETEOROS. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v30.e026993>.

COSTA, Carlos Alexandre Gomes; ARAËJO, José Carlos de; LOPES, José Wellington Batista; PINHEIRO, Everton Alves Rodrigues. PERMANENCE OF WATER EFFECTIVENESS IN THE ROOT ZONE OF THE CAATINGA BIOME. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 692-699, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n320rc>.

CUNHA, Ana Paula Martins do Amaral; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 139-152, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862013000200003>.

DAI, Cuiting; LIU, Yaojun; WANG, Tianwei; LI, Zhaoxia; ZHOU, Yiwen. Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in southern China. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 210, p. 41-48, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.032>.

EMBRAPA (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. SPI, EMBRAPA, 412p.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro. 3ed., 2017, 95 p.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do Brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FLEGEL, Sven K.; BENNETT, James C.. State Uncertainty Normality Detection. **The Journal Of The Astronautical Sciences**, [S.L.], v. 67, n. 3, p. 1044-1062, 6 dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40295-019-00201-3>.

GLOBE (Argentina). **Protocolo de Temperatura del Suelo**. Buenos Aires: Globe, 2005. 17 p.

GONÇALO FILHO, Francisco; FERREIRA NETO, Miguel; FERNANDES, Cleyton dos Santos; DIAS, Nildo da Silva; CUNHA, Rutilene Rodrigues da; MESQUITA, Francisco de Oliveira. Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 1-5, 29 dez. 2018. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801581>.

GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal; CUNHA, Mônica Pringsheim; CRUZ, Manoel Jerônimo Moreira; FREITAS, Luis Alexandre Dias. Modelamento Hidrogeoquímica da Interação Água/Rocha Carbonática do Sistema Aquífero Salitre, Bacia Sedimentar de Irecê, Bahia, Brasil. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 1-14, 12 nov. 2022. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v36i2.30184>.

HANUSZ, Zofia; ENOMOTO, Rie; SEO, Takashi; KOIZUMI, Kazuyuki. A Monte Carlo comparison of Jarque–Bera type tests and Henze–Zirkler test of multivariate normality. *Communications In Statistics - Simulation And Computation*, [S.L.], v. 47, n. 5, p. 1439-1452, 28 jun. 2017. **Informa UK Limited**. <http://dx.doi.org/10.1080/03610918.2017.1315771>.

LIMA, Cleene Agostinho de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; LIMA, João L. M. P. de; ALMEIDA, Thayná Alice Brito; SANTOS, Júlio Cesar Neves dos. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 531-542, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>.

LIMA, Kleber Carvalho; LUPINACCI, Cenira Maria; GOMES, Daniel Dantas Moreira; SOUZA, Sirius Oliveira; ALEXANDRE, Fernando da Silva. Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no Semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 1-14, 1 jun. 2023. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2319>.

MAGALHÃES, Adriana Guedes; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins de; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; FONTES JÚNIOR, Robertson Valério de Paiva. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 1, 31 out. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2204>.

MASSA – GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO MANEJO DE ÁGUA E SOLO NO SEMIARIDO (Ceará). **Localização de nossos sítios**. sd. Disponível em: <http://www.massa.ufc.br/localizacao-sitios/>. Acesso em: 29 set. 2021.

MONTENEGRO, Abelardo A. A.; LOPES, Iug; CARVALHO, Ailton A. de; LIMA, João L. M. P. de; SOUZA, Thais E. M. S. de; ARAÚJO, Helio L.; LINS, Frederico A. C.; ALMEIDA, Thayná A. B.; MONTENEGRO, Hugo G. L. A.. Spatio Temporal Soil Moisture Dynamics and Runoff under Different Soil Cover Conditions in a Semiarid Representative Basin in Brazil. **Advances In Geosciences**, [S.L.], v. 48, p. 19-30, 5 jun. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-48-19-2019>

MOREIRA, Wagner Henrique; TORMENA, Cássio Antonio; KARLEN, Douglas L.; SILVA, Álvaro Pires da; KELLER, Thomas; BETIOLI, Edner. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 160, p. 53-64, July. 2016.

MOROCHO, Manuel; VILLANUEVA, Rubén; SORIANO, Guillermo. Análisis de Mediciones de Temperatura en Suelo sin Perturbar en Guayaquil - Ecuador. **Revista Politécnica**, Guayaquil, v. 40, n. 1, p. 1-6, out. 2017.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; SANTOS, Júlio César Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; BRASIL, José Bandeira. EFFECTIVE PRECIPITATION, SOIL LOSS AND PLANT COVER SYSTEMS IN THE CAATINGA BIOME, BRAZIL. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 956-965, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n421rc>.

RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; SANTOS, Júlio César Neves dos; BRASIL, José Bandeira. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 468-478, June. 2017.

RIES, Johannes B.; HIRT, Ulrike. Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the Central Ebro Basin/Spain. **Catena**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 282-296, Jan. 2008.

RODRIGUES, Valdemir Antonio; SÁNCHEZ-ROMÁN, Rodrigo Máximo; TARJUELO, José Maria; SARTORI, Maria Márcia Pereira; CANALES, Antonio Ruiz. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 01-13, 12 jun. 2015.

RODRIGUES, J.O. ANDRADE, E. M., OLIVEIRA, T. S., LOBATO, F. A O. Equações de intensidade–duração–frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 511-520, 2008.

SANTOS, Wagner Martins dos; SOUZA, Rodolfo Marcondes Silva; SOUZA, Eduardo Soares de; ALMEIDA, André Quintão de; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 368-376, 15 ago. 2017.

SANTOS, Eduardo S. dos; SOUZA, Eduardo S. de; PESSOA, Luiz G. Medeiros; LEITE, Pedro A.; WILCOX, Bradford P.; SILVA, José R. Inácio. Water erosion in Caatinga and degraded pasture areas in semiarid region. **Amazonian Journal Of Plant Research, Belem**, v. 2, n. 4, p. 261-266, Dec. 2018.

SILVA, José Raliuson Inácio; SOUZA, Eduardo Soares de; SOUZA, Rodolfo; SANTOS, Eduardo Silva dos; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NA EROÇÃO HÍDRICA EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 272-283, 19 jun. 2019. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>.

SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; SANTOS, José Yure Gomes dos. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal Of Sediment Research**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 117-125, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>

SOUSA, Marcos Makeison Moreira de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; MOURA, Matheus Magalhães Silva. DETERMINANT PLUVIOMETRIC CHARACTERISTICS OF SEDIMENT TRANSPORT IN A CATCHMENT WITH THINNED VEGETATION IN THE TROPICAL SEMIARID. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 785-793, set. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n322rc>.

SOUSA, Valdemício Ferreira de; NUNES, Guilhermina Maria Vieira Cayres; ZONTA, João Batista; ARAUJO, Eugênio Celso Emérito. **Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense**. 21. ed. Sao Luis: Embrapa Cocais, 2019. 139 p.

SOUZA, Rodolfo M. S.; SOUZA, Eduardo S. de; ANTONINO, Antonio C. D.; LIMA, José R. de S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 449-455, maio 2015

TASSINARI, Diego; BARRAL, Uidemar Moraes; CHRISTOFARO, Cristiano; PINTO, Thiago Almeida Andrade; OLIVEIRA, Ricardo Murta; SILVA, Alexandre Christofaro. Caracterização fisiográfica e vazão de duas bacias hidrográficas do sítio PELD TURF na Chapada do Couto, Serra do Espinhaço Meridional. **Zenodo**, [S.L.], p. 1-15, 24 abr. 2023. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.7858872>.

TORO-GUERRERO, Francisco del; VIVONI, Enrique; KRETZSCHMAR, Thomas; RUNQUIST, Stephen Bullock; VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Rogelio. Variations in Soil Water Content, Infiltration and Potential Recharge at Three Sites in a Mediterranean Mountainous Region of Baja California, Mexico. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1844, 13 dez. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10121844>.

WINPENNY, James; HEINZ, Ingo; KOO-OSHIMA, Sasha. **Reutilización del agua en la agricultura**. 35. ed. Roma: Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 2013. 124 p.

## **6. CAPÍTULO III - ANÁLISE DA PERDA DE SOLO E NUTRIENTES SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE SOLO NO SEMIÁRIDO**

**RESUMO:** A região semiárida do Nordeste do Brasil é caracterizada por chuvas de alta intensidade e curta duração, sendo seus processos erosivos agravados pelo inadequado modelo de uso do solo. A falta de dados mensurados sobre escoamento e perda de nutrientes torna crucial a aplicação de modelos hidrossedimentológicos para a estimativa da erosão, exigindo um entendimento aprofundado da real taxa de aporte de sedimentos para a região. Este estudo teve como objetivo avaliar as perdas de solo e nutrientes devido à erosão hídrica em quatro tratamentos, sendo dois sob a vegetação de Caatinga (Densa e Rala), um com cobertura herbácea e o último sem cobertura vegetal, em três níveis pluviométricos (P1: chuva de 2-14.9 mm, P2: 15-29,9 mm e P3: >30 mm). As parcelas de erosão foram estabelecidas em uma microbacia na área de Caatinga no município de Pentecoste, Ceará. Coletas de água de escoamento foram realizadas a cada 24 horas entre janeiro e julho de 2022 (sempre que havia eventos pluviométricos e conseqüentemente escoamento). As amostras foram analisadas no Laboratório de Relações Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, campus Pici. A quantificação dos nutrientes perdidos envolveu análises químicas do solo, focalizando nos elementos  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  e P. Os resultados destacaram que a combinação de cobertura florestal-herbácea, representada pela Caatinga Densa, demonstrou maior eficiência na redução de perdas de solo e nutrientes. Esta área apresentou as menores perdas, seguida pela Caatinga Rala, que exibiu mínimo desenvolvimento herbáceo. Em contrapartida, o tratamento de solo sem cobertura vegetal registrou as maiores perdas. Esses achados reforçam a importância da cobertura vegetal na atenuação dos processos erosivos, justificando a relevância desta pesquisa para o manejo sustentável desses ecossistemas semiáridos.

**Palavras-chave:** Lâmina Pluviométrica; Caatinga; Cobertura Herbácea; Processos Erosivos; Perda Total de Nutrientes.

## **Analysis of soil and nutrient loss under different types of soil cover in the semi-arid**

**ABSTRACT:** The semi-arid Northeast region of Brazil is characterized by high-intensity, short-duration rainfall, with erosive processes exacerbated by an inadequate land-use model. The lack of measured data on runoff and nutrient loss increases the need for the application of hydrosedimentological models to estimate erosion, necessitating a thorough understanding of the actual sediment yield for the region. This study aimed to assess soil and nutrient losses due to water erosion in four treatments: two under Caatinga vegetation (Dense and Sparse), one with herbaceous cover, and the last one without any vegetative cover, under three rainfall intensities (P1: 2-14.9 mm, P2: 15-29.9 mm, and P3: >30 mm). The erosion plots were established in a microbasin in the Caatinga area in the municipality of Pentecoste, Ceará. Runoff water samples were collected every 24 hours from January to July 2022. The collected samples were analyzed at the Soil-Water-Plant Relationships Laboratory of the Department of Agricultural Engineering at the Federal University of Ceará, Pici campus. Quantification of lost nutrients involved chemical analyses of the soil, focusing on elements such as  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ , and P. The results highlighted that the combination of forest-herbaceous cover, represented by Dense Caatinga, showed greater efficiency in reducing soil and nutrient losses. This area exhibited the lowest losses, followed by Sparse Caatinga, which showed minimal herbaceous development. In contrast, the treatment with bare soil registered the highest losses. These findings underscore the importance of vegetative cover in mitigating erosive processes, justifying the relevance of this research for the sustainable management of these semi-arid ecosystems.

**Keywords:** rainfall heights; dense caatinga; thin caatinga; herbaceous cover; erosive processes; total loss of nutrients.

## **Análisis de la pérdida de suelo y nutrientes bajo diferentes tipos de cobertura del suelo en el semiárido**

**RESUMEN:** La región semiárida del noreste de Brasil se caracteriza por lluvias de alta intensidad y corta duración, con procesos erosivos exacerbados por un modelo de uso del suelo inadecuado. La falta de datos medidos sobre la escorrentía y la pérdida de nutrientes aumenta la necesidad de aplicar modelos hidrosedimentológicos para estimar la erosión, lo que requiere una comprensión detallada de la producción real de sedimentos para la región. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las pérdidas de suelo y nutrientes debido a la erosión hídrica en cuatro tratamientos: dos bajo vegetación de Caatinga (Densa y Dispersa), uno con cobertura herbácea y otro sin ninguna cobertura vegetal, bajo tres intensidades de lluvia (P1: 2-14.9 mm, P2: 15-29.9 mm y P3: >30 mm). Las parcelas de erosión se establecieron en una microcuenca en el área de Caatinga en el municipio de Pentecoste, Ceará. Se recogieron muestras de agua de escorrentía cada 24 horas desde enero hasta julio de 2022. Las muestras recolectadas se analizaron en el Laboratorio de Relaciones Suelo-Agua-Planta del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Ceará, campus Pici. La cuantificación de nutrientes perdidos incluyó análisis químicos del suelo, enfocándose en elementos como  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  y P. Los resultados destacaron que la combinación de cobertura forestal-herbácea, representada por la Caatinga Densa, mostró una mayor eficiencia en la reducción de las pérdidas de suelo y nutrientes. Esta área exhibió las pérdidas más bajas, seguida de la Caatinga Dispersa, que mostró un desarrollo herbáceo mínimo. En contraste, el tratamiento con suelo desnudo registró las mayores pérdidas. Estos hallazgos subrayan la importancia de la cobertura vegetal en la mitigación de los procesos erosivos, justificando la relevancia de esta investigación para el manejo sostenible de estos ecosistemas semiáridos.

**Palabras clave:** alturas de lluvia; caatinga densa; caatinga dispersa; cobertura herbácea, procesos erosivos; pérdida total de nutrientes.

## 6.1 Introdução

Diante da complexidade e interconexão dos fatores físico-químicos que influenciam os processos de degradação e perda de solo, compreender esses elementos torna-se essencial para a conservação efetiva dos solos. Como ressaltado por Cunha et al. (2013), Costa et al. (2013), Silva et al. (2018), e Montenegro et al. (2019), a análise aprofundada desses fatores fornece informações cruciais para o manejo adequado, contribuindo para a mitigação das crescentes pressões antrópicas sobre ecossistemas semiáridos.

Nesse contexto, a presente pesquisa busca não apenas desvendar a intrincada interação entre fatores humanos e climáticos, mas também oferecer um entendimento localizado por meio da análise de variáveis específicas relacionadas a áreas e tipos de uso do solo (Ribeiro Filho et al., 2017). A utilização de parcelas experimentais, como destacado por Munoz-Robles et al. (2011), emerge como uma ferramenta valiosa para compreender as respostas hidrossedimentológicas dos solos.

Reconhecendo que a degradação do recurso varia temporal e espacialmente, influenciada por múltiplos elementos como clima, escoamento superficial, topografia, cobertura vegetal, manejo do solo (Lobato et al., 2010), e práticas de conservação (Montenegro et al., 2013), este estudo visa contribuir para um entendimento mais abrangente e contextualizado da realidade situacional.

Além disso, ao considerar as implicações econômicas das perdas por erosão, especialmente em relação aos custos de produção e empobrecimento do solo (Silva et al., 2007; Schick et al., 2000), o presente trabalho busca fornecer insights valiosos para a promoção de práticas sustentáveis e estratégias de conservação eficazes.

Com a aplicação da Análise de Componentes Principais como uma ferramenta analítica eficaz para relacionar variáveis físico-biológicas do solo aos fatores de perda de solo (Perez et al., 2015), a pesquisa busca consolidar informações multifacetadas em componentes elucidativos, contribuindo assim para um entendimento mais holístico e aplicável na gestão sustentável do solo (Sousa et al., 2020).

No desdobramento dos doze fatores principais em estudo, esses foram habilmente condensados em onze dimensões, proporcionando uma visão aprofundada da dinâmica do ecossistema Caatinga. As duas primeiras dimensões emergem como protagonistas, capturando

de maneira precisa a complexidade das propriedades do solo na região. O primeiro componente principal, responsável por 28,5% da variabilidade, destaca-se como uma peça fundamental do quebra-cabeça, delineando uma relação direta entre a Conservação, Umidade, Fósforo, Sódio e uma inversa com a Temperatura. Esta dimensão inicial revela-se como o epicentro que molda as condições fundamentais para a preservação do solo na Caatinga.

Enquanto isso, a segunda dimensão oferece uma perspectiva única, evidenciando uma relação inversa entre a Perda de Nutrientes e o Teor de Umidade no solo. Este achado sugere uma intrincada interconexão entre a umidade do solo e a preservação dos nutrientes, apontando para nuances cruciais na dinâmica hídrica e nutricional do ecossistema.

Ao traçar esses padrões, fica claro que a conservação se destaca como a variável-chave, exercendo uma influência direta sobre todos os demais elementos que desempenham papéis significativos no solo da Caatinga. Este capítulo introdutório, ao desvendar essas dimensões, estabelece as bases para uma compreensão mais profunda das complexidades inerentes ao ambiente em estudo, ressaltando a importância crítica da conservação como ponto focal para futuras investigações.

## 6.1.1 Hipóteses e Objetivos

### 6.1.1.1 Hipóteses

- As formações vegetais herbáceas e a Caatinga Rala desempenham um papel crucial na redução das perdas de nutrientes e elementos físicos do solo. Na análise de Componentes Principais (PCA), a conservação da massa vegetal é o fator dominante, influenciando diretamente os demais componentes.

### 6.1.1.2 Objetivos

- Analisar a influência dos fatores do solo nos eventos de escoamento em parcelas experimentais, quantificar a perda de solo, água e nutrientes solúveis em diferentes usos do solo.

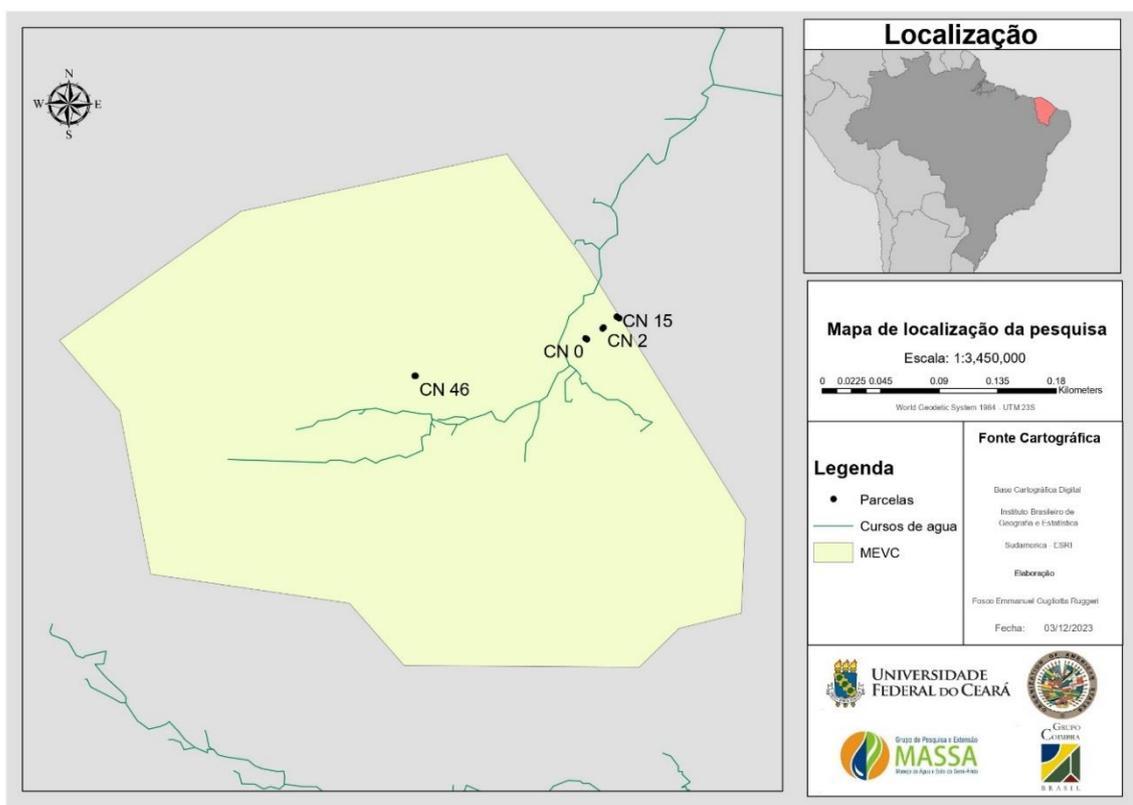
## 6.2 Material e métodos

### 6.2.1 Área de estudo

Localiza-se na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), propriedade pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste. Este sítio é composto por cinco fragmentos como se segue: uma microbacia, onde se desenvolvem pesquisas sobre escoamento superficial e perdas de nutrientes e quatro fragmentos de uso e ocupação do solo – Caatinga em regeneração; Caatinga raleada, área de pastejo animal e cultivos agrícolas, Figura 10.

O município de Pentecoste está localizado geograficamente na Microrregião do Médio Curu, com coordenadas de 6°47'34" S e a 39°16'13" W, a uma altitude média de 60 metros (BRASIL, 1973). Partindo de Fortaleza o principal acesso ao município é pela BR – 222 e CE – 235.

Figura 10 – Localização do Sítio – Fazenda Experimental do Vale do Curu – FEVC



Fonte: Dados da pesquisa.

A BEVC, com área de 285 ha, está inserida na Bacia do Curu, que se encontra posicionada no centro-norte do estado do Ceará, a qual possui o principal afluente, o rio Curu, com extensão de 195 km (CEARÁ, 2018). A microbacia em estudo (MEVC) compreende 12,5 ha da área total da BEVC.

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), com temperatura média mensal sempre superior a 18°C, as chuvas apresentam uma distribuição uni-modal, iniciando em fevereiro/março e estendendo-se até junho, com máximas ocorrências em março e abril. As precipitações pluviométricas médias anuais ficam em torno da isoietas de 700 mm. A distribuição mensal é marcada por alta variabilidade temporal e espacial, podendo em um único mês, concentrar um acumulado superior ao total anual de um ano seco (MASSA, s.d.).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os aspectos físicos do solo são classificados de maneira geral como Neossolos e Luvisolos Háplicos (EMBRAPA, 2018). Essas classificações são baseadas em características como textura, estrutura, cor e outros atributos físicos do solo. Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, com horizontes superficiais pouco diferenciados e uma ausência ou presença muito fraca de características de argila. Já os Luvisolos Háplicos são solos caracterizados por apresentarem um horizonte B com acúmulo de argila iluvial, que pode resultar de processos de lixiviação e eluviação. Essas classificações são importantes para compreender as propriedades e o potencial de uso do solo em diferentes áreas e podem influenciar decisões relacionadas à agricultura, manejo de terras e conservação do solo.

#### 6.2.2. Análise de perda de solo e água

Em cada evento que ocorreu escoamento foram mensurados os volumes de água armazenados nos tanques coletores. Dessa forma, determinou-se o volume de água perdido em forma de escoamento superficial em escala de parcela. As amostras de água coletadas de maneira direta dos tanques e foram acondicionadas em garrafas plásticas de 1 L e enviadas para a análise dos atributos em laboratório.

Para determinar a perda de solo ( $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foram realizadas análises de sólidos totais (AST), por ensaio de evaporação em banho Maria a temperatura de 103°C, presente nas amostras de água, após cada evento gerador de escoamento superficial. As análises de sólidos totais foram realizadas segundo a metodologia descrita (APHA, 2005), no Laboratório de

relação Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza.

### 6.2.3 Nutrientes na água

As análises de nutrientes na água foram desenvolvidas no Laboratório de relação Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza.

#### 6.2.3.1 Complexo $Ca+Mg$

O método para cálculo da dureza da água ou complexo  $Ca+Mg$  foi o de titulação com EDTA, estabelecendo o complexo em termos de  $CaCO_3$ . Assim, para conhecer os valores de cada nutriente, analisou-se uma amostra, previamente filtrada, de cada coleta de escoamento no fotômetro de chama, obtendo a proporção de  $Ca^{2+}$ . Finalmente executando uma subtração entre o valor do complexo e o  $Ca^{2+}$  para assim obter a quantidade de  $Mg^{2+}$  em cada amostra analisada.

#### 6.2.3.2 Sódio e Potássio

Para a obtenção dos valores de  $Na^+$  e  $K^+$  utilizou-se uma amostra previamente filtrada das amostras de águas de escoamento no fotômetro de chama para assim determinar as quantidades de nutrientes perdidas nos eventos de precipitação.

#### 6.2.3.3 Fósforo

O fósforo foi analisado pelo método do fósforo reativo solúvel ou ortofosfato baseado na formação do complexo de fosfomolibdato em um meio ácido. Metodologia desenvolvida por Murphy e Riley (1962).

### 6.2.4 Cálculo de vazão nas microbacias

A vazão das microbacias foi calculada por meio da curva chave definida para cada um dos vertedouros instalado nas seções. O monitoramento do nível de água escoado na seção foi realizado com a utilização de sensores de nível da marca HOBBO Water Level Logger, programados para fazerem leituras em intervalos de 5 minutos e instalados em um poço tranquilizador, ligado ao vertedouro por um vaso comunicante construído para esse fim. Para o cálculo de vazão no vertedouro (FIGURA 11), foram utilizadas duas equações: uma para parte

triangular que mede as vazões menores (EQUAÇÃO 4) e outra para a retangular quando o nível de água ultrapassa a soleira do vertedouro triangular > 0,15 m (EQUAÇÃO 5).

$$Q = Cdt.H^{5/2} \dots\dots\dots(4)$$

$$Q = Cdt.H^{5/2} + Cdr.(L - 0.2.(H - 0.15)).(H - 0.15)^{3/2} \dots\dots\dots(5)$$

Sendo:

Q = a vazão escoada, (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>);

L = a largura do vertedouro;

H = a altura de água passando no vertedouro;

Cdt = coeficiente de descarga do vertedouro triangular;

Cdr = coeficiente de descarga do vertedouro retangular.

Figura 11 – Vertedouro da MEVC



Fonte: Autor

### 6.2.5 Aspectos físicos do escoamento dos tanques das parcelas de erosão

Para a determinação dos aspectos físicos do escoamento foi desenvolvida a análise granulométrica por tamisado, onde previamente deve-se preparar as amostras, peneirar, pesar as frações retidas e passantes e calcular a percentagem acumulada (FIGURA 12) no Laboratório de relação Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza. Analisando assim amostras deformadas coletadas do fundo do tanque de 25 L depois de cada evento com escoamento.

Figura 12 - Granulometria do sedimento erodido nos eventos de escoamento



Fonte: Autor

### 6.2.6. Modelo de análise dos dados

Para o desenvolvimento da Análise de Componentes Principais (PCA), teve-se como principal classificador os eventos de escoamento ocorridos e as variáveis medidas em cada um deles. Foram no total 32 eventos e 10 variáveis, como:

- 1) Precipitação efetiva, medida em mm,
- 2) Escoamento, medido em L,

- 3) Umidade, medida em %,
- 4) Temperatura, medida em °C,
- 5) Sólidos Totais, medidos em Ton.ha<sup>-1</sup>,
- 6) Ca<sup>2+</sup>, medido em g.ha<sup>-1</sup>,
- 7) Mg<sup>2+</sup>, medido em g.ha<sup>-1</sup>,
- 8) K<sup>+</sup>, medido em g.ha<sup>-1</sup>,
- 9) P, medido em g.ha<sup>-1</sup> e
- 10) Na<sup>+</sup>, medido em g.ha<sup>-1</sup>.

Após compilar as medidas das variáveis das quatro parcelas (CN46; CN25; CN2; CN0), utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar se as amostras provêm de uma população Normal ou não. Depois, aplicou-se o teste de Levene's para verificação da homogeneidade das amostras. A significância destes testes foi atribuída em 95% de acordo as recomendações da literatura, para executar a correlação paramétrica ou não paramétrica (UBEDA *et al.*, 2019).

Quando as variâncias se revelaram não homogêneas, as transformações foram realizadas usando logaritmos comuns (log) e naturais (Ln) para atingir a estabilização das variâncias e a definição dos grupos (PAZ *et al.*, 2021). Com o teste de homogeneidade feito, obtiveram-se as Componentes Principais e assim, as informações essenciais, tais como: o grau de vinculação, a percentagem explicativa e o grau de contribuição de cada variável ao conjunto de elementos que influenciam nos processos hidrossedimentológicos (UBEDA *et al.*, 2019). As análises estatísticas foram realizadas com o ajuda do Software RStudio, versão 4.2.

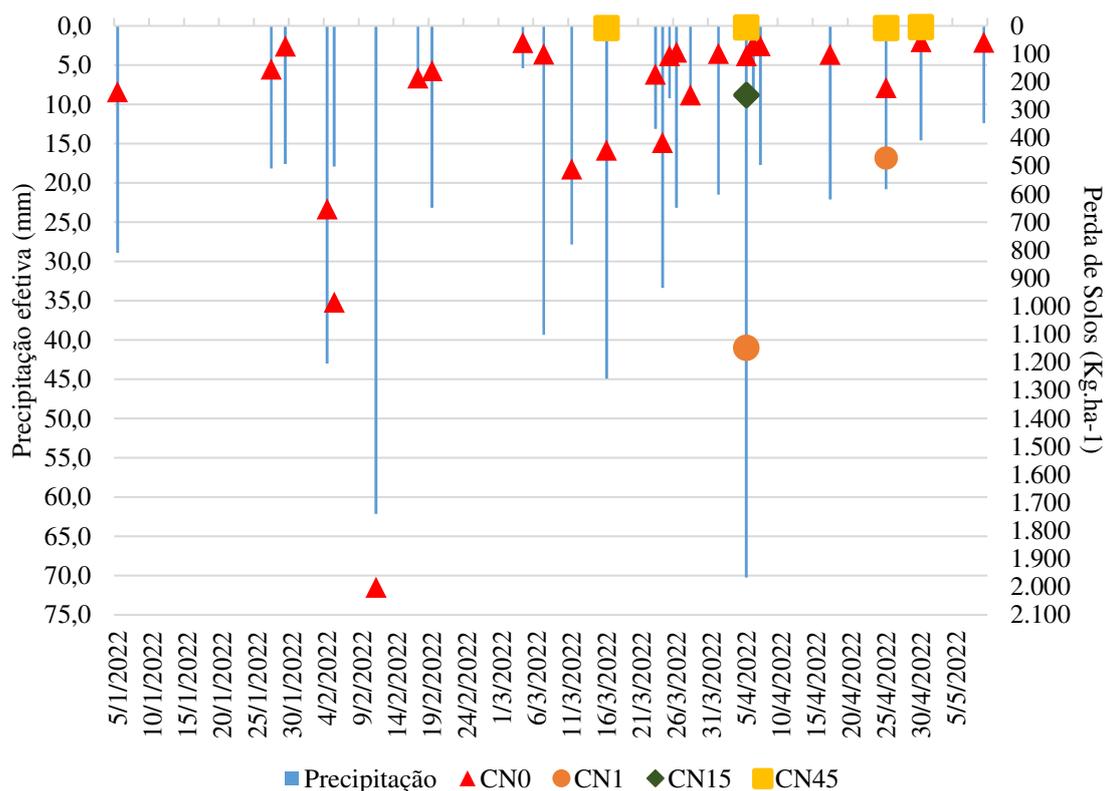
## 6.3 Resultados e discussão

### 6.3.1 Perda de Sólidos Totais

#### 6.3.1.1 Perda de Sólidos Totais nas Parcelas de Erosão

As taxas de perda de solo nas Parcelas de Erosão variaram de 56,67 a 2002,40 Kg.ha<sup>-1</sup> no tratamento CN0, 8,35 a 5,27 Kg.ha<sup>-1</sup> e 1147,33 a 471,33 Kg.ha<sup>-1</sup> nos tratamentos CN46 e CN2, respectivamente. O tratamento CN25 apresentou apenas um escoamento superficial em todo o período estudado, produzindo uma perda de solo de 245,77 Kg.ha<sup>-1</sup>. As maiores alturas pluviométricas produziram maiores lâminas de água escoada e maior arraste de partículas do solo em todos os tratamentos estudados (FIGURA 13).

Figura 13 – Perda de solos em relação aos eventos de chuva



Fonte: Dados da pesquisa

A produção total de sedimentos na parcela CN2 foi de 1618,66 Kg.ha<sup>-1</sup> distribuídos em 2 eventos erosivos, na parcela CN46 foi de 27,72 Kg.ha<sup>-1</sup> distribuídos em 4 eventos erosivos e na CN25 um só evento erosivo de 245,77 Kg.ha<sup>-1</sup>. Podendo observar-se que de todas as

parcelas com algum tipo de cobertura vegetal, aquela que apresentou menor perda de solos foi a Caatinga Densa, por mais que tenha sofrido mais eventos de escoamento em comparação com a Caatinga Rala.

De acordo com Santos *et al.* (2012), as florestas tropicais secas em estado de regeneração não são tão eficientes na redução de perdas de solo por erosão hídrica em comparação com aquelas mais desenvolvidas. A conformação do dossel ao ser mais aberto minimiza a interceptação e reduz a distribuição da água precipitada pelo extrato arbóreo, além de reduzir naturalmente as quantidades de serapilheira sob o solo (ZHOU *et al.*, 2016) (FEITOSA, 2017). Para a redução das quantidades de sedimento é preciso de formações adequadas, principalmente de vegetação rala, visto que, apresentam maior desenvolvimento do extrato herbáceo a partir da maior incidência de luz dentro da vegetação (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002) (SANTOS *et al.*, 2012).

O manejo do solo aplicado na parcela CN0 produziu um total de 7,382.00 Kg.ha<sup>-1</sup> de solo perdido durante o período estudado, sendo 356,05% maior que manejo CN2 1618,66 Kg.ha<sup>-1</sup>, o segundo tratamento com maior perda. A conservação da cobertura proporciona melhorias na qualidade física e química do solo, porque age como barreira na velocidade da enxurrada e provoca a redução da energia do escoamento e aumento na infiltração de água no solo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002) (VELÁSQUEZ; ORTEGA, 2023), diminuindo as perdas de solo e nutrientes.

#### 6.3.1.2 Medidas de Perda de Sólidos Totais por classe de chuva

Os valores de perda acumulada de solos das parcelas CN0, CN2, CN25 e CN46 para os três intervalos de precipitação considerados estão na Tabela 13. O tratamento Sem Cobertura Vegetal, representado pela parcela CN0, apresentaram perda de solo em todas as classes de chuva, desde aquelas que vão de 2-14.9 mm com 782.26 Kg.ha<sup>-1</sup> até as mais erosivas superiores a 29,9 mm com 3723.06 Kg.ha<sup>-1</sup>. O aumento de perda foi de 267,73% na relação P1 para P2 e de 29,42% na relação das chuvas P2 para P3.

Observando assim as magnitudes da capacidade erosiva da chuva nas condições de CN0 e o grau de vulnerabilidade dos solos quando se encontram sob proteção da cobertura vegetal. A relação chuva-perda apresenta comportamento exponencial e em condições de solo nu a precipitação total explica o escoamento gerado (MONTENEGRO *et al.*, 2019), sendo

assim, a lâmina pluviométrica anual a variável responsável pela diferença no total de eventos causadores de escoamento (SOUSA *et al.*, 2020).

Tabela 13 - Perda de Sólidos Totais por classe de chuva na quadra chuvosa

Parcela	Perdida de Sólidos Totais por classe de chuva		
	Kg.ha <sup>-1</sup>		
	P1	P2	P3
CN0	782,26	2876,66	3723,06
CN2	-	471,33	1147,33
CN25	-	-	245,77
CN46	5,26	7,90	14,55
Total	787,53	3355,90	5130,73

Fonte: Dados da pesquisa

Ao analisar os resultados da perda de solos nas parcelas conservadas, observa-se que, das três existentes, apenas uma delas não apresentou perda de solos na classe de chuva erosiva do tipo P2. Esta parcela é a CN25, ou Caatinga Rala, que demonstrou vantagens na proteção contra a perda de solos, mesmo em acumulados de chuva menores que 29,9 mm. Este comportamento pode ser atribuído às características específicas da Caatinga Rala. Esta vegetação pode ter uma maior capacidade de absorção e retenção de água, ajudando a reduzir a erosão do solo durante eventos de chuva intensa.

Além disso, a estrutura da vegetação e a densidade de cobertura na Caatinga Rala podem minimizar o impacto das gotas de chuva no solo, evitando sua desagregação e consequente perda. Outro fator relevante pode ser a capacidade de infiltração do solo na área da Caatinga Rala. Se o solo consegue absorver a água rapidamente, reduz-se a quantidade de água disponível para o escoamento superficial, o que também contribui para a redução da perda de solo. Essas observações sugerem que a presença da Caatinga Rala desempenha um papel crucial na proteção do solo contra a erosão, mesmo sob condições de chuva erosiva intensa.

Albuquerque *et al.* (2005), em estudo semelhante realizado no semiárido paraibano, encontraram taxas médias de 0,10 Ton.ha<sup>-1</sup> e de 0,41 Ton.ha<sup>-1</sup> para Caatinga nativa e Caatinga nova, respectivamente. Lima *et al.* (2020), analisando as perdas de água e solo sob condições distintas de uso do solo no semiárido nordestino, verificaram que uma mudança na cobertura

reduziu em 89% a perda de solo. Munoz-Robles *et al.* (2011) observaram controle de escoamento em áreas com maior cobertura herbácea no semiárido do sudeste da Austrália.

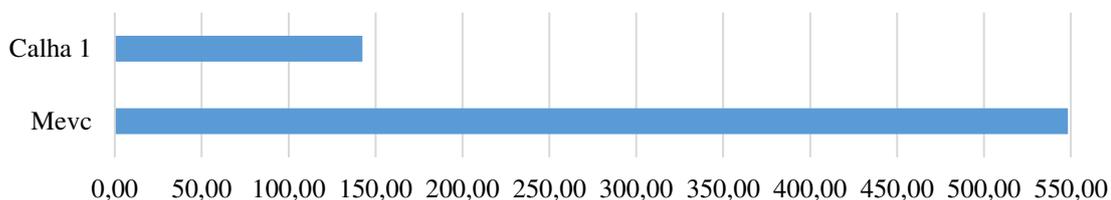
Nas parcelas conservadas a ordem de perda nas precipitações do tipo P3 foi CN46, CN25, CN2, sendo organizadas de maneira crescente. Onde a Caatinga Densa apresentou a menor quantidade de perda e a Cobertura Herbácea a maior. Observando assim, que a constante na proteção é a estrutura herbácea.

Caten *et al.* (2012) mostraram que um acréscimo de 16,2% na cobertura pode reduzir a erosão em até 44%. Este fato também foi evidenciado por Santos *et al.* (2011), identificando que quanto maior for a proteção ao solo por vegetação, menor serão as perdas de solo. Albuquerque *et al.* (2002), em estudos realizado em Sumé-PB, verificaram valores médios de escoamento de 2.250 Litros anuais em parcelas com cobertura de Caatinga nativa preservada, e constataram que a mudança de uso aumentou em até 10 vezes esse valor.

#### 6.3.1.2 Perda de Sólidos Totais nas Microbacias

As taxas de perda de solo nas Microbacias variaram de 194,53 a 30,26 Kg.ha<sup>-1</sup> na MEVC e 55,33 a 43,60 Kg.ha<sup>-1</sup> na Calha 1. Se distribuindo em 9 eventos e 3, respectivamente. A maior altura pluviométrica, que produziu maiores lâminas de água escoada e maior arraste de partículas do solo nas calhas estudados, aconteceu no dia 5 de abril de 2022, gerando a maior lâmina de enxurrada em ambas as calhas, chegando na MEVC a uma altura do coletor de SST de 15 cm e na Calha 1 de 10 cm (FIGURA 14).

Figura 14 - Perda de solos nas calhas de acordo aos eventos de precipitação em Kg.ha<sup>-1</sup>



Fonte: Dados da pesquisa

A MEVC mostrou maior quantidade de perda de solos por sedimentos em suspensão, tendo um valor total de 548.40 Kg.ha<sup>-1</sup>, por outro lado, a Calha 1 apresentou um valor de perda de 142.53 Kg.ha<sup>-1</sup>. Sendo a relação de aumento entre ambas de 284,76%.

Feitosa e Araújo (2016), avaliando a produção de água e sedimento em parcelas de erosão verificaram maiores lâminas escoadas e maior quantidade de sedimento na Caatinga preservada que na raleada. Também se evidenciou a influência, parecida, do raleamento e da cobertura vegetal sobre o comportamento e os processos hidrológicos em pesquisas no Semiárido Australiano e no Brasileiro, especificamente em microbacias (BARTLEY *et al.* 2006) (RODRIGUES *et al.* 2013) (SANTOS; TORRES; GONÇALVES, 2023).

### 6.3.2 Estimativa de perda de nutrientes

A falta de cobertura vegetal, no tratamento CN0, é o principal fator desencadeante da perda imediata de nutrientes no solo devido a exposição e vulnerabilidade ao efeito das gotas de chuva, efeito visto na Tabela 14, onde é perceptível o aumento na concentração da P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, e o aumento do pH do solo, em relação aos tratamentos que apresentam minimamente crescimento vegetal. Com o aumento da cobertura esses elementos nas camadas superficial e subsuperficial do solo tem uma menor probabilidade de arraste pelas enxurradas, como foi observado nos dados de campo.

Tabela 14 – Perda de nutrientes no período 2022

Manejo	Período – 2022						Total
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	
<b>Ca<sup>2+</sup> (g.ha<sup>-1</sup>)</b>							
CN0	22,89	40,96	38,07	11,81	0,72	-	114,46
CN2	-	-	-	0,39	-	-	0,39
CN25	-	-	-	0,04	-	-	0,04
CN46	-	-	-	-	-	-	0,04
<b>Mg<sup>2+</sup> (g.ha<sup>-1</sup>)</b>							
CN0	87,85	113,48	238,48	165,38	12,34	-	617,52
CN2	-	-	-	22,49	-	-	22,49
CN25	-	-	-	3,67	-	-	3,67
CN46	-	-	0,01	0,03	-	-	0,04
<b>Na<sup>+</sup> (g.ha<sup>-1</sup>)</b>							
CN0	0,87	1,19	0,79	0,79	0,08	-	3,73
CN2	-	-	-	0,06	-	-	0,06
CN25	-	-	-	0,01	-	-	0,01
CN46	-	-	-	-	-	-	0,01
<b>K<sup>+</sup> (g.ha<sup>-1</sup>)</b>							
CN0	7,82	17,71	10,81	4,83	0,46	-	41,62
CN2	-	-	-	0,32	-	-	0,32
CN25	-	-	-	0,11	-	-	0,11
CN46	-	-	-	-	-	-	0,01
<b>P (g.ha<sup>-1</sup>)</b>							
CN0	0,96	1,54	2,45	2,15	0,31	-	7,40
CN2	-	-	-	0,62	-	-	0,62
CN25	-	-	-	0,31	-	-	0,31
CN46	-	-	0,63	0,95	-	-	1,58

Fonte: Dados da pesquisa

A perda de nutrientes nas parcelas seguiu o mesmo padrão, onde os valores máximos se deram no tratamento CN0, a parcela com menor grau de conservação e as menores na parcela com o maior grau de conservação, corroborando que as características e condições

que apresenta a Caatinga Densa e a melhor, pelo menos em relação a conservação deste grupo de nutrientes mencionados (TABELA 14). Pode-se observar uma variação nesse padrão no que corresponde as perdas de fosforo, onde a menor perda se deu na Caatinga Rala.

A baixa concentração de Na<sup>+</sup> na camada superficial do solo, especialmente naqueles solos Sem Cobertura Vegetal, influenciou na baixa perda deste elemento. Resultados semelhantes mostraram que o sódio foi o nutriente com menores perdas em função dos manejos de cobertura do solo (LOBATO *et al.*, 2010) (LUCAS-BORJA *et al.*, 2019).

De acordo com Bertol *et al.* (1997), o empobrecimento dos solos sob efeito da retirada da cobertura já é visto a curto prazo e com consequências quase irreversíveis ao longo prazo nos parâmetros químicos do solo, como pode-se observar na Tabela 15 a média do pH e da condutividade elétrica (CE) nas águas de escoamento no período de 2022. Além de impactos, como a volatilização e perda de nutrientes, reduz a microbiota do solo, favorecendo o processo erosivo, entre outros, com o aumento da liberação de fósforo pelas enxurradas (LUCAS-BORJA *et al.*, 2019).

Tabela 15 – Média do pH e CE nas águas de escoamento no período 2022

Manejo	Período – 2022						
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
CN0	7,52	7,89	7,73	6,98	7,58	-	7,54
CN2	-	-	-	7,24	-	-	7,24
CN25	-	-	-	7,31	-	-	7,31
CN46	-	-	7,81	6,94	-	-	7,37
	CE (uS.cma <sup>-1</sup> )						
CN0	223,23	443,08	144,77	45,44	18,87	-	175,08
CN2	-	-	-	58,90	-	-	58,90
CN25	-	-	-	57,21	-	-	57,21
CN46	-	-	225,98	227,00	-	-	226,49

Fonte: Dados da pesquisa

A condutividade elétrica (CE) e pH da água dos escoamentos variaram em função da concentração de cátions na água, o potencial hidrogeniônico médio variou entre 7,24 e 7,54

(TABELA 15). Resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos de perda de água por erosão hídrica (GILLES *et al.*, 2009).

O tratamento CN46 observou-se a maior média de condutividade elétrica nos seus eventos de escoamento, em comparação aos demais tratamentos,  $226,49 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Na análise química do solo da parcela em questão, foi encontrada a maior concentração de matéria orgânica  $84,97 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  na camada superficial, isto justifica a elevada CE da amostra, visto que a CE é influenciada tanto pelo aumento da concentração de nutrientes, quanto pela concentração de carbono na solução (CARMO *et al.*, 2016).

Com exceção da parcela CN46, a CE média da amostra de água da parcela CN0 foi maior que as demais,  $175,08 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (TABELA 15). O aumento da concentração de cátions presentes na água é fator determinante no aumento da CE da água de enxurradas. O tratamento CN25 por apresentar baixas concentrações de cátions, foi o tratamento com menor CE média,  $57,21 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , seguido da parcela CN2 que apresentou CE média de  $58,90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . São muitos os estudos de solução do solo e água de escoamento que constataram a relação entre as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  na água e os maiores valores de CE (GILLES *et al.*, 2009) (CARMO *et al.*, 2016). O tratamento CN46 em comparação com os demais apresentou em geral menores perdas.

O principal fator influenciador na perda total de nutrientes entre os tratamentos em questão é a presença e composição do estrato herbáceo e florestal, assim, os tratamentos onde o estrato herbáceo é mínimo são aqueles que se encontram nos primeiros lugares em perda, como a CN2 e a parcela CN0, sem cobertura alguma. Por outro lado, os tratamentos com maior grau de conservação e com ótimo desenvolvimento do estrato herbáceo, a CN25 e a CN46, são aqueles com melhor resposta na perda de nutrientes, ficando a CN46 como o tratamento que apresenta mais vantagens na composição para amenizar ao máximo a perda de nutrientes por arrasto, por ser uma formação de Caatinga Densa.

Segundo Lobato *et al.* (2009), a influência das precipitações nas perdas de solo e nutrientes em parcelas de erosão em FTSS, com precipitações acima de 50 mm apresentam 76,50; 71,24 e 79,93% mais perdas de P,  $\text{K}^{+}$  e Cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ), respectivamente, do que precipitações abaixo de 30 mm. Outros estudos mostraram que a perda total de nutrientes sob chuvas extremamente fortes excedeu 50% dos valores totais de perda (GAO *et al.*, 2005) (CUNHA; CRUZ; SANTOS; RAMOS JUNIOR; GONÇALVES, 2022).

### *6.3.2.1 Estimativa de perda de nutrientes de acordo as classes de chuva*

Destaca-se o considerável poder erosivo das chuvas do tipo P3, pois, embora ocorram com menor frequência, apenas 8 dos 57 eventos de precipitação efetiva resultaram em maiores perdas totais, desencadeando processos erosivos em todas as parcelas. Assim, observou-se que a menor quantidade de nutrientes perdidos durante precipitações com acumulado superior a 30 mm foi na área CN46, correspondente à Caatinga Densa.

No tratamento Sem Cobertura Vegetal, foram registrados eventos erosivos em todas as classes de precipitação efetiva, seguindo o padrão esperado de que as chuvas P3 são responsáveis pela maior perda de nutrientes. Destaca-se o evento de chuva do dia 5 de abril, que se destacou ao atingir uma altura de 70,25 mm. Dessa forma, a perda total de nutrientes na área CN0 durante P1 foi de 151,96 g.ha<sup>-1</sup>, 374,81 g.ha<sup>-1</sup> na P2 e 235,13 g.ha<sup>-1</sup> na P3 segundo a Tabela 16, é apresentada a classificação da perda de nutrientes conforme as distintas classes de chuvas. Vale ressaltar que a P2 teve 16 eventos, enquanto a P3 teve apenas 8 eventos, resultando em uma diminuição mínima nas perdas de nutrientes.

Tabela 16 – Classificação da perda de nutrientes de acordo as classes de chuvas

Class.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P
	g.ha <sup>-1</sup>				
P1					
CN0	6,75	138,68	0,55	4,14	1,84
CN2	-	-	-	-	-
CN25	-	-	-	-	-
CN46	-	0,02	-	-	0,32
P2					
CN0	69,64	279,70	2,06	20,01	3,41
CN2	0,14	8,98	0,03	0,14	0,31
CN25	-	-	-	-	-
CN46	-	-	-	-	0,31
P3					
CN0	36,39	179,39	0,95	16,56	1,84
CN2	0,24	13,52	0,03	0,18	0,31
CN25	0,04	3,67	0,01	0,11	0,31
CN46	-	0,01	-	-	0,95

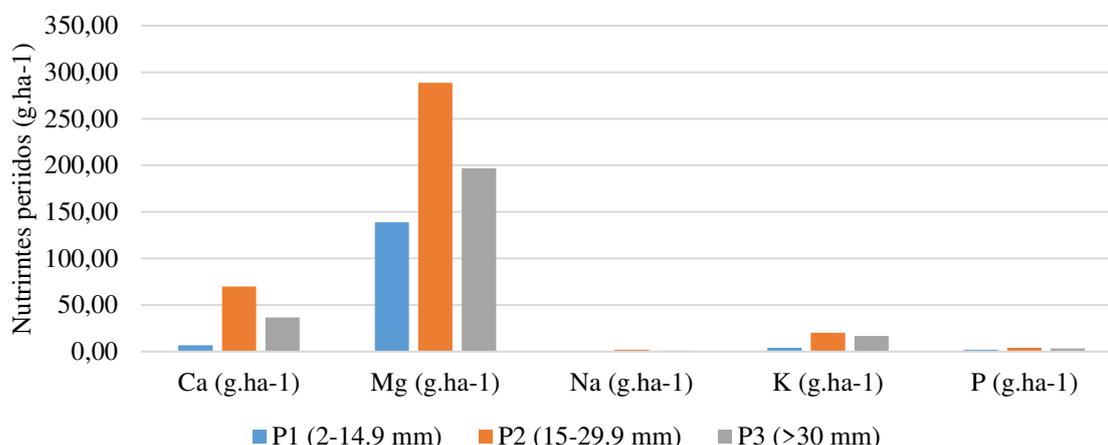
Fonte: Dados da pesquisa

As chuvas P3 representam em geral o maior percentual de nutrientes perdidos para cada tratamento, assim, para a CN0 representa 32,27% do total de Ca<sup>2+</sup> perdido, 30% do total de Mg<sup>2+</sup>, 26,69% do total de Na<sup>+</sup>, 40,67% do total de K<sup>+</sup> e 25,95% do total de P. Para a CN25 representam um total de 100% dos nutrientes perdidos. Para o CN2 representa um 63,16% do total de Ca<sup>2+</sup> perdido, 60,09% do total de Mg<sup>2+</sup>, 50% do total de Na<sup>+</sup>, 56,25% do total de K<sup>+</sup> e 50% do total de P. E na CN46 não se apresentou percentagem representativa de Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> perdido, 33,33% do total de Mg<sup>2+</sup> e 60,13% do total de P.

A perda total de nutrientes por classe de precipitação efetiva sem considerar os tratamentos pode-se observar na Figura 15. Observando que a variação positiva de aumento na perda é maior de P1 para P2 e para os nutrientes Ca<sup>2+</sup> e P a variação foi negativa na relação de P2 para P3. Também se observou que a tendência do pH médio por classe sem considerar os

tratamentos foi de diminuir ou se acidificar de acordo com o aumento da precipitação efetiva, apresentando pH 7,42, 7,31 e 7,64 para as chuvas P1, P2 e P3, respectivamente.

Figura 15 – Perda total de nutrientes por classe de chuva



Fonte: Dados da pesquisa

Assim a condutividade elétrica da água de escoamento variou de 71,74, 187,22 e 244,77  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para as chuvas P1, P2 e P3. Relacionando-se a maior condutividade no escoamento das P3, principalmente a esses percentuais de variação apresentadas anteriormente, onde vemos uma tendência de maior perda do cátion  $\text{Ca}^{2+}$ , que como comprovam outras pesquisas, podem influir nos níveis de condutividade aos valores presentes de pH na nossa área.

### 6.3.3 Granulometria do sedimento de perda na parcela sem cobertura vegetal

Analisando a granulometria dos sedimentos escoados na parcela CN0, Sem Cobertura Vegetal, é a única que gerou sedimentos analisáveis, teve características flutuantes na perda, desde perdas grosseiras até perdas mais finas, ou seja, predominância de areias em cinco dos dez eventos analisados e predominância de argilas e siltes nos outros escoamentos.

Analisando os resultados granulométricos para cada evento da parcela, verificou-se que há uma tendência de maior taxa de desagregação dos componentes do solo, areia e silte, ficando estáveis os valores de perda de argila, resultados que concordam com os obtidos por Eduardo *et al.*, (2013). Os picos na perda de silte na parcela CN0 podem ser observados nos eventos de 07/03/2022 e de 17/04/2022, os quais tiveram concentrações no solo desprendido de 41,48% e 50,01%.

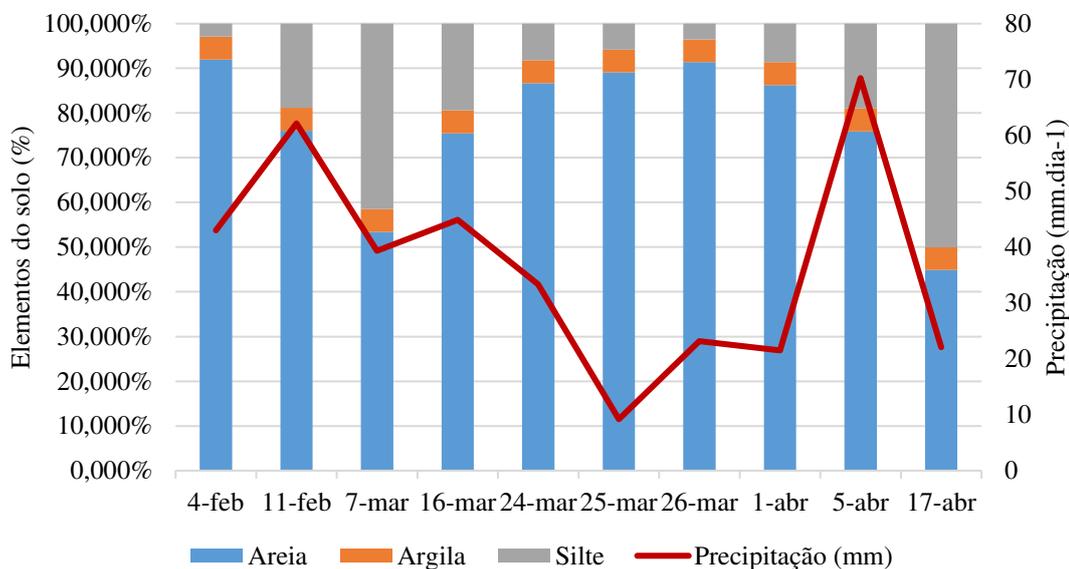
Segundo Megnounif *et al.* (2007) em regiões semiáridas, como no nordeste brasileiro, o desprendimento de solo é consequência das elevadas precipitações pluviométricas em um curto período de tempo e do solo exposto. No estudo do processo de seletividade de material desprendido do solo se demonstrou que existe predomínio na perda dos materiais mais grosseiros, devido à baixa coesão entre as partículas (FARMER, 1973) (POESEN E SAVAT, 1981) (ISSA *et al.* 2006). Podwojewski *et al.* (2011) relataram diversas alterações na perda de sedimento em virtude de diferenciação na cobertura vegetal. Observa-se que o aumento de cobertura vegetal potencializa a retenção de partículas mais finas do solo, pois esta atua como um filtro (SILVA *et al.*, 2014).

A textura do solo afeta a estabilidade e a própria formação de agregados, e solos com maior teor de argila favorecem a agregação. Segundo Vezzani e Mielniczuk (2011), a maior presença de argila contribui para o aumento da aproximação das partículas do solo. Por outro lado, horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, dificultando a formação de agregados (SANTOS *et al.* 2011) (SILVA *et al.*, 2014).

Impacto da gota de chuva tem o maior efeito no desprendimento de partículas pelo fato de que a energia inerente na gota de chuva, capaz de desagregar partículas, é maior do que qualquer energia existente no sistema. Esses valores se invertem durante o escoamento superficial, o escoamento exerce maior influência no desprendimento do solo do que a gota da chuva (HUDSON, 1971) (YOUNG e WIERSMA, 1973) (WARRINGTON *et al.* 2009).

Martinez-Mena *et al.* (2002), analisando a característica granulométrica do sedimento desprendido em ambiente semiárido e diferentes tipos de cobertura dos solos, verificaram que a característica do sedimento em todos os eventos e condições de cobertura foi de caráter siltoso, conforme representado na Figura 16, é possível observar a granulometria do sedimento de perda no Manejo Sem Cobertura Vegetal em relação aos eventos de chuva.. Partículas facilmente transportáveis e dominam as concentrações no sedimento; apresentam baixo poder de coesão, causando desprendimento e transporte (MILLER e BAHARUDDIN, 1987) (RIENZI *et al.* 2013) (WANG *et al.* 2014).

Figura 16 – Granulometria do sedimento de perda no Manejo Sem Cobertura Vegetal em relação aos eventos de chuva



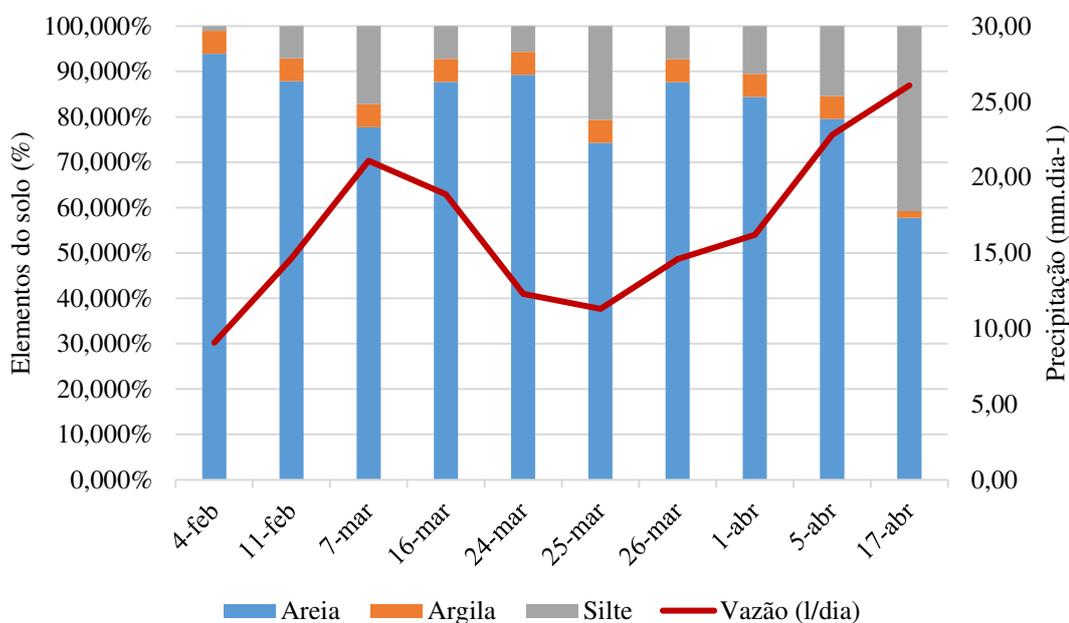
Fonte: Dados da pesquisa

Pôde-se observar a notável diferença granulométrica na CN0, em períodos distintos. Os eventos 07/03/2022 e de 17/04/2022, com maiores concentrações de silte, foram antecedidos pelas maiores alturas de chuva efetiva do período, 62,12 e 70,25 mm, ou seja, a granulometria do sedimento no escoamento superficial tende a ficar com características mais finas e maior presença de silte no decorrer de eventos consecutivos de grande precipitação com a capacidade de gerar escoamento na bacia. Os resultados se corroboram com os encontrados por Yuill e Nichols (2011), estudando o padrão granulométrico de transporte de sedimentos no semiárido do Arizona-EUA, onde observaram uma tendência de aumento da concentração de sedimentos mais finos no decorrer das chuvas mais intensas da quadra chuvosa.

A possível explicação para esse fenômeno reside na fase inicial da estação chuvosa e nos primeiros escoamentos superficiais, durante os quais observa-se uma melhor estruturação do solo devido a sua baixa umidade. Este cenário é uma decorrência dos meses de estiagem, nos quais não há escoamento superficial. Além disso, a combinação de um teor reduzido de matéria orgânica e uma textura predominantemente arenosa do solo contribui para a dificuldade de retenção de água.

Adicionalmente à baixa umidade do solo no início da estação, há também o efeito significativo da desagregação das partículas de solo devido à energia cinética gerada por eventos pluviométricos de elevada intensidade, conforme apresentado na Figura 17, a granulometria do sedimento de perda na MEVC é analisada em relação à vazão. Essas partículas desagregadas permanecem soltas na superfície do solo, obstruindo a infiltração da água e facilitando o escoamento superficial, o qual é responsável pelo arrastamento dessas partículas soltas. Quanto mais estruturado o solo menor a possibilidade de erosão de partículas (WANG *et al.* 2014) (MARTINS; GONÇALVES; TORRES, 2023). As precipitações posteriores encontram um solo bem menos estruturado, passível de ser erodido.

Figura 17 – Granulometria do sedimento de perda na MEVC em relação a vazão



Fonte: Dados da pesquisa

Na Figura 17, destaca-se o padrão comportamental da vazão em relação à perda de sedimentos na Microbacia Experimental Vale do Curu, a qual foi selecionada devido a sua abundância de dados, tornando-a mais representativa no contexto da análise sedimentológica. Observa-se que a perda de frações sedimentares, tanto finas quanto grossas, não apresenta uma correlação direta com a vazão. Nos momentos de pico de vazão, há uma perda significativa da fração fina. No entanto, é interessante notar que ocorre uma perda aproximadamente equivalente dessa fração durante o período de menor vazão, exemplificado pelo dia 25 de março.

Ao realizar uma análise mais profunda, verifica-se que as vazões mais baixas estão associadas a uma maior concentração de partículas de granulometria arenosa. Por outro lado, vazões mais elevadas evidenciam uma presença mais pronunciada de partículas de granulometria siltosa. Contudo, não é possível estabelecer uma relação significativa entre a vazão e a presença de partículas de granulometria argilosa, uma vez que esta última permanece praticamente constante ao longo das observações. Andrade Neto *et al.* (2012), entretanto, relataram que a associação entre a vazão e a concentração de sedimento em suspensão, em pesquisa na Bacia Hidrográfica do rio Guaíba durante 4 anos, apresentou uma correlação significativa, mas não significativamente alta. Isso leva a crer que o fator dominante na variação da concentração de sedimento suspenso foi a vazão, mas no caso do sedimento de arrasto ainda tem que se procurar outros fatores explicativos. É pouco provável que uma determinada vazão produza descargas sólidas semelhantes (KNIGHTON, 1998). Dessa forma, para uma mesma vazão pode-se obter diferentes valores de concentração de sedimento de arrasto e isso vai depender do período e estação do ano.

O padrão granulométrico de sedimentos também pode variar conforme as vazões recorrentes na bacia. Yuill e Nichols (2011) observaram um certo padrão, com uma tendência de maiores concentrações de sedimentos finos antes da vazão de pico, não sendo verificada relação significativa entre a granulometria de sedimento e a descarga líquida.

Essas movimentações de sedimentos pela bacia, fruto da erosão causada pela água, é a maior causa de degradação ambiental. Conhecer a variação espacial e temporal desses sedimentos é de suma importância em planos de manejo dos recursos hídricos e naturais. A precipitação influencia na variação temporal da erosão em curtos períodos, com considerável efeito nos processos hidrológicos e influenciam na capacidade de transporte de partículas do solo (MEDEIROS e ARAÚJO, 2013). A região semiárida brasileira é caracterizada, pela concentração de chuvas intensas e de curta duração e poucos meses de estação chuvosa (TORRICO, 1974). Afirmarções que sugerem que as variantes nas precipitações podem ter influência significativa sobre a variação no padrão granulométrico de sedimentos, visto a capacidade de transportar partículas.

#### ***6.3.4 Análise de Componentes Principais (PCA)***

Realizou-se o teste KMO (Kaiser–Meyer–Olkin test) para confirmar o grau de adequação dos dados para uma análise fatorial. Das dez variáveis influentes nos Componentes

Principais, foi corroborado que o índice de KMO sugere a proporção de variância dos itens que pode estar sendo explicada por uma variável latente. Este índice, também conhecido como índice de adequação da amostra, indica a quão adequada é a aplicação da Análise Fatorial Exploratória (AFE) para o conjunto de dados (Hair et al., 2009; Lorenzo-Seva, 2011).

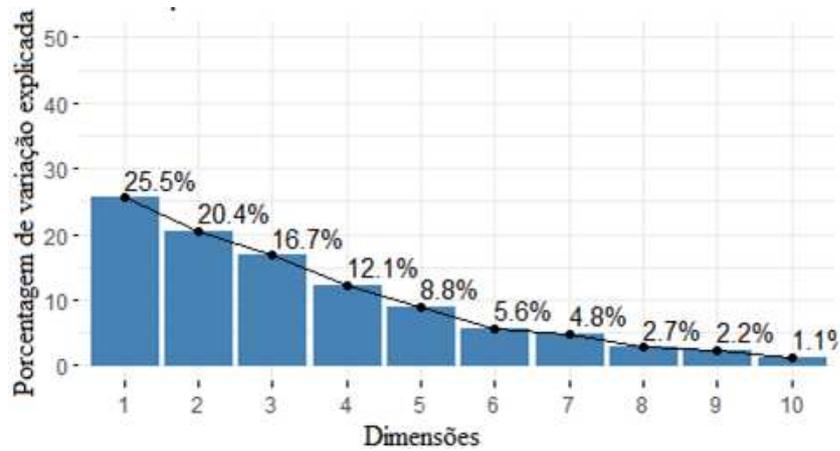
O KMO pode variar de zero a um, valores iguais ou próximos a zero indicam que a soma das correlações parciais dos itens avaliados é bastante alta em relação à soma das correlações totais. Nesses casos, possivelmente a análise fatorial será inapropriada (PASQUALI, 1999). Como regra para interpretação dos índices de KMO, valores menores que 0,5 são considerados inaceitáveis, valores entre 0,5 e 0,7 são considerados medíocres; valores entre 0,7 e 0,8 são considerados bons; valores maiores que 0,8 e 0,9 são considerados ótimos e excelentes, respectivamente (HUTCHESON, 1999) (PEREIRA, 1999). O valor do KMO, por meio da prova MSA foi de 0,77, justifica-se a realização do PCA. Assim a prova de especificidade de Barlett rejeitou a  $H_0$ , o que significa que existe correlação entre as variáveis. Uma vez feito isso, procedeu-se a aplicação da Análises de Componentes Principais (PCA).

#### *6.3.4.1 Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais (PCA)*

Uma vez realizado o procedimento que previa a adequação dos dados, desenvolveu-se a PCA no Rstudio. Obtendo assim uma matriz de correlação dos dados normalizados. Dada a relevância e significância observadas na maioria das correlações entre as propriedades do solo analisadas, torna-se apropriada e justificada a realização de uma análise conjunta das variáveis do estudo. A extensão dessa análise é crucial para explorar de maneira abrangente as inter-relações entre as diferentes propriedades do solo, identificando padrões e estruturas subjacentes que podem não ser prontamente perceptíveis ao avaliar cada variável individualmente. Ressalta-se que a significância dos coeficientes de correlação apresentados deve ser interpretada com cautela, pois as características avaliadas podem ser autocorrelacionadas espacialmente, mas, considerando os tratamentos relacionados ao grau de conservação da massa vegetal, é uma situação improvável.

Assim, os primeiros dados obtidos na PCA e a porcentagem de variação explicada por cada dimensão (FIGURA 18) e os autovalores do sistema (FIGURA 19), que apresentaram um total de 10 dimensões por conta da quantidade de variáveis utilizadas na análise. Desse total de dimensões foram utilizadas as primeiras quatro por já cumprir com os parâmetros básicos de explicabilidade das variações que acontecem no sistema.

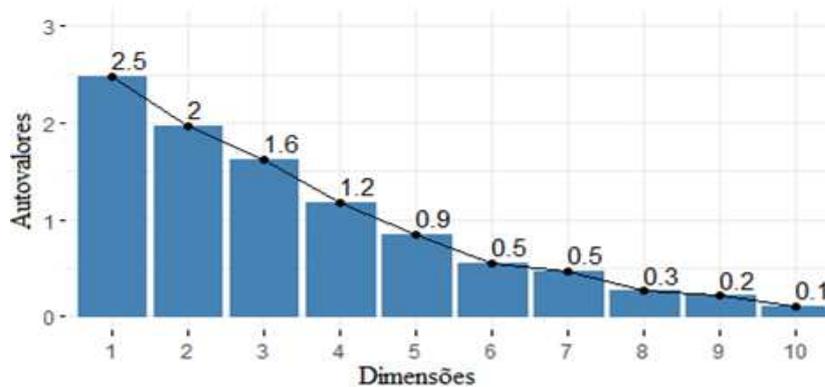
Figura 18 - Porcentagem de variação explicada para cada dimensão



Fonte: Dados da pesquisa

Desse modo, para reduzir a quantidade de dimensões a analisar, utilizou-se três regras: Scree test, a variação acumulada e a regra do Kaiser (LOLI; SOTO, 2010). Na variação acumulada observou-se primeiramente a variabilidade explicada (FIGURA 19) no mínimo em 70% pelas componentes principais. Sendo explicadas em 74,747% pelas primeiras quatro dimensões. Para ter maior certeza na escolha das dimensões procedeu-se a analisar a Figura 18, dos autovalores, na base da regra do Kaiser que afirma que devem ser utilizados apenas os componentes com autovalores acima de 1,0.

Figura 19 - Autovalores para cada dimensão

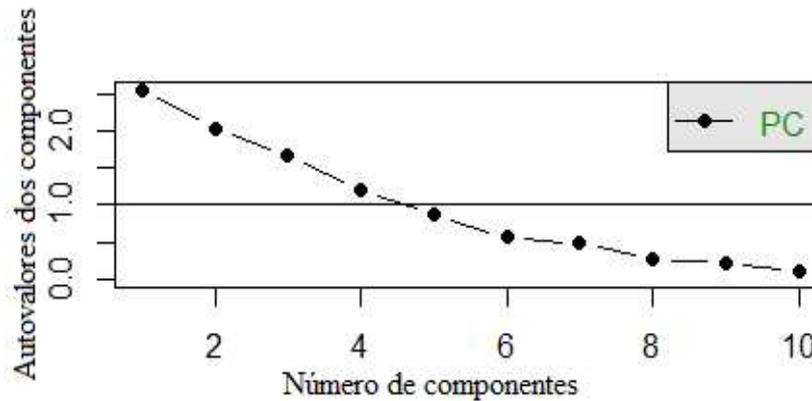


Fonte: Dados da pesquisa

Então em concordância com a porcentagem de variabilidade explicada e as PCs maiores a um, anteriormente foi confirmado de que as PC que melhor representam o sistema são a PC1, PC2, PC3 e PC4. E uma tripla corroboração com o gráfico de corte ou Scree Plot

(FIGURA 20), onde observa-se que os componentes que devem se analisar no desenvolvimento da PCA.

Figura 20 - Gráfico de corte dos componentes



Fonte: Dados da pesquisa

#### 6.3.4.2 Variáveis dominantes para cada PC

Na Tabela 17, apresentam-se todos os valores analisados, assim como as dimensões totais e as variáveis dominantes dentro de cada dimensão, ficando um total de 10 (dez) variáveis e 4 (quatro) PCs capazes de explicar o comportamento do sistema. Usando o critério de maior valor de correlação entre as variáveis, seja positiva (diretamente proporcional) ou negativa (inversamente proporcional) e não repetitividade nas outras dimensões. Ficando na PC1 duas variáveis, na PC2 três variáveis, na PC3 também três e na PC4 duas variáveis correlacionadas que possam explicar as dimensões

Tabela 17 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis transformadas das principais componentes selecionadas

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4
Precipitação	0,386	-0,114	<b><u>0,420</u></b>	-0,091
Escoamento	0,092	-0,283	<b><u>0,512</u></b>	-0,009
Umidade	0,327	<b><u>-0,456</u></b>	0,011	-0,173
Temperatura	<b><u>-0,498</u></b>	0,126	0,177	-0,009
Sólidos Totais	0,136	0,281	0,388	<b><u>-0,449</u></b>
Ca	0,157	<b><u>0,578</u></b>	0,117	-0,135
Mg	0,299	0,009	0,043	<b><u>0,731</u></b>
K	-0,025	<b><u>0,433</u></b>	0,380	0,350
P	0,370	0,246	-0,379	0,038
Na	<b><u>0,465</u></b>	0,150	-0,326	-0,254
Autovalor	<b>2,474</b>	<b>1,973</b>	<b>1,620</b>	<b>1,174</b>
Variação (%)	<b>25,540</b>	<b>20,370</b>	<b>16,718</b>	<b>12,119</b>
Acumulado (%)	<b>25,540</b>	<b>45,910</b>	<b>62,628</b>	<b>74,747</b>

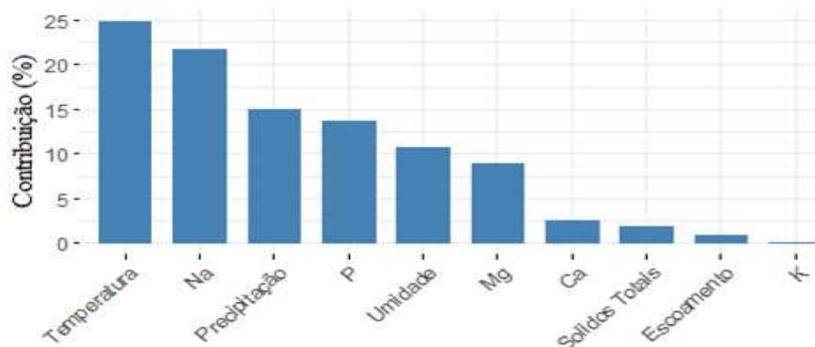
Fonte: Dados da pesquisa

#### 6.3.4.3 Variáveis que melhor explicam o PC1

As variáveis que explicam a PC1 são a Temperatura e o Sódio (FIGURA 21), que se encontram em uma relação inversamente proporcional, querendo dizer que quanto maior a Temperatura do solo menor vai ser a chance de ocorrer um evento de escoamento. Explica-se essa resposta no sistema na relação maior cobertura vegetal que gera menor temperatura no recurso solo, mesma relação que ajuda na disponibilidade de elementos lixiviáveis.

Assim, a presença de plantas fornece consequências no fluxo de sódio no solo, pelo estímulo à atividade biológica na zona radicular, que eleva a concentração de CO<sub>2</sub> e a taxa de dissolução de carbonatos a um nível suficiente para a remoção de parte do Na<sup>+</sup> trocável, deixando-o livre na solução para que seja lixiviado, corrigindo o solo (CARMONA *et al.*, 2010).

Figura 21 - Contribuição das variáveis na PC1



Fonte: Dados da pesquisa

Também somando a isso, existe uma relação proporcional, mas não direta demonstrada no primeiro capítulo entre a Precipitação e a Temperatura, gerando um efeito de disponibilidade do Sódio que facilita a lixiviação e arraste dos mesmos íons. Concordando com estudos desenvolvidos no Semiárido Brasileiro por Andrade *et al.* (2004), que observaram que durante a estação chuvosa o íon  $\text{Na}^+$  esteve presente em concentrações maiores na camada superficial dada à elevada solubilidade deste íon nas regiões semiáridas, com um consequente acúmulo de sais na superfície do solo.

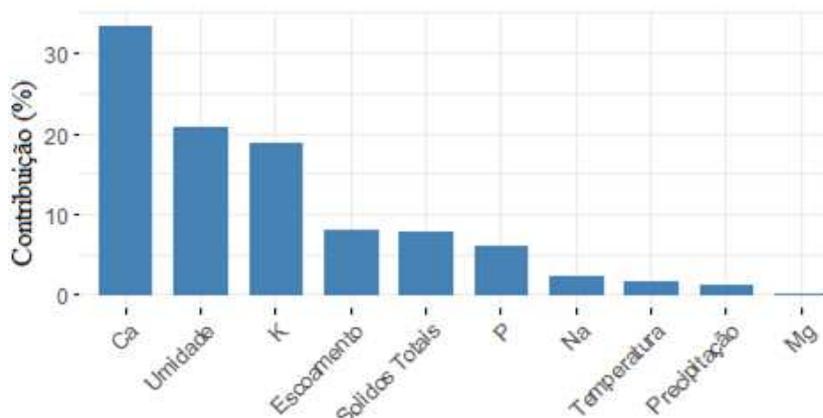
#### 6.3.4.4 Variáveis que melhor explicam o PC2

A relação entre a PC2 e o Complexo de Troca, em proporção inversa, sugere que a quantidade de Cálcio e Potássio especificamente na água de escoamento aumenta quando o teor de Umidade no solo diminui. Em outras palavras, quando há menor teor de Umidade no solo, ocorre uma maior presença de Cálcio e Potássio na água de escoamento, como ilustrado na Figura 22, a contribuição das variáveis na PC2 é examinada, destacando a importância dessas variáveis na análise..

É importante destacar que a Umidade é um fator principal na agregação do solo e na diminuição da perda de elementos e nutrientes que compõem o solo. Quando a Umidade é adequada, ela promove a formação de agregados no solo, o que reduz a erosão e a perda de nutrientes. No entanto, o excesso de água no solo pode levar à diminuição da infiltração e ao aumento do escoamento superficial, o que pode resultar em uma maior perda de nutrientes por arraste.

No contexto do estudo, foram analisados os teores de umidade resultantes das intensidades de chuva classificadas como P2, ou seja, aquelas que ficam na faixa de 15-29,9 mm. Essas análises permitem entender como as condições de umidade do solo afetam a perda de nutrientes e elementos durante eventos de chuva de intensidade moderada.

Figura 22 - Contribuição das variáveis na PC2



Fonte: Dados da pesquisa

A relação observada nos estudos desenvolvidos no Negev, Região Semiárida de Israel, e os resultados desta pesquisa sugerem que o Complexo de Troca, representado pelo Cálcio e Potássio perdidos nos solos, apresenta uma relação negativa com o teor de umidade do solo. Isso ocorre principalmente porque a umidade aumenta a retenção desses nutrientes no sistema solo, conforme indicado por Carmona et al. (2010).

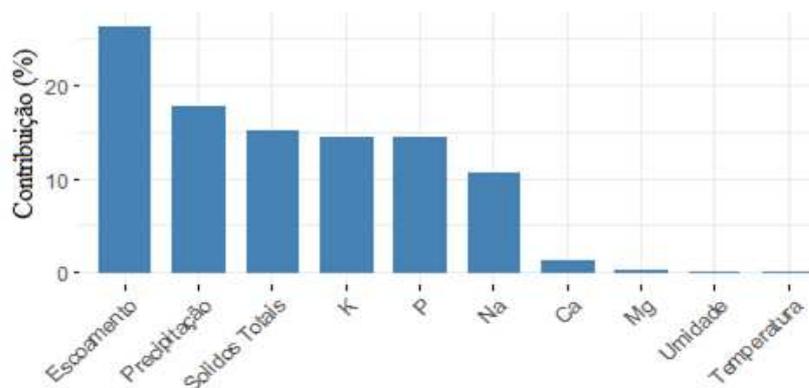
Para esclarecer a relação: quanto maior o teor de umidade do solo, menor tende a ser a disponibilidade desses nutrientes no complexo de troca do solo. Isso ocorre porque, com um solo mais úmido, os íons de cálcio e potássio tendem a ser retidos nas partículas do solo, em vez de estarem disponíveis para serem perdidos através do escoamento superficial. A umidade do solo pode agir como um agente de retenção, impedindo a lixiviação desses nutrientes e mantendo-os mais próximos das raízes das plantas, onde podem ser absorvidos.

#### 6.3.4.5 Variáveis que melhor explicam o PC3

A PC3 explica a relação do Escoamento, Precipitação e Sólidos Totais (FIGURA 23), de modo que o maior nível de Precipitação gera maior quantidade de Escoamento e, assim, aumenta o teor de perda de Sólidos Totais no solo. Sendo o fator principal da análise nesta

pesquisa, essa relação entre as chuvas e a quantidade de solo degradado ou perdido como resposta hidrossedimentológica.

Figura 23 - Contribuição das variáveis na PC3



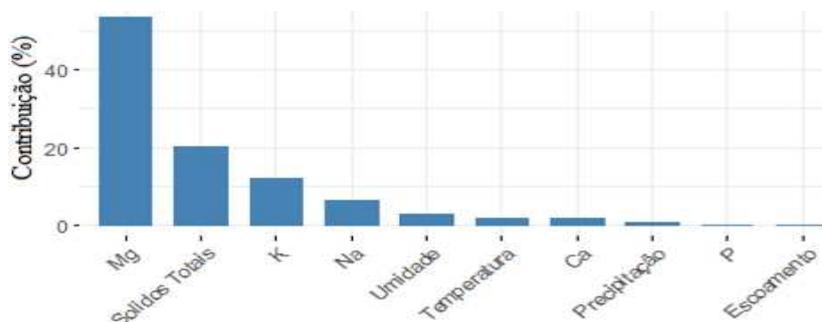
Fonte: Dados da pesquisa

Com relação aos Sólidos Totais perdidos no solo, observam-se diferenças entre os teores perdidos nas diferentes coberturas, mas em geral, todas apresentaram em algum evento de chuva resposta de perda individual semelhante. Isso pode ser explicado pelo limite do solo com relação à capacidade de infiltração de água, a partir do qual as taxas de infiltração e de enxurrada tendem a se tornar semelhantes, em diferentes momentos durante a chuva e em distintas coberturas superficiais, conforme constatado por Bagatini et al. (2011) e Mello et al. (2003).

#### 6.3.4.6 Variáveis que melhor explicam o PC4

A PC4 explica-se no isolamento da variável Magnésio (FIGURA 24), isso pode ser explicado por conta do tratamento que tinha uma das parcelas de erosão, aquela que atualmente utilizou-se como Sem Cobertura Vegetal, em pesquisas anteriores desenvolvidas no 2021, 2020 e 2019 representando um tratamento de cultura agrícola tradicional. Por conta deste uso supõe-se um aumento na quantidade de Mg dentro do sistema, por conta da cultura ou até dos manejos utilizados, assim durante a quadra chuvosa de 2022 foi se perdendo este nutriente.

Figura 24 - Contribuição das variáveis na PC4



Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) revelaram uma singularidade na variabilidade das propriedades do solo, onde apenas o Magnésio (Mg) emergiu como uma variável explicativa significativa. Esta observação indica que, entre as diversas propriedades avaliadas, o teor de Magnésio exerce uma influência mais pronunciada na estruturação das amostras do solo. A concentração de Mg pode estar fortemente correlacionada com a variabilidade global presente nos dados, indicando sua importância preponderante na caracterização das diferenças observadas.

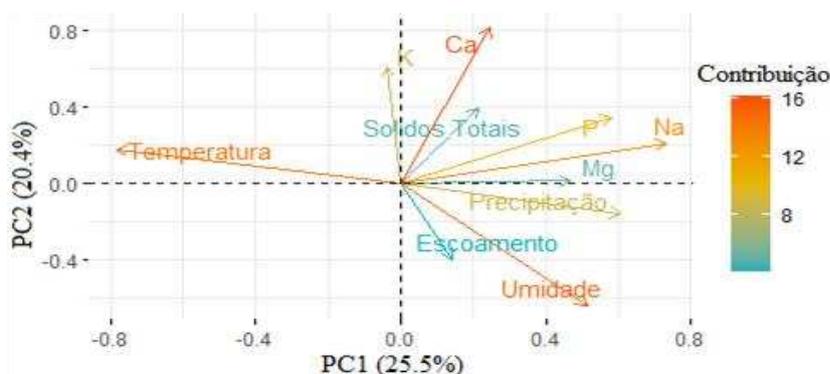
A simplificação do conjunto de dados para incluir apenas o Mg reflete a ênfase particular dessa variável na explicação da variação total. Tal achado, embora inesperado, proporciona uma visão focalizada e aprimorada sobre a relação específica entre o teor de Magnésio e a composição global do solo, o que pode ser de grande relevância para compreender os processos e dinâmicas que influenciam as propriedades do solo estudadas. Concordando com estudos desenvolvidos por Bertol et al. (2005) onde as perdas totais de magnésio nos sedimentos de escoamento superficial foram elevadas num preparo convencional com cultura, sendo 34 vezes maiores do que a média dos sistemas de preparo com solo nu.

#### 6.3.4.7 Análise das duas principais dimensões

Na geração dos gráficos finais de comparação entre a Dimensão 1 e 2, de contribuição de variáveis e eventos (FIGURA 25) usou-se a rotação Promax, oblíqua que permite que os fatores estejam correlacionados. E também se usou a Análise Canônica Discriminante, que mostra uma clara distinção no eixo X, de modo que os dados derivados dos grupos podem ser utilizados nas avaliações do comportamento das propriedades do solo frente às diferentes categorias de erosão.

Ao realizar a Análise de Componentes Principais (PCA), foi possível observar uma distribuição homogênea da maioria das variáveis no espaço bidimensional, situando-se predominantemente no lado positivo da abscissa, com exceção da Temperatura e do Potássio, que se posicionaram no lado negativo. Esta disposição sugere uma relação inversa entre essas variáveis e outros fenômenos hidrológicos, notadamente o Escoamento e a Umidade. A classificação das variáveis no lado positivo da abscissa resultou na formação de um quadrante onde se agrupam os nutrientes, enquanto outro quadrante se destaca pela concentração de respostas hidrológicas.

Figura 25 - Contribuição de elemento da PCA comparando as duas PCs principais



Fonte: Dados da pesquisa

Ao se aprofundar na análise, destaca-se que o aumento da temperatura apresenta um efeito oposto sobre o Escoamento, Precipitação e Umidade. Em outras palavras, o aumento da temperatura está associado à diminuição dessas variáveis hidrológicas. Além disso, foi observada uma influência significativa dessas variáveis hidrológicas sobre o teor de Potássio (K). Por outro lado, em relação às demais variáveis, é evidente a relação entre os Sólidos Totais e os demais nutrientes, indicando um fenômeno de adsorção dos nutrientes às partículas sólidas.

A interpretação dessas relações é fundamental para compreender as interações complexas entre as variáveis ambientais e os processos hidrológicos. A influência inversa da temperatura sobre as variáveis hidrológicas destaca-se como um aspecto relevante, indicando um potencial impacto climático sobre o balanço hídrico e a disponibilidade de nutrientes no solo. A correlação entre os Sólidos Totais e os nutrientes sugere processos de interação e transporte desses elementos na matriz do solo.

Em suma, a PCA proporcionou uma valiosa perspectiva integrada das variáveis estudadas, permitindo a identificação de padrões e relações complexas. Esses achados destacam a importância de considerar simultaneamente múltiplas variáveis na análise de sistemas ambientais, fornecendo insights significativos para a gestão sustentável de recursos hídricos e a compreensão das dinâmicas do solo em resposta a fatores climáticos.

## 6.4 Conclusões

As alturas pluviométricas mais elevadas estão diretamente associadas a volumes aumentados de escoamento e maior transporte de partículas do solo. Além disso, a análise do impacto das coberturas vegetais demonstrou que a Caatinga Rala é mais susceptível à produção de sedimentos, superando a Caatinga Densa e a Cobertura Herbácea. Isso ressalta a importância da combinação florestal-herbácea na proteção do solo.

A ausência de cobertura vegetal resulta em perda de solo em todas as classes de chuva, evidenciando o potencial erosivo da chuva na ausência de proteção vegetal. Por outro lado, as parcelas vegetadas apresentaram uma ordem crescente de perda de solo, com a CN46, caracterizada pela Caatinga Densa, apresentando a menor perda.

As menores perdas de nutrientes,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e P, foram na área de Caatinga Densa em comparação com a Caatinga Rala. Portanto, a cobertura vegetal desempenha um papel crucial na retenção de nutrientes, mesmo em níveis de conservação mais baixos.

A análise granulométrica revelou uma maior desintegração dos componentes do solo durante eventos de chuva, com uma tendência para partículas mais finas e maior presença de silte ao longo de eventos consecutivos de precipitação intensa.

As análises de correlação destacaram relações positivas entre a conservação da cobertura vegetal e diversas propriedades do solo, incluindo umidade e teor de nutrientes. A Análise de Componentes Principais identificou fatores significativos que influenciam o sistema, como a relação inversa entre temperatura e sódio, a relação entre o Complexo de Troca e a umidade, e a influência do escoamento, precipitação e sólidos totais.

A cobertura vegetal é fundamental para a mitigação processos de erosão do solo e perda de nutrientes. Os resultados obtidos confirmam as hipóteses iniciais e enfatizam a importância do grau de conservação da cobertura vegetal na influência do sistema como um todo. O estudo atingiu seus objetivos de análise e quantificação dos efeitos de diferentes fatores nos processos de escoamento, perda de solo e água, e perda de nutrientes solúveis devido à erosão.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Abel W.; LOMBARDI NETO, Francisco; SRINIVASAN, Vajapeyam S.; SANTOS, José R.. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 136-141, abr. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662002000100024>.
- ALBUQUERQUE, Abel W. de; M. FILHO, Gilson; SANTOS, José R.; COSTA, José P. V.; SOUZA, José L.. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 153-160, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662005000200001>.
- ANDRADE NETO, João Silva de; RIGON, Letícia Thiesen; TOLDO JUNIOR, Elírio Ernestino; SCHETTINI, Carlos A. F.. Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. **Pesquisas em Geociências**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 161, 31 ago. 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.35910>.
- ANDRADE, E.M.; DALMEIDA, D.M.B.A.; MIERELES, A.C.M.; LEMOS FILHO, L.C.A.; DE ARRUDA, F.E.R. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, n.1, p.9-16, jan./jun. 2004.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, Dc: Apha-Awwa-Wef, 2005. 541 p.
- BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLE, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. 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**, v. 35, n.3, p. 999-1011, 2011.
- BARTLEY, Rebecca; HAWDON, Aaron; POST, David A.; ROTH, Christian H.. A sediment budget for a grazed semi-arid catchment in the Burdekin basin, Australia. **Geomorphology**, [S.L.], v. 87, n. 4, p. 302-321, jul. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.001>.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 409-418, jul./set. 1997.
- BERTOL, Ildegardis; GUADAGNIN, Jean Cláudio; GONZÁLEZ, Antonio Paz; AMARAL, André Júlio do; BRIGNONI, Leonardo Felipe. Soil tillage, water erosion, and calcium, magnesium and organic carbon losses. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 62, n. 6, p. 578-584, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162005000600011>.
- CARMO, Davi Lopes do; SILVA, Carlos Alberto; LIMA, José Maria de; PINHEIRO, Gabriela Lúcia. Electrical Conductivity and Chemical Composition of Soil Solution: comparison of solution samplers in tropical soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 1-17, maio 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20140795>.

CARMONA, Felipe de Campos; ANGHINONI, Ibanor; HOLZSCHUH, Marquel Jonas; ANDRIGHETTI, Marcelo Hoerbe. Cation dynamics in soils with different salinity levels growing irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1851-1863, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000600009>.

CATEN, Alexandre Ten; MINELLA, Jean P. G.; MADRUG, Pedro R. de A.. Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb, v. 16, n. 9, p. 1006-1014, dez. 2012.

CEARA. Governo do Estado do Ceara. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestao dos **Recursos Hidricos. Caracterizacao Hidrografica do Curu**. 2018. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-Bacia-Hidrogr%C3%A1fica-Curu.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

COSTA, Cristiane F. G. da; FIGUEIREDO, Ricardo de O.; OLIVEIRA, Francisco de A.; SANTOS, Izabela P. de O.. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 162-169, fev. 2013.

CUNHA, Ana Paula Martins do Amaral; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 139-152, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862013000200003>.

CUNHA, Mônica Pringsheim; CRUZ, Manoel Jerônimo Moreira; SANTOS, Rodrigo Alves; RAMOS JUNIOR, Antonio Bomfim da Silva; GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal. Modelamento Experimental da Interação Água-Rocha Mineralizada (Fe, Pb, Zn, F, Ba) e Hidrogeoquímica do Aquífero Salitre, Bahia (BR). **Concilium**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 786-810, 2 nov. 2022. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/clm-560-642>.

EDUARDO, Eliete Nazaré; CARVALHO, Daniel Fonseca de; MACHADO, Roriz Luciano; SOARES, Paula Fernanda Chaves; ALMEIDA, Wilk Sampaio de. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 796-803, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000300026>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solo**. Brasília, DF, 2018. 412 p.

FARMER, Eugene E.. Relative Detachability of Soil Particles by Simulated Rainfall. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 629-633, jul. 1973. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700040042x>.

FEITOSA, Leonardo Schramm; ARAUJO, José Carlos de. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁGUA E SEDIMENTO NA CAATINGA DEGRADADA. **Rede – Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v. 10, n. 1, p. 85-95, jun. 2016.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

GAO, Chao; ZHANG, Taolin. Eutrophication in a Chinese Context: understanding various physical and socio-economic aspects. **Ambio**, [S.L.], v. 39, n. 5-6, p. 385-393, 3 jun. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-010-0040-5>.

GILLES, Luciléia; COGO, Neroli Pedro; BISSANI, Carlos Alberto; BAGATINI, Tatiane; PORTELA, Jeane Cruz. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1427-1440, out. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000500033>.

HAIR JR., J. F.; WILLIAM, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R. E. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HUDSON, N, 1971. **Soil Conservation**. Cornell University Press, Ithaca, New York.

HUTCHESON, G. D.; SOFRONIOU, N. The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalized linear models. **London: Sage Publications**. 1999.

ISSA, O. Malam; BISSONNAIS, Y. Le; PLANCHON, O.; FAVIS-MORTLOCK, David; SILVERA, Norbert; WAINWRIGHT, John. Soil detachment and transport on field- and laboratory-scale interrill areas: erosion processes and the size-selectivity of eroded sediment. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 31, n. 8, p. 929-939, 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1303>.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes**. A new perspective. London: Arnold.1998.  
LIMA, Cleene Agostinho de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; LIMA, João L. M. P. de; ALMEIDA, Thayná Alice Brito; SANTOS, Júlio Cesar Neves dos. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 531-542, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>.

LOBATO, Francisco Antonio de Oliveira; ANDRADE, Eunice Maia de; MEIRELES, Ana Célia Maia; SANTOS, Julio Cesar Neves dos; LOPES, José Frédson Bezerra. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 65, 19 jul. 2010. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v3i2.247>.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SANTOS, J. C. N.; LOPES, J. F. B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas

pluviométricas. **Revista Agro@ambiente Online**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul./dez. 2009.

LOLI, Jhonatan S. Navarro; SOTO, Cesar A. Merino. Un réquiem para la regla de Kaiser ( $\lambda > 1$ ) en la retención del número de factores. **Fractal: Revista de Psicología**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 640-640, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1984-02922010000900014>.

LORENZO-SEVA, U.; TIMMERMAN, M. E.; KIERS, H.A. The hull method for selecting the number of common factors. **Multivariate Behavioral Research**, v.46, n.2, p.340-364, 2011.

LUCAS-BORJA, M.e.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; GONZALEZ-ROMERO, J.; SAGRA, J.; ALFARO-SÁNCHEZ, R.; ZEMA, D.A.; MOYA, D.; HERAS, J. de Las. Short-term effects of prescribed burning in Mediterranean pine plantations on surface runoff, soil erosion and water quality of runoff. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 674, p. 615-622, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.114>.

MARTINS, Cleysla de Oliveira; GONÇALVES, Mário Jorge de Souza; TORRES, Antônio Puentes. ANÁLISE DA DINÂMICA DE ESTABILIDADE E VAZÕES MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE-BA. **Cadernos de Geociências**, Bahia, v. 18, n. 1, p. 1-12, set. 2023.

MARTINEZ-MENA, M; CASTILLO, V; ALBALADEJO, J. Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. **Geomorphology**, [S.L.], v. 45, n. 3-4, p. 261-275, jun. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x\(01\)00158-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x(01)00158-1).

MASSA – GRUPO DE PESQUISA E EXTENSAO MANEJO DE AGUA E SOLO NO SEMIARIDO (Ceara). **Localização de nossos sítios**. sd. Disponível em: <http://www.massa.ufc.br/localizacao-sitios/>. Acesso em: 29 set. 2021.

MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto; ARAUJO, José Carlos de. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal Of Soils And Sediments**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 1216-1223, 26 nov. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-013-0809-9>.

MEGNOUNIF, A.; TERFOUS, A.; BOUANANI, A.. Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien). **Revue Des Sciences de L'Eau**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 369-380, 12 abr. 2005. Consortium Erudit. <http://dx.doi.org/10.7202/705513ar>.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 901-909, 2003.

MILLER, W. P.; BAHARUDDIN, M. K.. Particle Size of Interrill-eroded Sediments from Highly Weathered Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 51, n. 6, p. 1610-1615, nov. 1987. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100060037x>.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P. de; SINGH, V.P.; SANTOS, T.e.M.. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, [S.L.], v. 109, p. 139-149, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018>.

MONTENEGRO, Abelardo A. A.; LOPES, Iug; CARVALHO, Ailton A. de; LIMA, João L. M. P. de; SOUZA, Thais E. M. S. de; ARAUJO, Helio L.; LINS, Frederico A. C.; ALMEIDA, Thayná A. B.; MONTENEGRO, Hugo G. L. A.. Spatio Temporal Soil Moisture Dynamics and Runoff under Different Soil Cover Conditions in a Semiarid Representative Basin in Brazil. **Advances In Geosciences**, [S.L.], v. 48, p. 19-30, 5 jun. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-48-19-2019>.

MUÑOZ-ROBLES, Carlos; REID, Nick; TIGHE, Matthew; BRIGGS, Sue V.; WILSON, Brian. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semi-arid Australia. **Geoderma**, [S.L.], v. 160, n. 3-4, p. 524-534, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.024>.

NEARING, M. A.; FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; FINKNER, S. C.. A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 32, n. 5, p. 1587-1593, 1989. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.31195>.

PASQUALI, L. **Análise fatorial: um manual teórico-prático**. Brasília: EditoraUnB, 1999. PAZ, Otacílio Lopes de Souza da; SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. Análise estatística dos parâmetros geomorfométricos do relevo em bacias hidrográficas de primeira ordem perenes e intermitentes no oeste paranaense. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 41, p. 1-13, 28 abr. 2021

PEREIRA, J, C, R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. São Paulo: EDUSP. 1999.

PÉREZ, Humberto Ávila; IBAÑEZ, Sergio García; ROSAS-ACEVEDO, José Luis. Análisis de Componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas en un ecosistema léntico de Guerrero, México. **Revista Iberoamericana de Ciencias**, Acapulco, v. 2, n. 3, p. 43-53, maio 2015.

PODWOJEWSKI, Pascal; JANEAU, Jean Louis; GRELLIER, Séraphine; VALENTIN, Christian; LORENTZ, Simon; CHAPLOT, Vincent. Influence of grass soil cover on water runoff and soil detachment under rainfall simulation in a sub-humid South African degraded rangeland. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 36, n. 7, p. 911-922, 11 jan. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.2121>.

POESEN, J., SAVAT, J., 1980. **Particle-size separation during erosion by splash and runoff**. In: M. De Boodt and D. Gabriels (Editors), *Assessment of Erosion*. Wiley, New York. pp. 427-439.

RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; SANTOS, Júlio César Neves dos; BRASIL, José Bandeira. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of brazil. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 468-478, June. 2017.

RIENZI, E.A.; FOX, J.F.; GROVE, J.H.; MATOCHA, C.J.. Interrill erosion in soils with different land uses: the kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. **Catena**, [S.L.], v. 107, p. 130-138, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.02.007>.

RODRIGUES, Joseilson O.; ANDRADE, Eunice M. de; MENDONÇA, Luiz A. R.; ARAËJO, José C. de; PALÁCIO, Helba A. de Q.; ARAËJO, Efraim M.. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 312-318, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013000300010>.

SANTOS, Bruna Palmeira; TORRES, Antonio Puentes; GONÇALVES, Mário Jorge de Souza. ANÁLISE DAS CHEIAS E SECAS ANUAIS, NO RIO GONGOGI, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DE CONTAS-BAHIA. **Cadernos de Geociências**, Bahia, v. 18, n. 1, p. 1-12, ago. 2023.

SANTOS, J. C. N dos. Mensuração da erosão do solo no semiárido em diferentes usos de terras e escalas espaciais. 100p. **Dissertação Mestrado**. Fortaleza: UFC, 2012.

SANTOS, Julio Cesar Neves dos; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; MEIRELES, Ana Célia Maia; ARAËJO NETO, José Ribeiro de. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 813-820, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902011000300030>.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BATISTELA, O.. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: ii. perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 437-447, jun. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832000000200020>.

SILVA, Antonio Sousa; SILVA, Ivandro de França da; BANDEIRA, Lucas Borchardt; DIAS, Bruno de Oliveira; SILVA NETO, Luís de França da. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 44, n. 10, p. 1783-1789, out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130789>.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográfica**. 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 158p. 2007.

SILVA, Jadielle Lidiane Clemente; VIDAL, Carlos Alberto Soares; BARROS, Luiz Marivando; FREITA, Francisco Ronaldo Vieira. ASPECTOS DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 180, 27 abr. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>.

SOUSA, Marcos Makeison Moreira de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; MOURA, Matheus Magalhães Silva. DETERMINANT PLUVIOMETRIC CHARACTERISTICS OF SEDIMENT TRANSPORT IN A CATCHMENT WITH THINNED VEGETATION IN THE TROPICAL SEMIARID.

**Revista Caatinga**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 785-793, set. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n322rc>.

STAVI, Ilan; UNGAR, Eugene David; LAVEE, Hanoach; SARAH, Pariente. Grazing-induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland. **Catena**, [S.L.], v. 75, n. 3, p. 288-296, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.007>.

TORRICO, J. J. T. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119p.  
ÚBEDA, Xavier; FARGUELL, Joaquim; FRANCOS, Marcos; OUTEIRO, Luís; PACHECO, Edinson. Runoff and erosion generation by simulated rainfall in a Mediterranean forest with forest management. **Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 37-51, 17 dez. 2019. Universidad Autonoma Chapingo. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.007>.

VELÁSQUEZ, Guillermo Vásquez; ORTEGA, Nataly Foronda. Resposta hidrológica em bacias de cabeceira com uso da terra em florestas plantadas nos Andes intertropicais da Colômbia. **Série Técnica Ipef**, [S.L.], v. 26, n. 48, p. 47-53, 2023. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/sertec.v26n48.009>.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 743-755, ago. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000400001>.

WANG, L.; SHI, Z.H.; WANG, J.; FANG, N.F.; WU, G.L.; ZHANG, H.y.. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: a case study of clay loam soil from the loess plateau, china. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 512, p. 168-176, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.066>.

WARRINGTON, D. N.; MAMEDOV, A. I.; BHARDWAJ, A., K, LEVY, G. J. Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal development. *European Journal of Soil Science*, n. 60, p. 84–93, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2008.01090.x

YOUNG, R. A.; WIERSMA, J. L.. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 1629-1636, dez. 1973. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/wr009i006p01629>.

YUILL, Brendan T.; NICHOLS, Mary H.. Patterns of grain-size dependent sediment transport in low-ordered, ephemeral channels. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 334-346, 21 fev. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.2041>.

ZHOU, Ji; FU, Bojie; GAO, Guangyao; LÜ, Yihe; LIU, Yu; LÜ, Nan; WANG, Shuai. Effects of precipitation and restoration vegetation on soil erosion in a semi-arid environment in the Loess Plateau, China. **Catena**, [S.L.], v. 137, p. 1-11, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.015>.

## **8. CAPÍTULO IV - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo reúne as principais conclusões e reflexões derivadas dos resultados obtidos durante a pesquisa, delineando recomendações significativas para a gestão e conservação efetiva dos ecossistemas semiáridos estudados. As considerações finais proporcionam uma síntese das descobertas e destacam a relevância prática e teórica dos resultados alcançados.

### **8.1. Impacto Positivo das Práticas de Conservação**

A evidência robusta coletada ao longo deste estudo sustenta a conclusão de que práticas de conservação desempenham um papel fundamental na redução da perda de solo, água e nutrientes. A estabilização resultante das condições de temperatura e umidade destaca não apenas os benefícios ambientais imediatos, mas também implicações positivas para a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas.

### **8.2. Potencial Excepcional da Caatinga Densa e Rala**

Os resultados indicam que a Caatinga Densa apresenta um notável índice de respostas hidrossedimentológicas e num segundo lugar a Rala. Sua composição estrutural distinta, aliada à presença variada e estratificação, destaca essa formação vegetal como uma peça-chave na conservação. Recomenda-se, portanto, promover estratégias específicas que valorizem e preservem a Caatinga Densa e Rala em programas de manejo sustentável.

### **8.3. Abordagem Integrada: Da Parcela à Microbacia**

A necessidade de uma abordagem integrada desde o nível de parcelas de erosão até o de Microbacias é enfatizada, já que a compreensão simultânea dessas escalas é crucial para decifrar a complexidade dos processos. Recomenda-se que futuras iniciativas de conservação considerem essa abordagem integrada, garantindo uma compreensão holística e eficaz das dinâmicas ambientais.

### **8.4. O Papel Essencial da Análise de Componentes Principais (PCA)**

A aplicação sistemática da Análise de Componentes Principais (PCA) é destacada como indispensável para uma compreensão abrangente do comportamento hidrossedimentológico em bacias e Microbacias. A PCA revela as interações complexas entre os fatores, fornecendo insights cruciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo.

Recomenda-se a incorporação contínua da PCA em estudos futuros para uma avaliação aprofundada.

Essas considerações finais não apenas consolidam os resultados obtidos, mas também oferecem orientações claras para ações futuras. Ao implementar práticas de conservação, valorizar a Caatinga Rala, adotar abordagens integradas e empregar ferramentas como a PCA, podemos avançar na proteção sustentável desses ecossistemas semiáridos, contribuindo para a preservação de sua biodiversidade única e vitalidade ambiental.

## **9. CAPÍTULO V - RECOMENDAÇÕES**

Este capítulo apresenta recomendações essenciais para direcionar pesquisas futuras e práticas de manejo, baseadas nas conclusões deste estudo abrangente sobre os processos hidrossedimentológicos na região semiárida do Nordeste brasileiro.

### **9.1. Investigação Detalhada das Características Microbiológicas**

Como recomendação primordial, sugere-se uma investigação minuciosa das características microbiológicas nos solos de cada parcela de erosão. Dada a significativa influência desses microrganismos nos processos de perda de solo, uma análise abrangente permitirá integrar esses dados na Análise de Componentes Principais (PCA), enriquecendo a compreensão global das interações no sistema solo-água.

### **9.2. Continuidade dos Estudos sobre Granulometria no Sedimento de Escoamento**

Recomenda-se a continuidade dos estudos sobre a granulometria no sedimento de escoamento, estendendo-os para outras bacias experimentais no semiárido brasileiro. Essa abordagem oferece insights valiosos para compreender e, potencialmente, prever o comportamento da perda de elementos constituintes do solo, contribuindo para estratégias mais eficazes de conservação.

### **9.3. Combinação da Análise PCA com a Metodologia USLE**

Sugere-se a continuação da análise PCA em conjunto com a metodologia Universal Soil Loss Equation (USLE) para identificar valores representativos específicos da região semiárida do Nordeste brasileiro. Além disso, recomenda-se estender esses estudos a outras bacias na região semiárida, considerando diferentes características morfométricas, tipos de solo e cobertura vegetal para uma compreensão mais abrangente dos processos hidrossedimentológicos.

### **9.4. Revitalização e Expansão da Rede de Monitoramento**

Por fim, é crucial a revitalização e expansão da rede de monitoramento em bacias experimentais e representativas no Nordeste brasileiro. Dada a escassez de informações sobre processos hidrológicos, sedimentológicos e vegetação no Bioma Caatinga, investir nessa

infraestrutura de monitoramento proporcionará dados valiosos para futuras pesquisas e iniciativas de manejo.

Estas recomendações não apenas complementam os achados deste estudo, mas também visam preencher lacunas de conhecimento, promovendo a sustentabilidade e a conservação eficaz dos ecossistemas semiáridos. Ao adotar essas diretrizes, espera-se contribuir significativamente para o entendimento e preservação desse ecossistema único no contexto brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Abel W. de; M. FILHO, Gilson; SANTOS, José R.; COSTA, José P. V.; SOUZA, José L.. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 153-160, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662005000200001>.
- ALBUQUERQUE, Abel W.; LOMBARDI NETO, Francisco; SRINIVASAN, Vajapeyam S.; SANTOS, José R.. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 136-141, abr. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662002000100024>.
- ALMEIDA, Ana Maria. **As Florestas Esquecidas**. 2016. Disponível em: <https://darwinianas.com/2016/10/11/as-florestas-esquecidas/>. Acesso em: 29 set. 2021.
- ALMEIDA, Cicero Lima de; OLIVEIRA, Jose Gerardo Beserra de; ARAUJO, Jose Carlos de. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. **Water Resources And Irrigation Management**, Salvador Bahia, v. 1, n. 1, p. 39-50, dez. 2012.
- ALVES, Jose Jakson Amancio; ARAUJO, Maria Aparecida de; NASCIMENTO, Sebastiana Santos do. DEGRADAÇÃO DA CAATINGA: UMA INVESTIGAÇÃO ECOGEOGRÁFICA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, set. 2009
- ANDRADE NETO, João Silva de; RIGON, Letícia Thiesen; TOLDO JUNIOR, Elírio Ernestino; SCHETTINI, Carlos A. F.. Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. **Pesquisas em Geociências**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 161, 31 ago. 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.35910>.
- ANDRADE, Alberício Pereira de; COSTA, Roberto Germano da; SANTOS, Edson Mauro; SILVA, Divan Soares da. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, João Pessoa, v. 4, n. 4, p. 1-14, dez. 2010.
- ANDRADE, E.M.; DALMEIDA, D.M.B.A.; MIERELES, A.C.M.; LEMOS FILHO, L.C.A.; DE ARRUDA, F.E.R. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, n.1, p.9-16, jan./jun. 2004.
- ANDRADE, Eunice Maia de. A floresta tropical seca, caatinga: as certezas e incertezas das águas. Trim: Tordesillas, **Revista de Investigación Multidisciplinar**, Ceará, n. 12, p. 11-20, 2017.
- ANDRADE, Eunice Maia de; RODRIGUES, Rafael do Nascimento; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; BRASIL, José Bandeira; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho. HYDROLOGICAL RESPONSES OF A WATERSHED TO VEGETATION CHANGES IN A TROPICAL SEMIARID REGION. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 161-170, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n119rc>.

ANDRADE, Eunice Maia de; SENA, Maria Gina Torres; SILVA, Antonio Givanilson Rodrigues da; PEREIRA, Francisco Jairo Soares; LOPES, Fernando Bezerra. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the state of Ceará. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 88, 19 jul. 2016. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3500>.

ANDREOLI, Rita Valéria; KAYANO, Mary Toshie; GUEDES, Roberto Lage; OYAMA, Marcos Daisuke; ALVES, Maria Aparecida Senaubar. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos pacífico e atlântico na variabilidade de precipitação em fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 337-344, out. 2004.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, Dc: Apha-Awwa-Wef, 2005. 541 p.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro de; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; SANTOS, Júlio César Neves dos; LOBATO, Francisco Antônio de Oliveira. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources And Irrigation Management**, Salvador Bahia, v. 2, n. 3, p. 111-120, dez. 2013.

BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLE, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. 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**, v. 35, n.3, p. 999-1011, 2011.

BARTLEY, Rebecca; HAWDON, Aaron; POST, David A.; ROTH, Christian H.. A sediment budget for a grazed semi-arid catchment in the Burdekin basin, Australia. **Geomorphology**, [S.L.], v. 87, n. 4, p. 302-321, jul. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.001>.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 409-418, jul./set. 1997.

BERTOL, Ildgardis; GUADAGNIN, Jean Cláudio; GONZÁLEZ, Antonio Paz; AMARAL, André Júlio do; BRIGNONI, Leonardo Felipe. Soil tillage, water erosion, and calcium, magnesium and organic carbon losses. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 62, n. 6, p. 578-584, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162005000600011>.

BEZERRA, Joel M.; MOURA, Geber B. de A.; SILVA, Bernardo B. da; LOPES, Pabrcio M. O.; SILVA, Ênio F. de F. e. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 73-84, jan. 2014.

CARMO, Davi Lopes do; SILVA, Carlos Alberto; LIMA, José Maria de; PINHEIRO, Gabriela Lúcia. Electrical Conductivity and Chemical Composition of Soil Solution: comparison of solution samplers in tropical soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 1-17, maio 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20140795>.

CARMONA, Felipe de Campos; ANGHINONI, Ibanor; HOLZSCHUH, Marquel Jonas; ANDRIGHETTI, Marcelo Hoerbe. Cation dynamics in soils with different salinity levels growing irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1851-1863, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000600009>.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. 326p.

CASTRO, Francelita Coelho; SANTOS, Antonio Marcos dos. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. **Mercator**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 1-13, 15 Jan. 2020.  
CATEN, Alexandre Ten; MINELLA, Jean P. G.; MADRUG, Pedro R. de A..  
Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira Deengenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb, v. 16, n. 9, p. 1006-1014, dez. 2012.

CAVALCANTE, Raí Rebouças. **Acurácia de modelos digitais de elevação e processos hidrossedimentológicos em microbacia hidrográfica no semiárido**. 2020. 120 f.  
Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CEARA. Governo do Estado do Ceara. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestao dos **Recursos Hídricos. Caracterizacao Hidrografica do Curu**. 2018. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-Bacia-Hidrogr%C3%A1fica-Curu.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

CEARA. Ministerio De Desenvolvimento Regional. **Semiárido brasileiro**. 2019. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/irrigacao/semiario-brasileiro>. Acesso em: 29 set. 2021.

CHAGAS, Aline Maria Soares; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; LINS, Frederico Abraão Costa; FARIAS, Carolyne Wanessa Lins de Andrade. Análise da umidade do solo em bacia experimental no semiárido pernambucano utilizando o modelo SWAT. **Agrometeoros**, [S.L.], v. 30, p. 173-182, 8 ago. 2022. AGROMETEOROS. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v30.e026993>.

COSTA, Carlos Alexandre Gomes; ARAÏJO, José Carlos de; LOPES, José Wellington Batista; PINHEIRO, Everton Alves Rodrigues. PERMANENCE OF WATER EFFECTIVENESS IN THE ROOT ZONE OF THE CAATINGA BIOME. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 692-699, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n320rc>.

COSTA, Cristiane F. G. da; FIGUEIREDO, Ricardo de O.; OLIVEIRA, Francisco de A.; SANTOS, Izabela P. de O.. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 162-169, fev. 2013.

CUNHA, Ana Paula Martins do Amaral; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 139-

152, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862013000200003>.

CUNHA, Mônica Pringsheim; CRUZ, Manoel Jerônimo Moreira; SANTOS, Rodrigo Alves; RAMOS JUNIOR, Antonio Bomfim da Silva; GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal. Modelamento Experimental da Interação Água-Rocha Mineralizada (Fe, Pb, Zn, F, Ba) e Hidrogeoquímica do Aquífero Salitre, Bahia (BR). **Concilium**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 786-810, 2 nov. 2022. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/clm-560-642>.

DAI, Cuiting; LIU, Yaojun; WANG, Tianwei; LI, Zhaoxia; ZHOU, Yiwen. Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in southern China. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 210, p. 41-48, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.032>.

EDUARDO, Eliete Nazaré; CARVALHO, Daniel Fonseca de; MACHADO, Roriz Luciano; SOARES, Paula Fernanda Chaves; ALMEIDA, Wilk Sampaio de. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 796-803, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000300026>.

EMBRAPA (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. SPI, EMBRAPA, 412p.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro. 3ed., 2017, 95 p. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solo**. Brasília, DF, 2018. 412 p.

FARMER, Eugene E.. Relative Detachability of Soil Particles by Simulated Rainfall. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 629-633, jul. 1973. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700040042x>.

FEITOSA, Leonardo Schramm; ARAUJO, José Carlos de. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁGUA E SEDIMENTO NA CAATINGA DEGRADADA. **Rede – Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v. 10, n. 1, p. 85-95, jun. 2016.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FELIX, Vagner de Souza; PAZ, Adriano Rolim da. Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída. **Rbrh**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 556-569, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616009>.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e cultura**. São Paulo. v. 70, n. 4., p. 51-56, 2018.

FLEGEL, Sven K.; BENNETT, James C.. State Uncertainty Normality Detection. **The Journal Of The Astronautical Sciences**, [S.L.], v. 67, n. 3, p. 1044-1062, 6 dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40295-019-00201-3>.

FUNDACAO JOAQUIM NABUCO (Recife). **Características da Caatinga**. 2019. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/conselho-nacional-da-reserva-da-biosfera-da-caatinga/9193-saiba-quais-sao-as-caracteristicas-da-caatinga>. Acesso em: 29 set. 2021.

GAO, Chao; ZHANG, Taolin. Eutrophication in a Chinese Context: understanding various physical and socio-economic aspects. **Ambio**, [S.L.], v. 39, n. 5-6, p. 385-393, 3 jun. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-010-0040-5>.

GILLES, Luciléia; COGO, Neroli Pedro; BISSANI, Carlos Alberto; BAGATINI, Tatiane; PORTELA, Jeane Cruz. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1427-1440, out. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000500033>.

GLOBE (Argentina). **Protocolo de Temperatura del Suelo**. Buenos Aires: Globe, 2005. 17 p.

GONÇALO FILHO, Francisco; FERREIRA NETO, Miguel; FERNANDES, Cleyton dos Santos; DIAS, Nildo da Silva; CUNHA, Rutilene Rodrigues da; MESQUITA, Francisco de Oliveira. Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 1-5, 29 dez. 2018. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801581>.

GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal; CUNHA, Mônica Pringsheim; CRUZ, Manoel Jerônimo Moreira; FREITAS, Luis Alexandre Dias. Modelamento Hidrogeoquímica da Interação Água/Rocha Carbonática do Sistema Aquífero Salitre, Bacia Sedimentar de Irecê, Bahia, Brasil. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 1-14, 12 nov. 2022. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v36i2.30184>.

HAIR JR., J. F.; WILLIAM, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R. E. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HANUSZ, Zofia; ENOMOTO, Rie; SEO, Takashi; KOIZUMI, Kazuyuki. A Monte Carlo comparison of Jarque–Bera type tests and Henze–Zirkler test of multivariate normality. *Communications In Statistics - Simulation And Computation*, [S.L.], v. 47, n. 5, p. 1439-1452, 28 jun. 2017. **Informa UK Limited**. <http://dx.doi.org/10.1080/03610918.2017.1315771>.

HUDSON, N, 1971. **Soil Conservation**. Cornell University Press, Ithaca, New York.  
HUTCHESON, G. D.; SOFRONIOU, N. The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalized linear models. **London: Sage Publications**. 1999.

ISSA, O. Malam; BISSONNAIS, Y. Le; PLANCHON, O.; FAVIS-MORTLOCK, David; SILVERA, Norbert; WAINWRIGHT, John. Soil detachment and transport on field- and

laboratory-scale interrill areas: erosion processes and the size-selectivity of eroded sediment. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 31, n. 8, p. 929-939, 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1303>.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes**. A new perspective. London: Arnold.1998.  
LIMA, C.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, T.E.M.; ANDRADE, E.M.; MONTEIRO, A.L.N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.4, p.697-706, 2015

LIMA, Cleene Agostinho de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; LIMA, João L. M. P. de; ALMEIDA, Thayná Alice Brito; SANTOS, Júlio Cesar Neves dos. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 531-542, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>.

LIMA, Kleber Carvalho; LUPINACCI, Cenira Maria; GOMES, Daniel Dantas Moreira; SOUZA, Sirius Oliveira; ALEXANDRE, Fernando da Silva. Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no Semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 1-14, 1 jun. 2023. Revista Brasileira de Geomorfologia. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2319>.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SANTOS, J. C. N.; LOPES, J. F. B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@mbiente Online**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul./dez. 2009.

LOBATO, Francisco Antonio de Oliveira; ANDRADE, Eunice Maia de; MEIRELES, Ana Célia Maia; SANTOS, Julio Cesar Neves dos; LOPES, José Frédson Bezerra. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 65, 19 jul. 2010. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v3i2.247>.

LOLI, Jhonatan S. Navarro; SOTO, Cesar A. Merino. Un réquiem para la regla de Kaiser (eigen > 1) en la retención del número de factores. **Fractal: Revista de Psicología**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 640-640, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1984-02922010000900014>.

LORENZO-SEVA, U.; TIMMERMAN, M. E.; KIERS, H.A. The hull method for selecting the number of common factors. **Multivariate Behavioral Research**, v.46, n.2, p.340-364, 2011.

LUCAS-BORJA, M.e.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; GONZALEZ-ROMERO, J.; SAGRA, J.; ALFARO-SÁNCHEZ, R.; ZEMA, D.A.; MOYA, D.; HERAS, J. de Las. Short-term effects of prescribed burning in Mediterranean pine plantations on surface runoff, soil erosion and water quality of runoff. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 674, p. 615-622, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.114>.

MAGALHÃES, Adriana Guedes; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins de; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; FONTES JÚNIOR, Robertson Valério de Paiva. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 1, 31 out. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2204>.

MARIOTI, Juliana; BERTOL, Ildegardis; RAMOS, Júlio César; WERNER, Romeu de Souza; PADILHA, Juscelia; BANDEIRA, Douglas Henrique. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 1361-1371, out. 2013.

MARTINEZ-MENA, M; CASTILLO, V; ALBALADEJO, J. Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology*, [S.L.], v. 45, n. 3-4, p. 261-275, jun. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x\(01\)00158-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x(01)00158-1).

MARTINS, Cleysla de Oliveira; GONÇALVES, Mário Jorge de Souza; TORRES, Antônio Puentes. ANÁLISE DA DINÂMICA DE ESTABILIDADE E VAZÕES MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE-BA. *Cadernos de Geociências*, Bahia, v. 18, n. 1, p. 1-12, set. 2023.

MASSA – GRUPO DE PESQUISA E EXTENSAO MANEJO DE AGUA E SOLO NO SEMIARIDO (Ceara). **Localização de nossos sítios**. sd. Disponível em: <http://www.massa.ufc.br/localizacao-sitios/>. Acesso em: 29 set. 2021.

MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto; ARAUJO, José Carlos de. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. *Journal Of Soils And Sediments*, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 1216-1223, 26 nov. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-013-0809-9>.

MEGNOUNIF, A.; TERFOUS, A.; BOUANANI, A.. Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien). *Revue Des Sciences de L'Eau*, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 369-380, 12 abr. 2005. Consortium Erudit. <http://dx.doi.org/10.7202/705513ar>.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 2, p. 901-909, 2003.

MILLER, W. P.; BAHARUDDIN, M. K.. Particle Size of Interrill-eroded Sediments from Highly Weathered Soils. *Soil Science Society Of America Journal*, [S.L.], v. 51, n. 6, p. 1610-1615, nov. 1987. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100060037x>.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P. de; SINGH, V.P.; SANTOS, T.e.M.. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, [S.L.], v. 109, p. 139-149, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018>.

MONTENEGRO, Abelardo A. A.; LOPES, Iug; CARVALHO, Ailton A. de; LIMA, João L. M. P. de; SOUZA, Thais E. M. S. de; ARAËJO, Helio L.; LINS, Frederico A. C.; ALMEIDA, Thayná A. B.; MONTENEGRO, Hugo G. L. A.. Spatio Temporal Soil Moisture Dynamics and Runoff under Different Soil Cover Conditions in a Semiarid Representative Basin in Brazil. **Advances In Geosciences**, [S.L.], v. 48, p. 19-30, 5 jun. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-48-19-2019>.

MOREIRA, Wagner Henrique; TORMENA, Cássio Antonio; KARLEN, Douglas L.; SILVA, Álvaro Pires da; KELLER, Thomas; BETIOLI, Edner. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 160, p. 53-64, July. 2016.

MOROCHO, Manuel; VILLANUEVA, Rubén; SORIANO, Guillermo. Análisis de Mediciones de Temperatura en Suelo sin Perturbar en Guayaquil - Ecuador. **Revista Politécnica**, Guayaquil, v. 40, n. 1, p. 1-6, out. 2017.

MOURA, Magna Soelma Beserra de; GALVINCIO, Josiclêda Domiciano; BRITO, Luiza Teixeira de Lima; SOUZA, Luciana Sandra Bastos de; SÁ, Ivan Ighour Silva; SILVA, Thieres George Freire da. **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021

MUÑOZ-ROBLES, Carlos; REID, Nick; TIGHE, Matthew; BRIGGS, Sue V.; WILSON, Brian. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semi-arid Australia. **Geoderma**, [S.L.], v. 160, n. 3-4, p. 524-534, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.024>.

NEARING, M. A.; FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; FINKNER, S. C.. A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 32, n. 5, p. 1587-1593, 1989. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.31195>.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979

OLIVEIRA, Ivanildo Amorim de; CAMPOS, Milton César Costa; SOARES, Marcelo Dayron Rodrigues; AQUINO, Renato Eleotério de; MARQUES JÚNIOR, José; NASCIMENTO, Ediana Pereira do. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 1103-1112, ago. 2013.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; SANTOS, Júlio César Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; BRASIL, José Bandeira. EFFECTIVE PRECIPITATION, SOIL LOSS AND PLANT COVER SYSTEMS IN THE CAATINGA BIOME, BRAZIL. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 956-965, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n421rc>.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; SANTOS, Júlio César Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; BRASIL, José Bandeira. EFFECTIVE PRECIPITATION, SOIL LOSS AND PLANT COVER SYSTEMS IN THE CAATINGA

BIOME, BRAZIL. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 956-965, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n421rc>.

PASQUALI, L. **Análise fatorial: um manual teórico-prático**. Brasília: EditoraUnB, 1999.  
PAZ, Otacílio Lopes de Souza da; SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. Análise estatística dos parâmetros geomorfométricos do relevo em bacias hidrográficas de primeira ordem perenes e intermitentes no oeste paranaense. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 41, p. 1-13, 28 abr. 2021

PEREIRA, J, C, R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. São Paulo: EDUSP. 1999.

PÉREZ, Humberto Ávila; IBAÑEZ, Sergio García; ROSAS-ACEVEDO, José Luis. Análisis de Componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas en un ecosistema léntico de Guerrero, México. **Revista Iberoamericana de Ciencias**, Acapulco, v. 2, n. 3, p. 43-53, maio 2015.

PERNAMBUCO. Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Delimitação do semiárido**. 2017. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 29 set. 2021.

PINHO, Monique Mourao; FERNANDES, Antonia Karine Mesquita; SILVA, Antonio Dejaime Teofilo da; TOMA, Raul Shiso. CONHECENDO OS SOLOS CEARENSE: CARACTERÍSTICAS E DISTRIBUIÇÃO. **Encontros Universitários da Ufc**, Fortaleza, v. 4, n. 1, p. 4233-4246, set. 2019.

PIZETTA, Samuel Cola; RODRIGUES, Rogério Rangel; PEREIRA, Geraldo Magela; PACHECO, Fabián Enrique Díaz; VIOLA, Marcelo Ribeiro; LIMA, Luiz Antônio. Calibração de um sensor capacitivo para estimativa da umidade em três classes de solos. **Irriga**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 458-468, 28 ago. 2017.

PODWOJEWSKI, Pascal; JANEAU, Jean Louis; GRELLIER, Séraphine; VALENTIN, Christian; LORENTZ, Simon; CHAPLOT, Vincent. Influence of grass soil cover on water runoff and soil detachment under rainfall simulation in a sub-humid South African degraded rangeland. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 36, n. 7, p. 911-922, 11 jan. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.2121>.

POESEN, J., SAVAT, J., 1980. **Particle-size separation during erosion by splash and runoff**. In: M. De Boodt and D. Gabriels (Editors), *Assessment of Erosion*. Wiley, New York. pp. 427-439.

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M.; Moro, M. "Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain". In: da Silva, J. C.; Leal, I.; Tabarelli, M, (eds.), **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer, 2017, p. 23-63.

REIS, Alan; MARTINS, Rubens Takeji Aoki Araujo; BERTOTTO, Luís Eduardo; COBALCHINI, Érick Rúbens Oliveira; ISHIZAWA, Yuri Batista; WENDLAND, Edson Cezar. Experimental and representative watersheds as a training site of qualified professionals in water resources: a case study of onça creek watershed (sp, brazil). **Rbrh**, [S.L.], v. 27, n.

26, p. 1-14, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.272220220040>.

RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; SANTOS, Júlio César Neves dos; BRASIL, José Bandeira. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 468-478, June. 2017.

RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; SANTOS, Júlio César Neves dos; BRASIL, José Bandeira. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 468-478, June. 2017.

RIENZI, E.A.; FOX, J.F.; GROVE, J.H.; MATOCHA, C.J.. Interrill erosion in soils with different land uses: the kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. **Catena**, [S.L.], v. 107, p. 130-138, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.02.007>.

RIES, Johannes B.; HIRT, Ulrike. Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the Central Ebro Basin/Spain. **Catena**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 282-296, Jan. 2008.

RODRIGUES, J.O. ANDRADE, E. M., OLIVEIRA, T. S., LOBATO, F. A O. Equações de intensidade–duração–frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 511-520, 2008.

RODRIGUES, Joseilson O.; ANDRADE, Eunice M. de; MENDONÇA, Luiz A. R.; ARAËJO, José C. de; PALÁCIO, Helba A. de Q.; ARAËJO, Efraim M.. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 312-318, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013000300010>.

RODRIGUES, Talmo Manhães de França; SENNA, Mônica Carneiro Alves; CATALDI, Marcio. Simulação dos impactos climáticos da desertificação do Nordeste brasileiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 1037-1047, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019164751>.

RODRIGUES, Valdemir Antonio; SÁNCHEZ-ROMÁN, Rodrigo Máximo; TARJUELO, José Maria; SARTORI, Maria Márcia Pereira; CANALES, Antonio Ruiz. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 01-13, 12 jun. 2015.

RODRIGUES, Valdemir Antonio; SÁNCHEZ-ROMÁN, Rodrigo Máximo; TARJUELO, José Maria; SARTORI, Maria Márcia Pereira; CANALES, Antonio Ruiz. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 01-13, 12 jun. 2015.

SALES, Eliton Sancler Gomes; ALCÂNTARA, Fabrícia Torreão Araújo de; ARAËJO, Fabiano da Silva; DORNELAS, Carina Seixas Maia; ALCÂNTARA, Hugo Morais de.

Influência de práticas conservacionistas na recuperação de áreas degradadas no semiárido/ influence of conservationist practices in the recovery of degraded areas in the semi-arid region. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 9298-9316, 2021.

SANTOS, Bruna Palmeira; TORRES, Antonio Puentes; GONÇALVES, Mário Jorge de Souza. ANÁLISE DAS CHEIAS E SECAS ANUAIS, NO RIO GONGOGI, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DE CONTAS-BAHIA. **Cadernos de Geociências**, Bahia, v. 18, n. 1, p. 1-12, ago. 2023.

SANTOS, Eduardo S. dos; SOUZA, Eduardo S. de; PESSOA, Luiz G. Medeiros; LEITE, Pedro A.; WILCOX, Bradford P.; SILVA, José R. Inácio. Water erosion in Caatinga and degraded pasture areas in semiarid region. **Amazonian Journal Of Plant Research, Belem**, v. 2, n. 4, p. 261-266, Dec. 2018a.

SANTOS, Eduardo S. dos; SOUZA, Eduardo S. de; PESSOA, Luiz G. Medeiros; LEITE, Pedro A.; WILCOX, Bradford P.; SILVA, José R. Inácio. Water erosion in Caatinga and degraded pasture areas in semiarid region. **Amazonian Journal Of Plant Research, Belem**, v. 2, n. 4, p. 261-266, Dec. 2018.

SANTOS, J. C. N dos. Mensuração da erosão do solo no semiárido em diferentes usos de terras e escalas espaciais. 100p. **Dissertação Mestrado**. Fortaleza: UFC, 2012.

SANTOS, José Yure Gomes dos; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; QUINN, Nevil Wyndham; DANTAS, Ana Paula Xavier; RIBEIRO NETO, Alfredo. Modeling the impacts of future LULC and climate change on runoff and sediment yield in a strategic basin in the Caatinga/Atlantic forest ecotone of Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 203, p. 105308, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2021.105308>.

SANTOS, Julio Cesar Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto; GUERREIRO, Maria João Simas; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 251-260, 2017a. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170029>.

SANTOS, Júlio César Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ARAUJO NETO, José Ribeiro de; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho. EROSIIVE PROCESS CONTROL IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 695-703, jul. 2018b. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n319rc>.

SANTOS, Julio Cesar Neves dos; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; MEIRELES, Ana Célia Maia; ARAUJO NETO, José Ribeiro de. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agrônômica**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 813-820, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902011000300030>.

SANTOS, Rozely Ferreira dos; PÉREZ, Carolina; ARTURI, Marcelo; GOYA, Juan; SANDOVAL, Martín. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Brasília: Mma, 2007. 129 p.

SANTOS, Wagner Martins dos; SOUZA, Rodolfo Marcondes Silva; SOUZA, Eduardo Soares de; ALMEIDA, André Quintão de; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 368-376, 15 ago. 2017b.

SANTOS, Wagner Martins dos; SOUZA, Rodolfo Marcondes Silva; SOUZA, Eduardo Soares de; ALMEIDA, André Quintão de; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 368-376, 15 ago. 2017.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BATISTELA, O.. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: ii. perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 437-447, jun. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832000000200020>.

SILVA NETO, Moisés Alves da; JESUS, Jully Emilly Galdino de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; SOUSA, Lizandra de Barros de; LINS, Frederico Abraão Costa; CHAGAS, Aline Maria Soares das. Parâmetros biofísicos como instrumento analítico de degradação do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. **Agrometeoros**, [S.L.], v. 30, p. 173-184, 5 jul. 2022. AGROMETEOROS. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v30.e026989>.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográfica**. 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 158p. 2007.

SILVA, Adrielle Gomes da; VILAR, Larissa Oliveira; VILAR, Viviane Oliveira; COELHO, Fernando Pinto; ACIOLI, Nayara Rithelly dos Santos; RAMOS, Ramon Brilhante Gonçalves Araújo; MOREIRA, Jefferson Gomes; DIARES, Thiago Rocha; SILVA, Danielly Ferreira da; CRUZ, Mayra Santos da. O MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL DA CAATINGA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 872-884, 17 jun. 2021. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciencias e Educacao. <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v7i5.1299>.

SILVA, Antonio Sousa; SILVA, Ivandro de França da; BANDEIRA, Lucas Borchardt; DIAS, Bruno de Oliveira; SILVA NETO, Luís de França da. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 44, n. 10, p. 1783-1789, out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130789>.

SILVA, Bruce Francisco Pontes da; FEDOROVA, Natalia. “Distúrbios Ondulatórios de Leste” Sobre o Atlântico Tropical Sul: revisão e discussão sobre terminologia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 38, p. 1-17, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863810025>.

SILVA, Jadielle Lidiane Clemente; VIDAL, Carlos Alberto Soares; BARROS, Luiz Marivando; FREITA, Francisco Ronaldo Vieira. ASPECTOS DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 180, 27 abr. 2018a. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>.

SILVA, José Raliuson Inácio; SOUZA, Eduardo Soares de; SOUZA, Rodolfo; SANTOS, Eduardo Silva dos; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NA EROSÃO HÍDRICA EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 272-283, 19 jun. 2019. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>.

SILVA, José Raliuson Inácio; SOUZA, Eduardo Soares de; SOUZA, Rodolfo; SANTOS, Eduardo Silva dos; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NA EROSÃO HÍDRICA EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 272-283, 19 jun. 2019. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>.

SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; SANTOS, José Yure Gomes dos. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal Of Sediment Research**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 117-125, jun. 2018b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>

SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; SANTOS, José Yure Gomes dos. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal Of Sediment Research**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 117-125, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>

SOULIS, Konstantinos X.; ELMALOGLOU, Stamatios. Optimum Soil Water Content Sensors Placement in Drip Irrigation Scheduling Systems: concept of time stable representative positions. **Journal Of Irrigation And Drainage Engineering**, [S.L.], v. 142, n. 11, p. 04016054, Nov. 2016.

SOUSA, Marcos Makeison Moreira de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; RIBEIRO FILHO, Jacques Carvalho; MOURA, Matheus Magalhães Silva. DETERMINANT PLUVIOMETRIC CHARACTERISTICS OF SEDIMENT TRANSPORT IN A CATCHMENT WITH THINNED VEGETATION IN THE TROPICAL SEMIARID. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 785-793, set. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n322rc>.

SOUSA, Valdemício Ferreira de; NUNES, Guilhermina Maria Vieira Cayres; ZONTA, João Batista; ARAUJO, Eugênio Celso Emérito. **Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense**. 21. ed. Sao Luis: Embrapa Cocais, 2019. 139 p.

SOUZA, Rodolfo M. S.; SOUZA, Eduardo S. de; ANTONINO, Antonio C. D.; LIMA, José R. de S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 449-455, maio 2015.

STAVI, Ilan; UNGAR, Eugene David; LAVEE, Hanoch; SARAH, Pariente. Grazing-induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland. **Catena**, [S.L.], v. 75, n. 3, p. 288-296, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.007>.

SUDENE. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE.

**Delimitação do Semiárido.** Disponível em: <<http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>> Acesso em: 24 out 2019.

TASSINARI, Diego; BARRAL, Uidemar Morais; CHRISTOFARO, Cristiano; PINTO, Thiago Almeida Andrade; OLIVEIRA, Ricardo Murta; SILVA, Alexandre Christofaro. Caracterização fisiográfica e vazão de duas bacias hidrográficas do sítio PELD TURF na Chapada do Couto, Serra do Espinhaço Meridional. **Zenodo**, [S.L.], p. 1-15, 24 abr. 2023. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.7858872>.

TOLEDO, Cristian Epifanio; ALCANTARA, Nayra Rodrigues. Sensitivity of hydrological connectivity in a semiarid basin with a high-density reservoir network. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 1, 16 jul. 2019. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-agua.2367>.

TOLEDO, Juliana Aparecida Cantarino. Relações entre manejo do solo e erosão hídrica: uma revisão bibliográfica. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Minas Gerais, v. 1, n. 8, p. 1-13, mar. 2023.

TORO-GUERRERO, Francisco del; VIVONI, Enrique; KRETZSCHMAR, Thomas; RUNQUIST, Stephen Bullock; VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Rogelio. Variations in Soil Water Content, Infiltration and Potential Recharge at Three Sites in a Mediterranean Mountainous Region of Baja California, Mexico. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1844, 13 dez. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10121844>.

TORRICO, J. J. T. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119p.  
ÚBEDA, Xavier; FARGUELL, Joaquim; FRANCOS, Marcos; OUTEIRO, Luís; PACHECO, Edinson. Runoff and erosion generation by simulated rainfall in a Mediterranean forest with forest management. **Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 37-51, 17 dez. 2019. Universidad Autonoma Chapingo. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.007>.

VELÁSQUEZ, Guillermo Vásquez; ORTEGA, Nataly Foronda. Resposta hidrológica em bacias de cabeceira com uso da terra em florestas plantadas nos Andes intertropicais da Colômbia. **Série Técnica Ipef**, [S.L.], v. 26, n. 48, p. 47-53, 2023. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/sertec.v26n48.009>.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 743-755, ago. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000400001>.

WANG, L.; SHI, Z.H.; WANG, J.; FANG, N.F.; WU, G.L.; ZHANG, H.y.. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: a case study of clay loam soil from the loess plateau, china. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 512, p. 168-176, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.066>.

WARRINGTON, D. N.; MAMEDOV, A. I.; BHARDWAJ, A., K, LEVY, G. J. Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal

development. *European Journal of Soil Science*, n. 60, p. 84–93, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2008.01090.x

WINPENNY, James; HEINZ, Ingo; KOO-OSHIMA, Sasha. **Reutilización del agua en la agricultura**. 35. ed. Roma: Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 2013. 124 p.

YOUNG, R. A.; WIERSMA, J. L.. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 1629-1636, dez. 1973. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/wr009i006p01629>.

YUILL, Brendan T.; NICHOLS, Mary H.. Patterns of grain-size dependent sediment transport in low-ordered, ephemeral channels. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 334-346, 21 fev. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.2041>.

ZHOU, Ji; FU, Bojie; GAO, Guangyao; LÜ, Yihe; LIU, Yu; LÜ, Nan; WANG, Shuai. Effects of precipitation and restoration vegetation on soil erosion in a semi-arid environment in the Loess Plateau, China. **Catena**, [S.L.], v. 137, p. 1-11, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.015>.

ZUFFO, Alan Mario; STEINER, Fábio. **Elementos da Natureza e Propriedades do Solo**. 4. ed. Belo Horizonte: Atena Editora, 2018. 245 p.