

**MESTRADO PROFISSIONAL
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**A CONTRIBUIÇÃO DA
EROSÃO LAMINAR NO
PROCESSO DE
DESERTIFICAÇÃO NO
SEMIÁRIDO BAIANO.**

José Denilson da Silva

Serrinha - Bahia - Brasil - 2022



INSTITUTO FEDERAL
Baiano
Campus Serrinha

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida e poder compartilhar com todos que estiveram presente nesse árduo percurso. A família em especial a esposa e filho que incentivaram incansavelmente na busca do objetivo de concluir a pós-graduação, a Sr Zito e Sra. Gizelia, proprietários da área onde foi desenvolvido a pesquisa na comunidade de Lagoa Branca. Toda comunidade IF Baiano *campus* Serrinha, coordenador do MPCA Delfran Batista, professores, colegas (amigos), e em especial ao orientador Márcio Lima Rios e coorientador Alisson Jadavi pela confiança e ajuda fundamental na escolha do melhor caminho dentro dessa importante e necessária linha de pesquisa. Obrigado.

RESUMO

A erosão hídrica, associada às atividades de uso da terra, é um dos processos de degradação ambiental mais agressivos na atualidade, sendo capaz de movimentar milhões de toneladas de solo, reduzindo terras férteis e assoreando mananciais de água. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a contribuição da erosão hídrica laminar na remoção dos solos em uma vertente no contexto espacial semiárido, no norte do Estado da Bahia, com índice pluviométrico abaixo de 500 mm anuais, evapotranspiração em torno de 2000 mm/ano⁻¹ e vegetação de Caatinga hiperxerófila. Enfatiza-se que a área de estudo está no interior de um núcleo de desertificação. Para tanto foram desenvolvidas diversas técnicas, desde a elaboração de MDE (Modelo Digital de Elevação) a partir de imagens de VANT Multirotor, espacialização de classes de inclinação da vertente, até a quantificação de perda de solo por erosão laminar, a partir do método dos pinos, no qual foram mesuradas perdas de solo em 324 pontos no entorno de 36 pinos instalados em um pequeno trecho na média vertente (polígono experimental com área de 2.704 m²). O índice pluviométrico local foi registrado, servindo de base para correlacionar a precipitação acumulada ao deslocamento de solo em períodos de 30 dias. Foi realizado estudo de dois perfis de solo no local (descrição morfológica, análises química e granulométrica). Ao final foi elaborado mapa, especializando um modelo de previsão da erosão laminar, confeccionado a partir de Krigagem no software Quantum Gis 3.22. Os mapas de hipsometria e inclinação da área mostraram altitudes que variaram de 500 a 507 metros, e declividades que variaram principalmente entre 5 e 14%, tendo estas, influência direta na energia potencial do escoamento superficial, fator crucial no desencadeamento do processo erosivo. Os solos encontrados foram o Neossolo Regolítico e o Cambissolo Háptico, ambos, com atributos físicos e químicos que apontam alta vulnerabilidade a erosão. As precipitações mensais acumuladas foram constatadas a partir do mês de outubro de 2021, com 67,2 mm, em novembro com 73,7 mm, dezembro com elevadíssimo 201,4 mm, e nos meses seguintes houve significativa redução. No primeiro mês de coleta de dados de erosão laminar, constatou-se na área do experimento, a remoção de 0,8 mm de solo. O valor elevado de perda de solo coincide com o início do período chuvoso na região. Quando levantada a média acumulada de perda de solo nos sete meses monitorados, chegou-se ao total de 37 mm ou 49,21 t/ha⁻¹. Esse resultado caracteriza-se como muito elevado, pois o limite de tolerância para solos pouco desenvolvidos e rasos é de 16,5 t/ha⁻¹. Os dados de erosão laminar no recorte espacial analisado, ratificam o estágio avançado de degradação das terras, contribuindo para a composição do conjunto de informações necessárias para o reconhecimento de um processo de desertificação em curso no local.

Palavras-chave: Perda de Solos; Krigagem; Pinos de erosão; Degradação das terras.

ABSTRACT

Water erosion associated with land use activities is one of the most destructive environmental degradation processes today, being able to move millions of tons of soil, reducing fertile land and silting up water sources. Laminar water erosion is less noticeable, it occurs in a "silent" way, without many marks on the landscape, but at the same time, it is responsible for the superficial removal of the most fertile layer of the land, moving, in several parts of the slopes, large volumes of soil. The objective of this research work was to evaluate the contribution of laminar water erosion in the removal of soils in a slope in the semi-arid spatial context, in the north of the State of Bahia, with annual rainfall below 500 mm, evapotranspiration around 2000 mm/ year⁻¹ and vegetation of hyperxerophilous Caatinga. It is emphasized that the study area is inside a desertification nucleus. For that, several techniques were developed, from the elaboration of MDE (Digital Elevation Model) from UAV images, spatialization of slope slope classes, to the quantification of soil loss by laminar erosion, from the pin method, in which 36 pins were installed on the slope studied. The local rainfall index was recorded, serving as a basis to correlate the accumulated precipitation to the soil displacement in periods of 30 days. Two soil profiles were studied at the site (morphological description, chemical and granulometric analysis and soil classification). At the end, a map was elaborated, specializing in a prediction model of laminar erosion, made from Kriging in the Quantum Gis 3.22 software. The hypsometry and slope maps of the area showed altitudes that varied from 500 to 507 and slopes that varied mainly between 5 and 14%, which had a direct influence on the potential energy of surface runoff, a crucial factor in triggering the erosive process. The soils found were the Regolithic Neosol and the Haplic Cambisol, both with physical and chemical attributes that indicate high vulnerability to erosion. The accumulated monthly rainfall was recorded from October 2021, with 67.2 mm, in November with 73.7 mm, December with a very high 201.4 mm, and in the following months there was a significant reduction. In the first month of laminar erosion data collection, approximately 0.8 mm of soil removal from the 36 pins (324 points) was observed, the high value of soil loss coincides with the beginning of the rainy season in the region. When the accumulated average of soil loss in the seven monitored months was calculated, a total of 37 mm or 49.21 t/ha⁻¹ was reached. This result is characterized as very high, as the tolerance limit for poorly developed and shallow soils is 16.5 t/ha⁻¹. The laminar erosion data in the analyzed spatial clipping confirm the advanced stage of land degradation, contributing to the composition of the set of information necessary for the recognition of an ongoing process of desertification in the place.

Keywords: Soil Loss; Kriging; Erosion pins; Land degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo	13
Figura 2 - Distribuição dos pinos na área experimental e demonstração dos pontos a serem monitorados para mensuração da erosão laminar	16
Figura 3 - Mapa hipsométrico com relevo sombreado	20
Figura 4 - Mapa de inclinação ou declividade.....	21
Figura 5 - Perfis de solo estudados.....	23
Figura 6 - Gráfico apresentando distribuição das chuvas (mm) na área de estudo, no intervalo de 8 meses.....	26
Figura 7 - Mapa da distribuição (interpolação) da erosão na área estudada.....	27
Figura 8 - Foto apresentando paisagem da área de estudo, destacando vegetação esparsa e muito solo exposto	29
Figura 9 - Remoção de solo (cm) no período analisado	30
Figura 10 - Perda de solo acumulada Foto apresentando paisagem da área de estudo, destacando vegetação esparsa e muito solo exposto	31

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ACIAF - Associação Comercial, Industrial e Agropecuária de Campo Formoso.

ADA- Argila Dispersa em Água.

$^{\circ}\text{C}$ - Grau Celsius.

CaCO_3 - Carbonato de Cálcio.

CENIP - Centro Nordestino de Informações Sobre Plantas.

cm - Centímetro.

CTC - Capacidade de Troca de Cátion.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

GPS - Global Positioning System.

GF - Grau de Flocculação.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Kg - Quilograma.

Km - Quilômetro.

m - Metro.

m^2 - Metro Quadrado.

MDE - Modelo Digital de Elevação.

mm - Milímetro.

pH - Potencial de Hidrogênio.

RMSE - Erro Médio Quadrático.

SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

t/ha^{-1} - Tonelada por Hectare.

VANT - Veículo Aéreo não Tripulado.

SUMÁRIO

A CONTRIBUIÇÃO DA EROÇÃO LAMINAR NO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BAIANO.	8
1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Erosão dos solos	10
2.2 Desertificação.....	11
3. METODOLOGIA	12
3.1 Área de estudo: localização e caracterização	12
3.2 Procedimentos Metodológicos	15
3.2.1 Elaboração de MDE, perfil topográfico e mapa de superfícies expostas na vertente selecionada.	15
3.2.2 Experimento para mensuração da erosão laminar	15
3.2.3 Características dos solos.	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1 Hipsometria e declividade da área.	19
4.2 Características dos solos.....	22
4.3 Índices de chuva no local	25
4.4 Espacialização da erosão linear em um trecho de vertente no médio curso do Salitre.	27
4.5 Perda de solo por erosão laminar	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais têm aumentado progressivamente em todo o planeta, causando grandes desastres como nunca visto. Essa problemática está ligada, entre outros fatores, ao uso indiscriminado dos recursos naturais e a ocupação irrestrita de espaços relativamente frágeis. Nas últimas décadas houve significativo aumento de pesquisas a fim de entender o funcionamento e as dimensões dos processos ambientais, e de encontrar possíveis explicações e resolubilidade para as inúmeras alterações negativas para o meio ambiente. Entre esses problemas destacam-se a desertificação, que no Brasil, adquire contornos e expansão progressiva no semiárido nordestino.

Entre os indicadores de desertificação abordados nos trabalhos sobre o tema no Brasil, a erosão dos solos tem se destacado, compondo a grande maioria das listas de indicadores propostos (MATALLO JÚNIOR, 2001). É neste sentido que a erosão laminar pode ser investigada como processo que contribui para a expansão da desertificação, principalmente por representar um processo de degradação com perdas definitivas de solos e muitas das vezes substancial redução no potencial ecológico e produtivo das terras.

A erosão laminar ou em lençol (*sheet erosion*), possui ação geralmente discreta na paisagem, mas é capaz de remover significativo volume de solos numa vasta área (DESCROIX et al., 2008). Esse tipo pode representar o primeiro estágio de um processo erosivo progressivo com perdas localizadas e incipientes de solo, como também, ao longo do tempo, ser capaz de eliminar todo o horizonte pedológico superficial (LE BISSONNAIS et al., 1998; TOY et al., 2002).

A bacia hidrográfica do rio Salitre, no semiárido do estado da Bahia, possui vastos trechos em processo emergente de desertificação, de acordo com trabalhos recentemente publicados, com fortes indícios da presença marcante de feições erosivas de natureza tanto linear quanto laminar (SANTOS, 2016; JESUS, 2021; RIOS, 2021).

Diante da problemática da desertificação na bacia do rio Salitre, torna-se necessário entendermos os mecanismos atrelados ao processo de redução do potencial ecológico da área: a erosão laminar enquanto fenômeno diretamente responsável pela substancial remoção dos horizontes superficiais dos solos. Neste sentido, qual o volume de solo deslocado em uma vertente no médio Salitre pelo processo de erosão laminar diante de um determinado volume de chuvas? A erosão laminar contribui para o processo de desertificação? As atividades humanas colaboram para o intenso processo de erosão laminar na área?

Com isso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a contribuição da erosão hídrica laminar na remoção dos solos em uma vertente e relacioná-la com as atividades antrópicas em uma área sob processo de desertificação. Buscou-se levantar informações sobre as principais propriedades químicas e físicas dos solos na vertente estudada, além de adaptar metodologias que auxiliaram na quantificação da perda de solo por erosão hídrica laminar, com base em experimentos em campo. Este trabalho também apontou o volume de solo deslocado da vertente pelo processo de erosão hídrica laminar, frente a determinado volume de chuvas, compreendendo a relação entre a erosão e o processo de desertificação em curso. A proposta trata-se da necessidade de entendimento das principais causas da erosão laminar no médio curso da bacia do rio Salitre, bem como os efeitos preocupantes inerente ao uso e ocupação irregular de áreas frágeis no contexto ambiental semiárido.

Buscou-se compreender a influência da atividade agropecuária mal planejada no processo de degradação, correlacionando a erosão laminar ao processo de desertificação, atrelado às perdas “irreversíveis” das propriedades químicas e físicas do solo.

Apesar de existir estreita relação entre erosão e desertificação, há poucas discussões que concatenam erosão laminar com a desertificação no semiárido brasileiro. Neste sentido, essa pesquisa traz significativa contribuição nas discussões acadêmico-científicas dentro da temática sobre desertificação, e na caracterização de um importante processo de degradação dos solos na bacia do Salitre. Propõe procedimentos metodológicos de quantificação do deslocamento do solo por erosão laminar, contribuindo e servindo de base para pesquisas futuras no aprimoramento de técnicas eficientes em estudos de perda de solo e reconhecimento de áreas em processo de desertificação.

Os resultados apresentados também podem contribuir para o embasamento de propostas de planejamento do poder público no desenvolvimento de métodos de conservação do solo, recuperação de área degradada e educação ambiental na bacia do rio Salitre.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Erosão dos solos

Erosão é o processo natural ou antrópico na qual acontece desagregação e arraste das partículas do solo causado pela água ou pelo vento. Para Guerra (2003), propriedades do solo, erosividade da chuva, características das encostas e a cobertura vegetal são fatores que influenciam diretamente no desencadeamento da erosão hídrica. As atividades humanas representadas pelos diferentes usos do solo podem acelerar significativamente o processo erosivo. Valle Junior (2008), aponta que o processo de erosão, lixiviação e modificação do regime hidrológico são exemplos de fatores naturais e ocorrem nos ambientes mesmo sem a intervenção humana, entretanto com as transformações exacerbadas do ambiente natural por ações antrópicas, tem provocado intensificação dos processos e desequilíbrios de grande amplitude com consequências desastrosas para o meio.

Considera-se erosão hídrica um dos principais problemas ambientais na atualidade, além de ocasionar assoreamento dos corpos hídricos, provoca danos ao meio ambiente diminuindo a fertilidade do solo, removendo a camada superficial e diminuindo a diversidade microbiológica, tendo como consequência a redução do potencial produtivo. Esse processo inicia-se pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, o escoamento superficial carrega partículas de solo soltas e as depositam em outros locais após a desagregação (SILVA et al., 2019). Em regiões semiáridas os impactos negativos da erosão hídrica podem ser mais graves por possuírem em sua grande maioria solos rasos atrelados a baixa cobertura vegetal (AGUIAR et al., 2006; FREITAS et al., 2008).

Erosão laminar define-se como a remoção superficial do solo de forma relativamente simétrica na vertente, sendo que a concentração e fluxos de energia nesse tipo de erosão é significativamente menor quando comparado à erosão linear, contudo os sedimentos finos são facilmente carregados quando há declividade, restando na superfície estruturas grosseiras como cascalhos e calhaus (XAVIER, 2021).

Conhecida como problema ambiental, a erosão do solo, é aumentada quando há práticas agropecuárias e florestais errôneas, afetando a capacidade produtiva, diminuindo a porosidade, aumentando a capacidade de retenção e infiltração, transporte de sedimentos e assoreamento de corpos hídricos (DURÃES e MELLO, 2016). Fatores hídricos ou eólicos modelam feições geológicas do planeta e sua intensidade pode variar ao longo do tempo e em diferentes superfícies, cobertura vegetal, clima, escoamento superficial, composição

dos solos e topografia (MONTENEGRO et al., 2013). Para Araújo et al. (2012) textura, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração, capacidade de retenção de água, estabilidade de agregados e condutividade hidráulica são características importantes das propriedades físicas do solo que influenciam no processo erosivo.

A ação das gotas de chuva provocam a desagregação das partículas e a selagem do solo (camada compactada), dificultando a infiltração e promovendo a formação de pequenas poças que se espalham por toda a área, levando ao escoamento superficial com a continuidade da precipitação (COUTO, 2020).

Segundo Silva et al. (2000), erosão hídrica pode ser estudada de acordo com a erodibilidade do solo por apresentar efeito integrado nos processos que influenciam a infiltração e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas. Aquino et al. (2017), acrescentam que a resistência do solo ao transporte pelo fluxo superficial e ao impacto das gotas de chuva são determinantes no comportamento do manto pedológico em relação aos processos erosivos. Apesar do processo de erosão ser algo natural e atuar na dinâmica de formação do relevo, o uso e ocupação do solo podem acelerar esse processo, ou seja, o homem como agente transformador de ambientes atua na aceleração dos processos erosivos e conseqüentemente no ritmo de transformação da paisagem (FRANCISCO, 2011).

2.2 Desertificação

A ocupação desordenada no semiárido brasileiro existe há várias décadas, o avanço da agropecuária inerente ao manejo inadequado do solo e da retirada da cobertura vegetal são causas importantes no processo de degradação e desertificação (TOMASELLA et al., 2018). Vale ressaltar que no Brasil, segundo Angelotti et al. (2009), a erosão dos solos é um dos indicadores mais utilizados para avaliar a desertificação.

Desertificação é um complexo grau de degradação de solos, problemática que afeta regiões de clima árido, semiárido e sub úmido, resultantes de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas (UNITED NATIONS, 1994). No Brasil a desertificação ocupa alguns espaços na região semiárida do país, principalmente as áreas caracterizadas pela baixa relação entre precipitação e evapotranspiração em contextos altamente degradados pelos sistemas econômicos vigentes, resultando, em geral na redução pronunciada da disponibilidade hídrica e a diminuição da capacidade produtiva das terras (PEREZ-MARIN et al., 2012; NASCIMENTO, 2013).

Desequilíbrio ambiental é compreendido como toda alteração provocada a natureza que reflete de forma negativa para os sistemas ecológicos e serviços ecossistêmicos. O uso intensivo dos recursos naturais, sobretudo o solo são atividades que interferem na mudança de ordem biológica, química e física, ocasionando impactos irreversíveis (KOBAYAMA, 2001; LIMA et al. 2012). A desertificação é um conjunto de consequências do manejo inadequado (LIMA, 2012), a diminuição na diversidade de microrganismos, oxidação da matéria orgânica, desestruturação e compactação do solo são efeitos dessa degradação (LEITE et al., 2010).

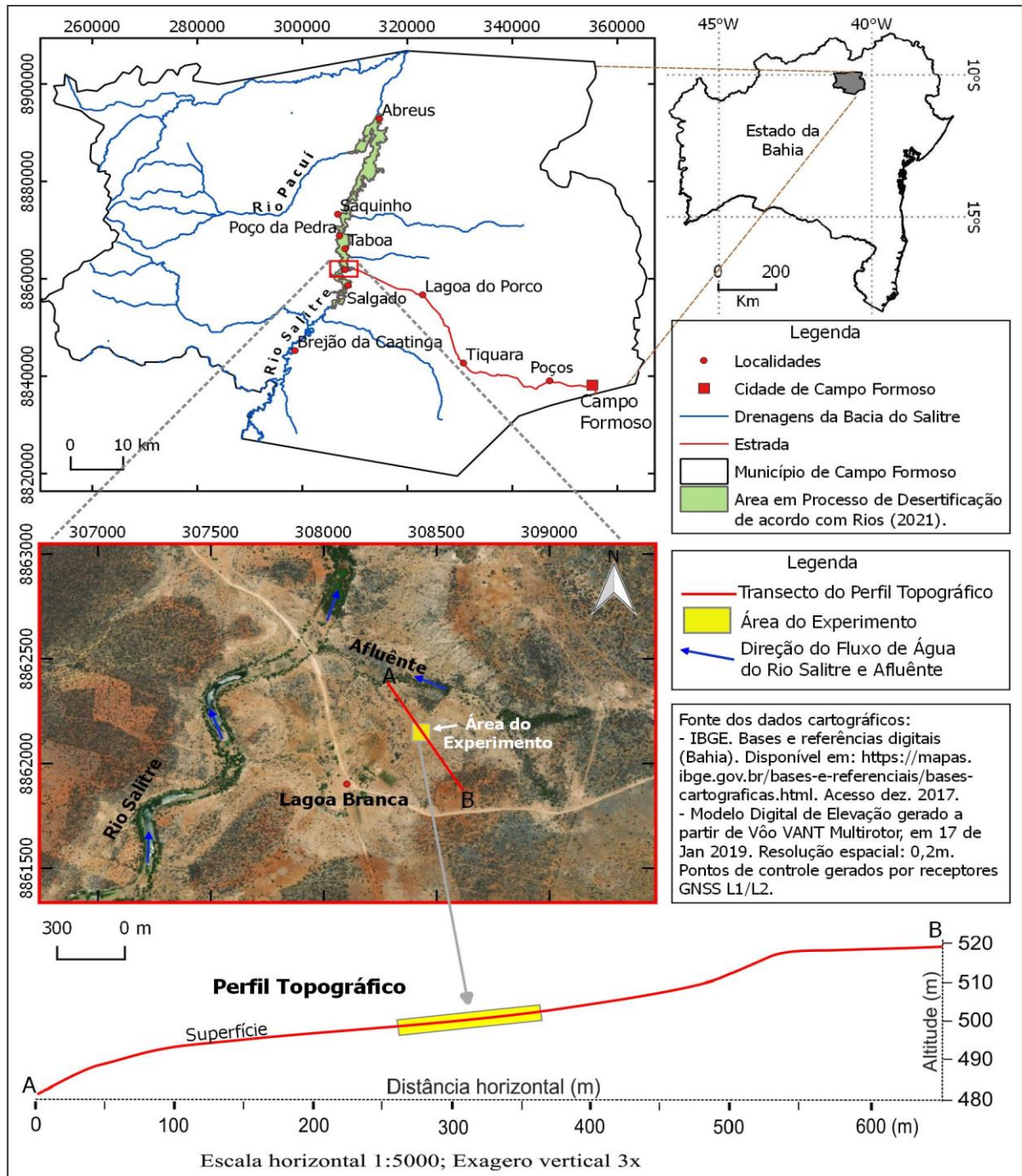
Meira et al. (2019) salientam que a junção e interação entre homem e o ambiente adverso pode ocasionar a desertificação, visto que fatores climáticos, vegetacionais e edáfico são fortemente instáveis, potencializando a degradação ocasionada pelas práticas inadequadas. Este fato ocorre porque a erosão pode levar o ambiente ao estado irreversível de degradação, característica esta, associada ao processo de desertificação (MAINGUET, 1992; SAMPAIO et al., 2003; CHAPLOT et al., 2005; D'ODORICO et al., 2013; NASCIMENTO, 2013).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo: localização e caracterização

O presente estudo foi desenvolvido no município de Campo Formoso, no Estado da Bahia, com área experimental nos arredores do povoado de Lagoa Branca (10°17'27" Latitude Sul e 40°45'08." Longitude Oeste), localizado a 63 km da sede municipal (Figura 1). O referido município possui população de 71.487, área territorial de 7.161,827 km², IDHM 0,586, com densidade demográfica 9,18 hab/km² (IBGE, 2010). Diante dos dados de produção agrícola é considerado o maior produtor de sisal do Brasil, sendo o vale do rio Salitre a principal área de produção no interior do município (IBGE, 2020).

Figura 1- Localização da área de estudo.



A bacia do rio Salitre possui uma área de 14.136 km² e está localizada no contexto hidrográfico da bacia do rio São Francisco, em territórios de nove municípios na porção norte do estado da Bahia (INEMA, 2020), com destaque para Campo Formoso no médio curso. O experimento está situado numa média encosta próximo ao rio Salitre, no interior de uma área diagnosticada como em processo de desertificação (SANTOS 2016; RIOS, 2021).

A área do médio Salitre possui clima semiárido quente, com índice pluviométrico entre

300 e 500 mm/ano, posicionada no interior de um polígono com elevado déficit hídrico (BAIHA, 2003), temperaturas na média de 27°C e evapotranspiração em torno de 2000 mm/ano (EMBRAPA, 2020). As chuvas são escassas, bastante concentradas em um curto período do ano, vinculadas a episódios com forte intensidade (RIOS et al., 2020).

Os solos encontrados no médio Salitre, em pesquisa realizada nos arredores da comunidade de Lagoa Branca, foram: CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico, CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico leptofragmentário, NEOSSOLOS LITÓLICOS Carbonáticos típicos, CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico, CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático vertissólico (RIOS et al. 2020). São solos carbonáticos, com pH acima de 8, baixíssimo teor de carbono orgânico, elevado equivalente de CaCO₃, predominantemente rasos, siltosos, friáveis, e dotado de elevada fragilidade diante dos processos erosivos (RIOS et al. 2020).

Como a população é predominantemente rural no médio Salitre, as atividades desenvolvidas na região são em sua grande maioria a agricultura e a pecuária. Vale ressaltar que a agricultura dominante nas últimas 7 décadas foi o monocultivo de agave (sisal), que dinamizou a economia do vale do Salitre (ACIACF, 2019). Recentemente foram instalados projetos de irrigação de hortaliças e a criação extensiva de caprinos e ovinos.

A vegetação é a caatinga do tipo hiperxerófila de formação caducifólia espinhosa, seu porte é predominantemente arbustivo e arbóreo (NAIME et al., 2007). Há formações lenhosas com elevado grau de xerofilismo que pouco protege o solo dos processos iniciais da erosão. É perceptível o declínio da vegetação endêmica na região, com o aparecimento cada vez maior de grandes clareiras e solo nu.

Há presença de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tui), angico (*Anadenanthera macrocarpa*), faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl), umburana de cambão (*Commiphora leptophloeos*), pinhão bravo (*Jatropha mollissima*), malva branca (*Sida cordifolia* L), carqueja (*Calliandra depauperat*), além das cactáceas, como o mandacaru (*Cereus jamacaru*), coroa de frade (*Melocactus zehntneri*), caroá (*Neoglasiovia variegata*), xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) e mancambira (*Bromélia laciniosa*) (CNIP, 2022).

As características de aridez da Caatinga favorecem a alta suscetibilidade a degradação e desertificação ambiental, em grande maioria resultante das ações agropecuárias, diminuição da cobertura vegetal, pastejo intensivo, aliados à erosão e compactação do solo (BALDOTTO et al., 2015).

3.2 Procedimentos Metodológicos

3.2.1 Elaboração de MDE, perfil topográfico e mapa de superfícies expostas na vertente selecionada.

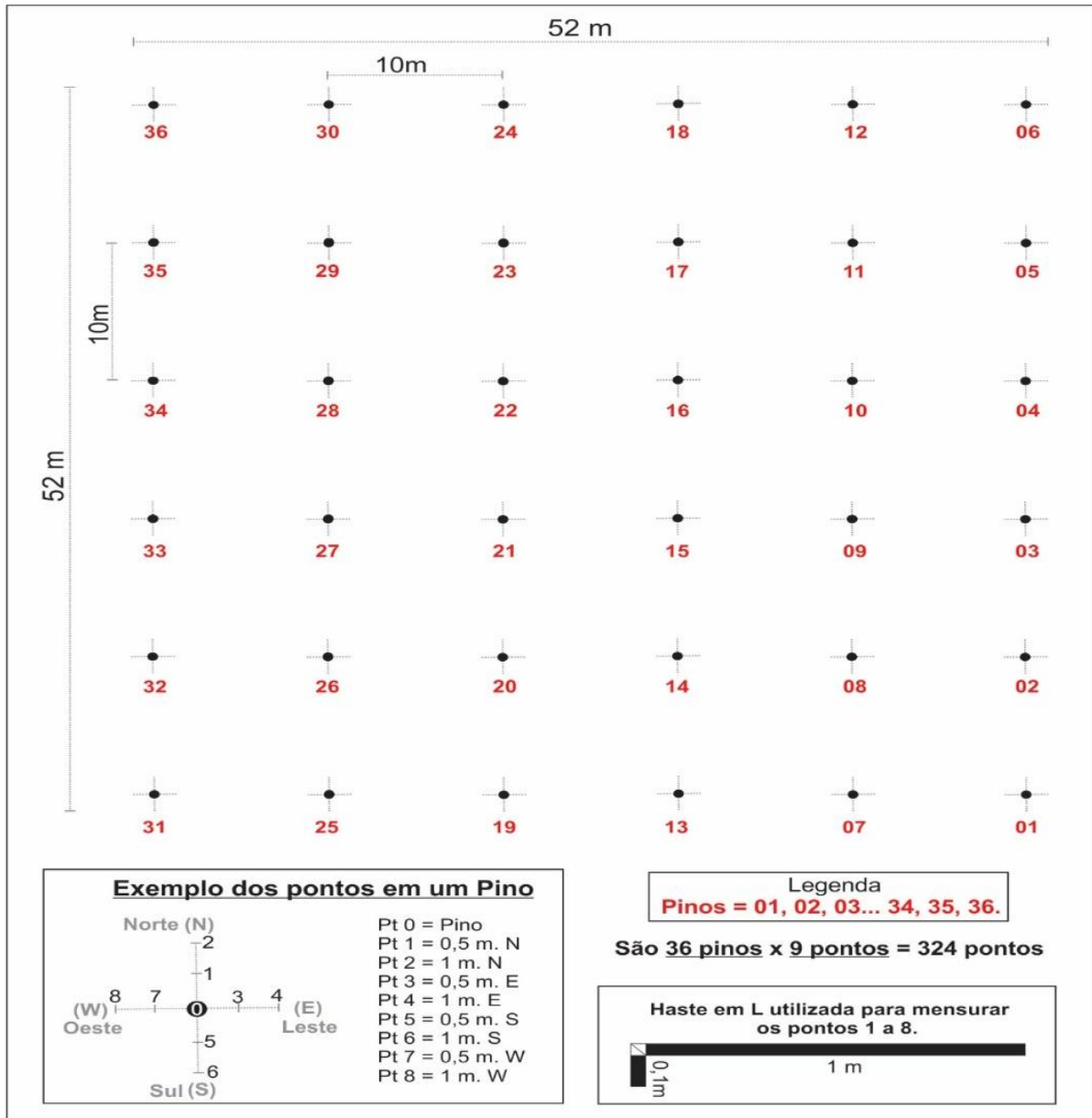
Após definição da vertente onde os estudos sobre os solos se concentraram, foi realizado voo com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), tipo Multirotor (Drone Multirotor), capaz de produzir ortofoto e dados morfométricos com alta resolução espacial, visando gerar informações para confecção de Modelo Digital de Elevação (MDE), além de material cartográfico de base, utilizou-se na interpretação da distribuição espacial dos elementos na superfície. Neste sentido, o trabalho com o VANT foi importante na verificação da distribuição dos fenômenos em escala significativamente detalhada (MEDEIROS et al. 2008) no interior da área do experimento, visto que a alta exposição dos solos facilita a compreensão da organização lateral dos elementos.

O processamento inicial das imagens, mosaico e a confecção do MDE (com pixel de 50 cm) foram realizadas no software Global Mapper, Módulo Lidar. O MDE foi manipulado no Software QGis 3.2, visando confeccionar curvas de nível - equidistância de 50 cm (Ferramenta Extrair Contorno) e mapa hipsométrico do setor estudado na vertente. Estes dados também foram importantes na construção de alguns perfis topográficos, cruzando a área do experimento. Estes perfis foram confeccionados no Software QGis 3.2, utilizando o Plugin Profile Tool, comando Terrain Profile.

3.2.2 Experimento para mensuração da erosão laminar

A mensuração do deslocamento de solo ocorreu mensalmente, enquanto as precipitações foram registradas após ocorrência de chuvas, correlacionando a precipitação acumulada com o deslocamento de solo no período de 30 dias. A área experimental corresponde a um recorte espacial com 2.704 m² (52m x 52m) (Figura 2) situado na média vertente com declividade média de aproximadamente 6%, no interior de uma propriedade rural, utilizada na última década apenas para ovinocaprinocultura extensiva. Para montagem do experimento foram utilizados os seguintes materiais: pinos de vergalhão 3/8 medindo 25 cm cada, martelo, trena, nível de mão com bolha, lâmina de serra para metal, régua, metalon – 2 cm x 2 cm (confeccionado em formato de uma haste em L), bússola, pluviômetro e GPS de navegação.

Figura 2- Distribuição dos pinos na área experimental e demonstração dos pontos a serem monitorados para mensuração da erosão laminar.



A quantificação de perda de solo por erosão laminar foi realizada por meio do método dos pinos (SCHNEIDER et al., 2009). A área experimental foi organizada de acordo com a figura 1, contemplando 36 pinos, espaçados com distância de 10 m entre pinos ($6 \times 6 = 36$). Cada pino possui tamanho de 25 cm, no qual 15 cm estarão fincados ao solo e 10 cm exposto. Todos os pinos foram georreferenciados com GPS de navegação e devidamente situados na imagem produzida por drone. Também foi preenchida ficha com informações que caracterizam a condição ambiental do entorno de cada pino (declividade, proximidade de árvores, raízes expostas, cascalhos na superfície, tipologia da cobertura vegetal, proximidade de feições de erosão linear, entre outros).

Iniciou-se registrando a altura de 10 cm do pino, seguindo-se com o metalon sendo inserido no pino e ajustado com nível de mão (com bolha de precisão), para seguir com as medidas em quatro sentidos ou direções (Norte = N, Sul = S, Leste = E e Oeste = W) com auxílio de bússola eletrônica, visando coletar dados do pino e de seu entorno (Figura 2). Foi inicialmente registrado o dado do pino (ponto 0), para em seguida medir a diferença de altura entre a base horizontal do tubo de metalon e a superfície, considerando os pontos 0,5 m e 1 m (no comprimento do tubo), nas quatro direções estabelecidas. Portanto, foram coletadas informações do pino e de 8 pontos no seu entorno, para cada um dos pinos, totalizando 324 pontos mensurados (9 x 36).

Os dados foram tratados por meio de estatística descritiva, apontando desvio padrão, a média geral, médias dos pinos e comparações entre pinos, visando identificar fontes de variações ou informações que caracterizam a condição ambiental de cada ponto (declividade, proximidade de árvores, raízes expostas, cascalhos na superfície, tipologia da cobertura vegetal, proximidade de feições de erosão linear) que podem estar contribuindo para acelerar o processo erosivo laminar. Os valores médios de remoção de solos em t/ha^{-1} foram encontrados a partir da fórmula de acordo com Bertoni e Lombardi Neto, (2008) $P = 100 \times h \times d$, onde: p = massa de solo em um hectare, t/ha^{-1} , h = espessura do horizonte em cm, d = densidade do solo, g/cm^{-1} .

Também foram sistematizados os índices pluviométricos dos episódios de chuva no local, interpretadas no conjunto de dados, sendo os volumes pluviométricos indicadores para as etapas de observação e mensuração da erosão no entorno dos pinos.

Foi realizado tratamento dos dados por geoestatística especificamente por Krigagem, que é um método de predição (LANDIM, 1998; HENGL, 2009) visando a interpolação dos dados de cada pino para distribuição espacial do fenômeno da erosão laminar no interior do polígono. A Krigagem vem sendo utilizada para inferir sobre a erodibilidade dos solos, com resultados que contribuem na identificação e localização espacial do fenômeno erosivo (PENACHIO, 2021).

A Krigagem foi desenvolvida através do Plugin Smart-Map, que é um sistema de suporte a decisão para agricultura de precisão que funciona dentro do ambiente digital do software QGis 3.2. Foi utilizado especificamente o módulo interpolação. O resultado foi um mapa de krigagem, apresentando a distribuição da taxa erosiva em cada pixel do raster (produto matricial). Estes dados foram cruzados com as informações ambientais (presentes na ficha de descrição da condição ambiental no entorno do pino), o MDE e as características dos solos.

3.2.3 Características dos solos.

Esta etapa da pesquisa foi realizada a partir de um levantamento pedológico simplificado em um pequeno trecho da vertente, seguindo critérios utilizados por Embrapa (1995), Flores et al. (2007), e IBGE (2007). De posse dos dados planialtimétricos e Modelo Digital de Elevação (MDE), produzidos com curvas de nível em intervalos de 50 cm e imagem de alta resolução gerada por VANT, foi confeccionado mapa com três classes de declividade (uso do Software QGis 3.2) para escolha de dois pontos dentro da área de estudo (delineamento experimental localizado na média vertente), para abertura de trincheira, estudo do perfil de solo e coleta de amostras para análises física e química. Os dois pontos escolhidos seguiram o critério topográfico¹, sendo o primeiro ponto localizado em trechos com maior declividade e o segundo ponto em trechos com menor declividade. Nesta etapa, a imagem VANT também serviu de base para identificação de distintas cores do solo e o trabalho em campo a partir de tradagens para sondagem (por caminhamento), que confirmaram os melhores pontos para abertura de trincheira.

- 1° - Interpretação do MDE de alta resolução com espacialização em três porções com declividades: maiores; médias e menores.
- 2° - Interpretação visual da Imagem VANT e identificação de distintas cores do solo (geralmente associados à declividade).
- 3° Tradagens em campo e confirmação dos locais para abertura de trincheira.

Ocorreu em cada perfil aberto a descrição morfológica dos solos seguindo critérios definido pelo Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2013), com preenchimento da “Ficha de Descrição de Solos” para registro de informações gerais da área, além de anotações quanto às características dos materiais (delimitação dos horizontes, cor, textura, estrutura, consistência e raízes). Também foi realizada coleta de amostras deformadas para análise física contemplada a partir da granulometria (fracionada em areia grossa, areia fina, silte e argila), utilizando o método da pipeta, procedimentos conduzidos de acordo com manual de métodos de análise de solos da EMBRAPA (DONAGEMMA et al., 2011), realizado no laboratório de solos da Embrapa mandioca e fruticultura (Cruz das Almas). Com base nos dados da granulometria foram extraídas informações sobre a textura.

¹ Os principais critérios para escolhas de pontos para abertura de perfis de solo, visando levantamento pedológico, são confeccionados inicialmente a partir das condições fisiográficas geradas pelo clima, vegetação, geologia e relevo (FLORES et al., 2007; IBGE, 2007). Há na área, relativa uniformidade fisiográfica, exceto a declividade topográfica, sendo, neste caso, um importante fator responsável pela variação nas condições pedológicas no local.

As amostras também serviram para análise química, como a quantificação dos teores de Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ Na^+ e H^+ (complexo sortivo) e carbono orgânico, de acordo com manual de métodos de análise de solos da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017). Os dados serviram de base para indicar a Soma de Bases (Valor S), a CTC (Valor T) e a percentagem da Saturação por Bases (V%).

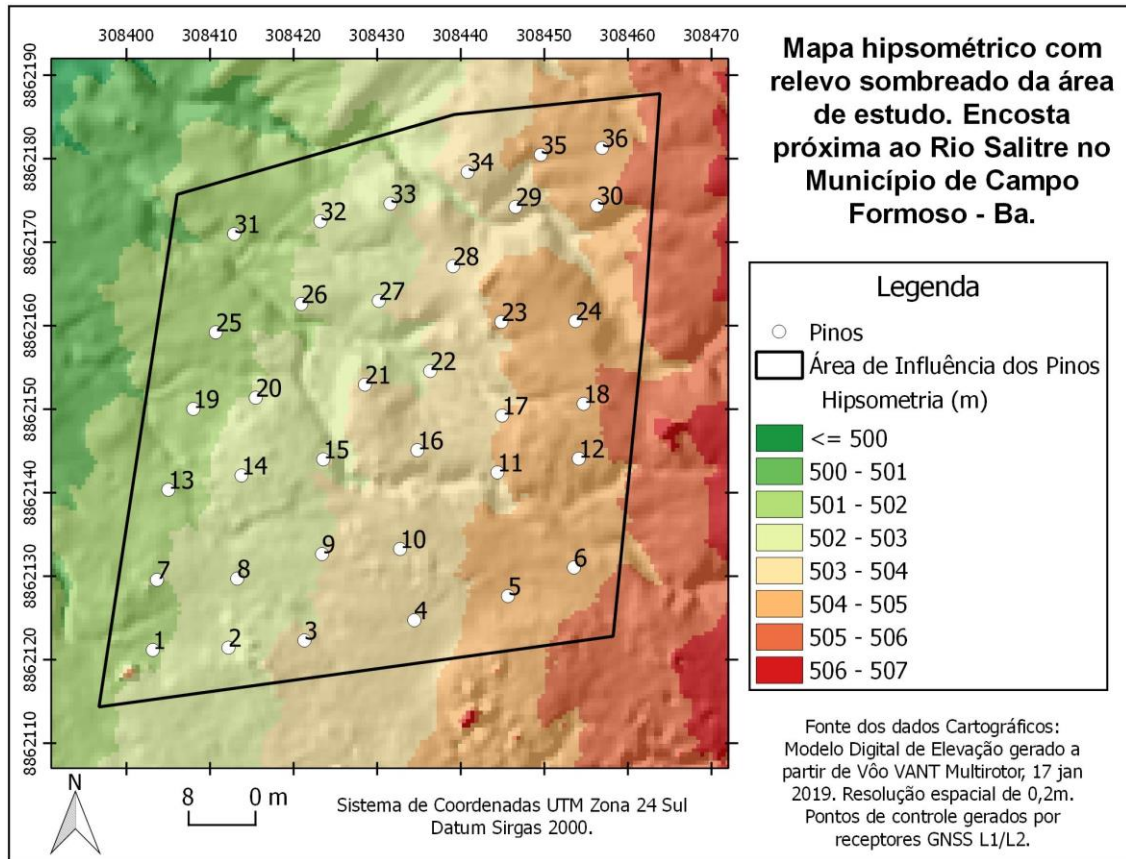
Com os dados morfológicos, físicos e químicos de cada perfil, foi feita minuciosa interpretação, utilizando-se do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2018), foi realizada a identificação dos tipos de horizontes A e tipos de B, com posterior classificação de acordo com a “Chave para a Identificação das Classes de Solos”. As unidades taxonômicas que foram estabelecidas neste trabalho, seguiram conceitos e definições até o 2º nível categórico do SiBCS (SANTOS et al., 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Hipsometria e declividade da área.

O mapa hipsométrico representado na Figura 3 representa um recorte espacial extraído no meio da encosta nas proximidades do rio Salitre em seu médio curso, neste está sendo apresentado o Modelo Digital de Elevação (MDE), com pontos representando os pinos instalados na média vertente. A cor verde-escura representa área de menor altitude, inferiores ou igual a 500 m, enquanto a cor vermelha determina pontos do relevo de maior elevação, chegando esses a 507 m de altitude.

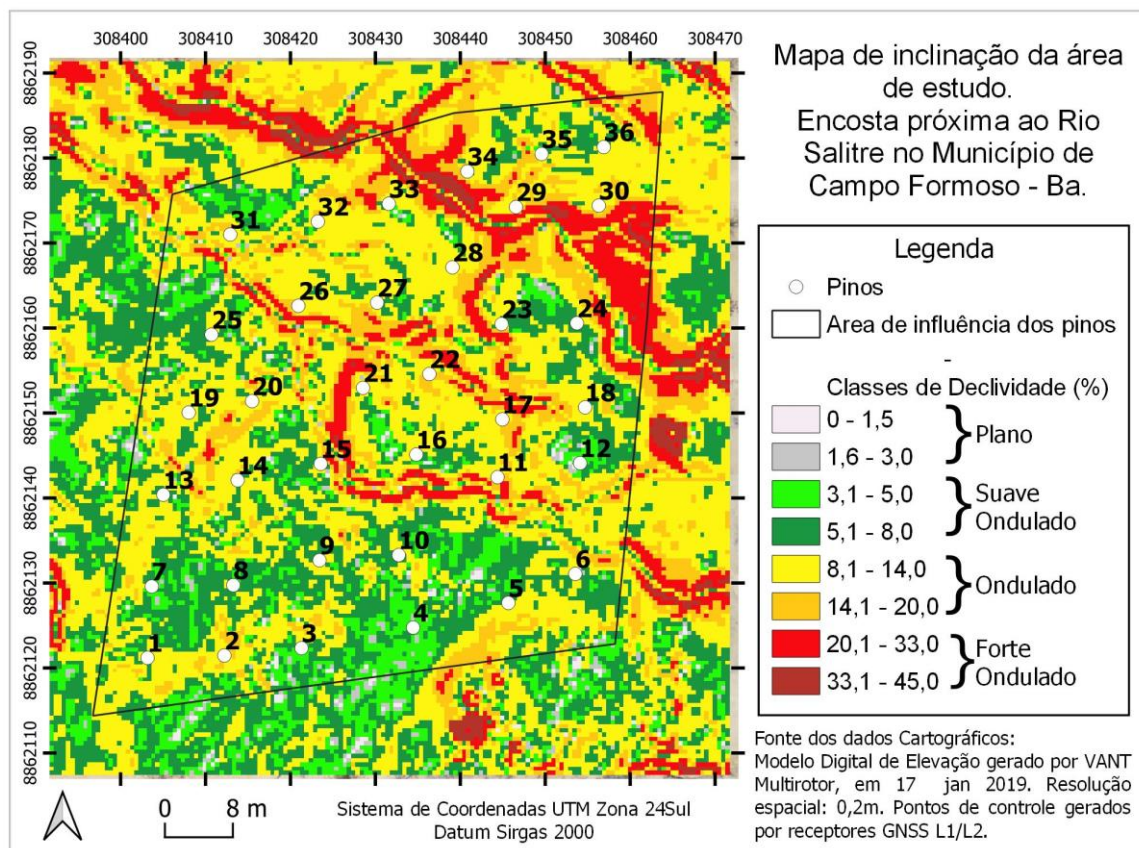
Figura 3 - Mapa hipsométrico com relevo sombreado.



A Figura 3, além de situar o contexto altimétrico dos pinos, indica a amplitude altimétrica da área, que influencia diretamente na energia potencial do escoamento superficial (CREPANNI et al., 2001), fator crucial no desencadeamento do processo erosivo. O mapa também aponta a distribuição espacial da erosão linear (voçorocas e ravinas) com feições posicionadas principalmente na porção central e norte no interior do polígono, projetando uma maior rugosidade no terreno. As ravinas e voçorocas podem influenciar no direcionamento e até mesmo na intensidade da erosão laminar. Apesar da proximidade das bordas, nenhum pino foi posicionado dentro da feição erosiva linear, garantindo medições correspondentes ao processo erosivo laminar.

A declividade do relevo refere-se à inclinação em relação ao horizonte, tendo como referência a unidade de medida expressa em graus ou em porcentagem (VALERIANO, 2008). Quanto maior a declividade do terreno, maiores as chances de ocorrência de erosão laminar, pois o acúmulo de água na superfície do solo forma fluxos (escoamento superficial) que se intensificam com a maior inclinação e carregam todo material vulnerável para as partes mais baixas do relevo. O mapa representado pela Figura 4 mostra a declividade da área em torno dos 36 pinos instalados na média vertente da bacia do rio Salitre.

Figura 4 - Mapa de inclinação ou declividade.



As cores representadas do mapa mostram a dinâmica de inclinação da área, sendo o cinza, cinza escuro (plano), verde, verde escuro (suave ondulado), amarelo, laranja (ondulado), vermelho e marrom (forte ondulado) com classes de declividade que vão de 0 à 45% respectivamente. A diferença altimétrica é responsável pelo aumento da energia potencial, pois quanto mais íngreme for o terreno maior será a energia cinética do sedimento carreado, de acordo com a lei da conservação de energia (CREPANNI et al., 2001).

Uma das características que evidenciam a perda de solo na área estudada é a declividade, que influencia diretamente sobre a rede de drenagem e sobre o movimento e velocidade da água na superfície do solo (ARAUJO et al., 2018). Todos os pinos estão situados em declividades inferiores a 14%, e dentro deste intervalo, os pinos que apresentaram maiores valores erosivos estão acima de 8%, contribuindo na ação do processo de remoção dos solos.

A erosão laminar, portanto, é influenciada pela declividade, podendo evoluir para erosão linear, uma vez acontecendo baixa infiltração ligada a grande volume de chuva em curto período de tempo favorecendo o escoamento superficial, inicialmente em pequenos filetes, e depois enxurradas formando sulcos e ravinas e, em casos mais extremos, constata-se as voçorocas.

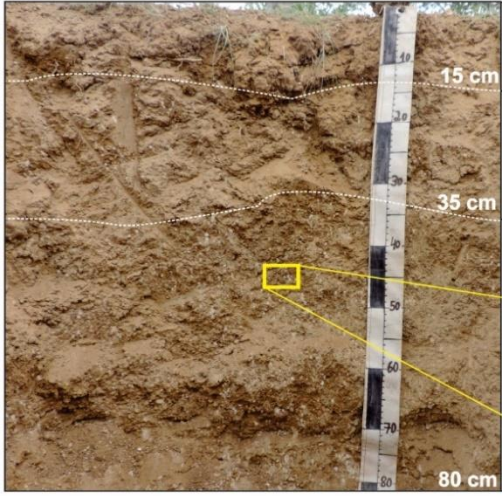

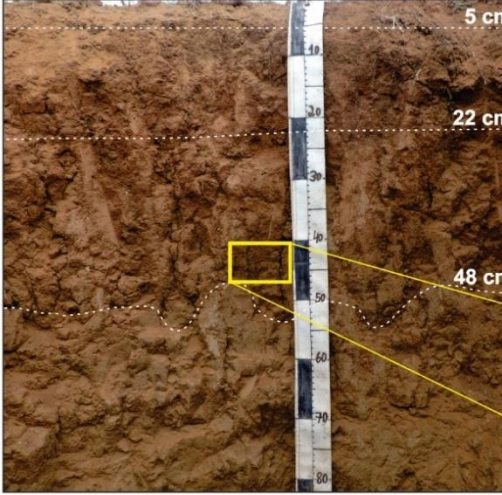

Voçorocas são grandes recortes no solo em sentido vertical e horizontal, consequência do fluxo intenso e direcionado de água de chuva, estando presente em todo o médio curso da bacia do Salitre. Na área experimental observa-se a evolução rápida desse processo de degradação, responsável pela dinâmica de movimentação do solo e por consequência, o redesenho da morfologia e declividade da superfície no local.

4.2 Características dos solos

Sabendo que os solos são determinantes nos processos erosivos, é imprescindível informações sobre algumas de suas principais características. Após verificação por tradagem na área, assim como, interpretação de imagem ortorretificada e MDE gerados pelo VANT, foi apontado a necessidade de abertura e estudo de dois perfis de solo denominados P1 (Perfil 1) e P2 (Perfil 2). Estes foram classificados, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2018) como: Neossolo Regolítico (P1), localizado próximo ao pino 30, correspondendo as condições morfológicas do manto de alteração em toda porção leste da área, em maiores altimetrias dentro do polígono de estudo; e o segundo perfil um Cambissolo Háptico (P2), localizado próximo ao pino 8, correspondente às condições da cobertura pedológica de toda a área central e oeste, posicionados nas menores altimetrias.

Do ponto de vista morfológico, os dois perfis possuem algumas características semelhantes, como a cor, variando entre o amarelo avermelhado e bruno, com cores mais claras no P1; estrutura predominantemente moderada subangular nos dois perfis; consistência predominantemente dura com solo seco e friável a muito friável após umidecimento, e muito pegajosa com o solo saturado (Figura 5). A diferença marcante entre os perfis, é o fato do P1 está altamente degradado, com horizonte A decapeado pelo processo erosivo, e o horizonte C superficial muito pedregoso, além de possuir um horizonte C3 com alta quantidade de nódulos carbonáticos, confirmados após efervescência forte com gotas de HCl 10%, de acordo com Santos et al. (2013). O P2 possui *Solum* (horizontes A e B) moderadamente pedregoso e maior teor de terra fina, além de serem mais cromados, constituindo uma cobertura pedológica com maior grau de intemperismo e desenvolvimento pedogenético (Cambissolos Hápticos).

Figura 5 - Perfis de solo estudados na área.

P1 - Neossolo Regolítico		Cor Amostra Seca	Estrutura Desenv./Tipo	Consistência seca/úmida/molhada
	C1	7,5 YR 7/6 Amarelo-avermelhado	Moderada/ subangular	Dura / muito friável/ muito pegajosa
	C2	7,5 YR 7/6 Amarelo-avermelhado	Moderada/ subangular	Dura / friável / muito pegajosa
	C3	7,5 YR 6/4 Bruno Claro	Moderada/ Subangular	Dura / firme / muito pegajosa
 Nódulos Carbonáceos				
P2 - Cambissolo Háplico		Cor Amostra Seca	Estrutura Desenv./Tipo	Consistência seca/úmida/molhada
	A	7,5 YR 6/8 Amarelo-avermelhado	Fraca / subangular	Ligeiramente dura/ muito friável/ muito pegajosa
	B1	7,5 YR 6/8 Amarelo-avermelhado	Moderada / subangular	Dura / friável / muito pegajosa
	B2	5 YR 5/8 Vermelho- amarelado	Moderada/ subangular	Dura / friável / muito pegajosa
	C1	7,5 YR 5/4 Bruno	Forte / subangular	Muito dura / firme / muito pegajosa
 Fendilhamento				

O horizonte C do Cambissolo Háplico (P2) é significativamente semelhante aos horizontes C1 e C2 do Neossolo Regolítico (P1), que pelo contexto observado em campo (declividade, semelhança morfológica, material de origem e proximidade) nos permite apontar que os neossolos do local podem ser resultados de intensa erosão sobre os Cambissolo.

Em relação à granulometria dos solos, a Tabela 1 aponta para textura francoargilosa a francosiltosa no P1, com predomínio de silte sobre argila em todos os horizontes analisados, confirmando o baixo desenvolvimento pedogenético. Este dado expressa para solos com alta vulnerabilidade à erosão, visto que o alto teor de silte aumenta a dispersão dos agregados e amplia sua friabilidade, facilitando o destacamento e a remoção das partículas. O perfil 2 apresenta textura francoargilosa, com predomínio da argila sobre o silte, exceto no horizonte

C1, confirmando o maior desenvolvimento genético do perfil e sua maior estabilidade estrutural em relação ao P1. Uma particularidade das argilas no solum do P2 é, possivelmente, o alto teor de argilas 2:1 (expansivas), apontadas devido ao alto fendilhamento das estruturas do solo, expressando características vérticas, de acordo com Santos et al. (2018) e Santos et al. (2013), geradas pela presença de argilas expansivas.

Tabela 1 – Análise Granulométrica

Horizonte		Composição Granulométrica – Terra Fina					Textura
Simb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	
-----cm-----		----- g kg ⁻¹ -----					
Neossolo Regolítico							
P1C1	00-15	251	129	380	321	299	Francoargilosa
P1C2	15-35	265	112	377	379	244	Franca
P1C3	35-80 ⁺	150	107	257	523	220	Francoargilosa
Cambissolo Háplico							
P2A	00-05	230	155	385	252	363	Francoargilosa
P2B1	05-22	237	134	371	260	369	Francoargilosa
P2B2	22-48	252	131	383	277	340	Francoargilosa
P2C1	48-85 ⁺	137	184	321	384	295	Francoargilosa

É válido frisar que o alto fendilhamento das estruturas também torna o material pedológico vulnerável a quebra, destacamento e perda por erosão hídrica.

Do ponto de vista químico, as amostras de solos, de acordo com a Tabela 2, apresentaram alto pH, entre 7,7 e 8,0 situados na classe de reação moderadamente alcalinos, e acima de 8,1 até 8,8 nos horizontes superficiais, considerados fortemente alcalinos, de acordo Santos et al. (2018). O pH elevado pode prejudicar a capacidade produtiva do solo, a partir da redução na absorção de alguns íons pelas plantas, com o aparecimento de deficiências na disponibilidade do enxofre, fósforo e de alguns micronutrientes (MOREIRA et al., 2000).

Tabela 2 – Análise Química

Hor.	pH	Complexo Sortivo								V%	P	MO	CO
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	T				
		----- cmol _c / dm ³ -----								%	mg kg ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----	
Neossolo Regolítico													
P1C1	8,7	22,3	3,1	0,07	0,24	25,71	0	0,65	26,4	97,5	3	12,6	7,2
P1C2	8,1	20,2	3,6	0,07	0,34	24,21	0	0,34	24,6	98,6	3	12,6	7,2
P1C3	7,9	16,3	3,0	0,09	0,35	19,74	0	0,50	20,2	97,5	3	11,8	6,8
Cambissolo Háplico													
P2A	8,8	23,4	3,3	0,17	0,21	27,08	0	0,56	27,6	98,0	14	13,6	7,8
P2B1	7,8	20,2	4,5	0,10	0,32	25,12	0	0,46	25,6	98,2	6	13,1	7,5
P2B2	7,7	17,3	3,3	0,08	0,32	21,00	0	0,60	21,6	97,2	4	13,0	7,4
P2C1	7,8	22,4	2,1	0,07	0,38	24,95	0	0,46	25,4	98,2	4	11,6	6,7

Hor = Horizontes; T = Valor T ou CTC potencial; V% = Saturação por Bases; SB = Soma de Bases; MO = Matéria orgânica; CO = Carbono Orgânico

Os perfis apresentam alta Soma de Bases (SB), com saturação (V%) acima de 97%, demonstrado pequena influência dos teores de H^+ e Al^{3+} , e CTC elevada variando entre 20,2 e 27,6.

Na análise do complexo sortivo há a significativa dominância dos íons de cálcio na CTC, com concentrações acima de 79% em todas as amostras (saturação por cálcio), condizentes, de acordo com RIOS (2021), com o contexto carbonático do material de origem no local. O referido autor encontrou Neossolos Litólicos Carbonáticos e Cambissolos Háplicos Carbonáticos embasados por calcretes pulverulentos, nas médias vertentes nas proximidades do rio Salitre na comunidade de Taboa, situado a menos de 5 km da área estudada neste trabalho.

O excesso de cálcio pode trazer problemas na absorção de alguns micronutrientes do solo pelas plantas, além de estimular a precipitação de fósforo em decorrência da reação com o íon Ca^{2+} , comprometendo sua disponibilidade para as plantas (SAMPLE et al., 1980; RIOS, 2021). Esta condição química (alta saturação por cálcio e alto pH) pode reduzir a capacidade produtiva do solo, mesmo possuindo alta saturação por bases e elevado CTC, e por sua vez, pode comprometer a capacidade de regeneração da cobertura vegetal, ampliando a vulnerabilidade à exposição dos solos aos processos de degradação.

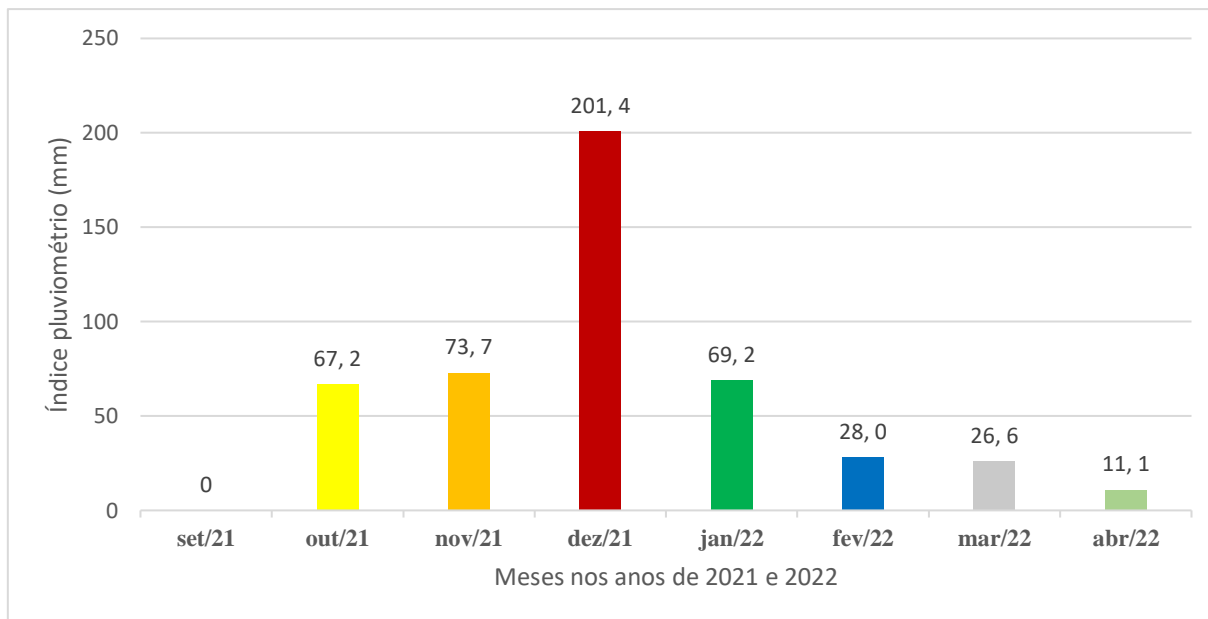
Outra informação relevante apresentada na Tabela 2 é o teor de material orgânico, abaixo de 1,26% no P1 e abaixo de 1,36% no P2, valores baixos, de acordo com GIONGO et al. (2011), mesmo considerando solos de áreas semiáridas. Estes valores reduzidos de matéria orgânica e o fato de os horizontes superficiais terem valores próximos dos subsuperficiais indicam, de fato, que houve erosão na porção superficial do perfil, apontado para áreas degradadas com solos expostos ou baixa cobertura vegetal. Neste sentido, os solos estão em condições de alta fragilidade ao processo erosivo.

Para Volk e Cogo (2008) a suscetibilidade do solo à erosão é resultante da interação entre fatores biológicos, químicos, físicos e mineralógicos do solo, sendo o teor de matéria orgânica, estrutura e a permeabilidade do solo, os atributos que mais se relacionam com sua erodibilidade intrínseca.

4.3 Índices de chuva no local

A Figura 6 apresenta gráfico com a distribuição mensal e acumulado de precipitação dos meses de setembro de 2021 a abril de 2022, tempo correspondente ao monitoramento da erosão nos pinos.

Figura 6 - Gráfico apresentando distribuição das chuvas (mm) na área de estudo, no intervalo de 8 meses.



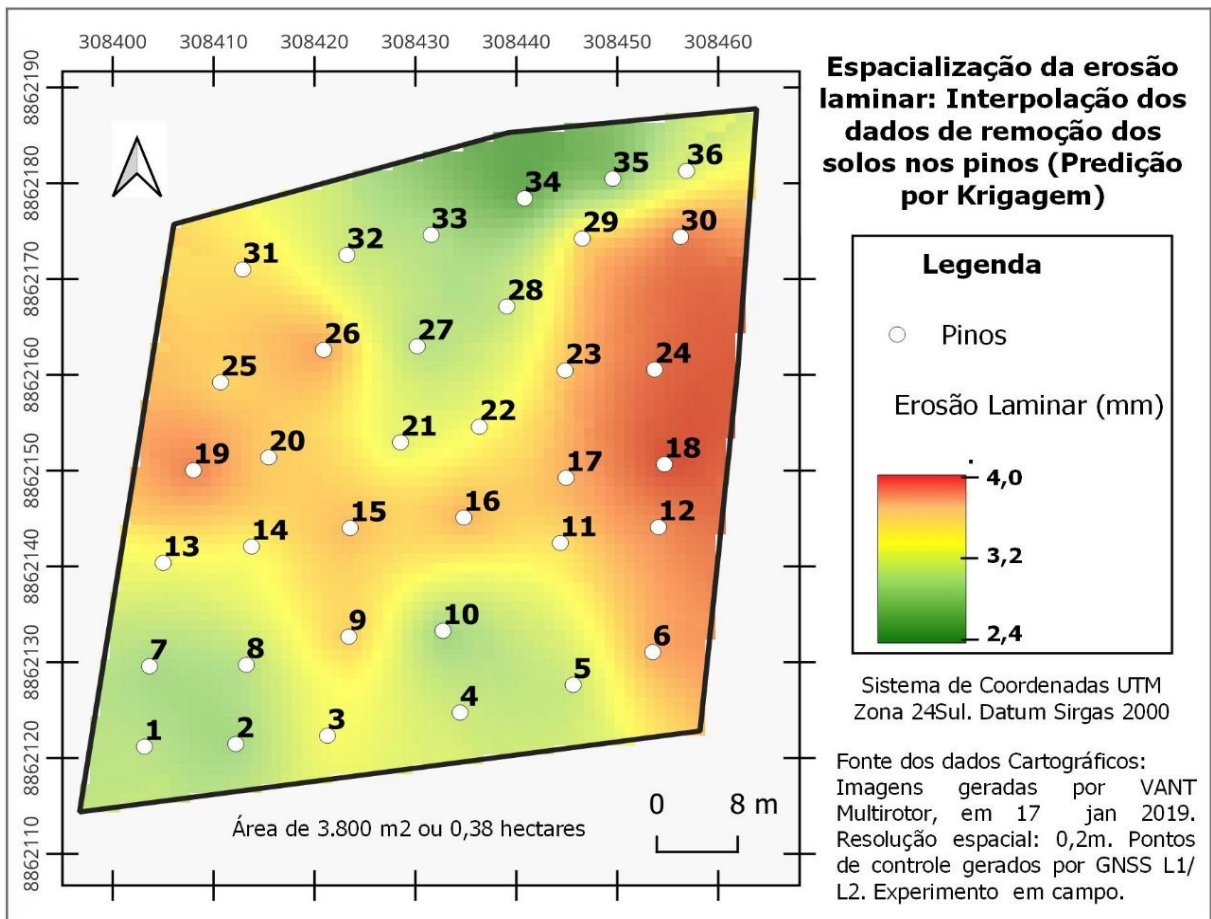
O acumulado de chuvas registrado na unidade experimental foi de 477,2 mm. Diante da série histórica da região do médio Salitre foi verificado que esse valor ficou acima do índice anual médio, que é de 429 mm (RIOS, 2021). Em trabalho realizado pelo citado autor, é apontado que a bacia do Salitre possui significativa variedade pluviométrica anual, com oscilações de precipitações bem acima da média (880 mm em 1988), enquanto em outros anos, as precipitações registradas caracterizam-se abaixo da média ou com estiagem severa (94 mm em 2015). As características peculiares das precipitações na bacia do Salitre, sobretudo no médio curso, definem o período dos meses de maio, junho, julho e agosto, críticos onde não é registrado ou pouco se registra precipitação. Em dados apresentados por Rios (2021), analisando registros entre 2010 e 2019 na Estação Pluviométrica Junco (localizada no baixo Salitre – há aproximadamente 70 km da localidade de Lagoa Branca), aponta que os citados meses apenas representam 6,2% das chuvas anuais. O fato é que mais de 90% das chuvas ocorrem no período de monitoramento da erosão laminar apresentado neste trabalho.

As primeiras chuvas após a instalação dos pinos em campo ocorreram em meados do mês de outubro, onde somente em um dia a precipitação acumulada foi de 67,2 mm. No mês de novembro observou-se 73,7 mm. O destaque para a série de chuvas acumuladas no período foi constatado no mês de dezembro de 2021 com volume de 201,4 mm. Nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril houve baixa nos níveis de precipitação, comparando-se com o mês de dezembro, com valores de 69,2; 28,0; 26,6 e 11,1 mm respectivamente.

4.4 Espacialização da erosão linear em um trecho de vertente no médio curso do Salitre.

Visando estabelecer uma predição espacial em toda a área, foi realizada uma krigagem com os dados dos pinos, projetando um mapa contendo a distribuição da remoção superficial do solo, apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Mapa da distribuição (interpolação) da erosão na área estudada.



Na confecção do mapa de krigagem o modelo do variograma que apresentou melhor resultado foi o esférico, o desempenho do modelo foi analisado por meio de validação cruzada e do cálculo da magnitude dos erros através do RMSE (erro médio quadrático) com valor de 0,692.

O mapa da Figura 7 mostra a variação de perda de solo representado pelas cores verde, amarelo e vermelho. A cor verde mostra a baixa variação de perda de solo em área de influência dos pinos 1, 7, 10, 33, 34 e 35 com valores aproximados de 2,4 mm, sendo que tal afirmação é

explicada pela localização dos pinos em área de maior cobertura vegetal ou locais com menor inclinação. A cor amarela indica a faixa de transição de locais de menores e maiores perdas de solo, sendo essa responsável por perda de solo aproximado de 3,2 mm. Contudo, o mapa de krigagem traz destaque para a cor vermelha, área onde os pinos 18, 19, 24 e 30 estão instalados, sendo os três últimos, localizados em maior declividade de acordo com o mapa de inclinação representado na Figura 4. Nesta área, a perda de solo alcançou valores aproximados de 4,0 mm, que pode ser explicado pela influência de declividade, rugosidade do terreno (microrrelevo), obstáculos (raízes e tufos de vegetação) e proximidade de voçorocas.

Microrrelevos ou microtopografia são pequenas ondulações dispostas no relevo, constituindo rugosidades na superfície do solo, com variações milimétricas ou centimétricas na superfície do solo (VAZQUEZ et. al. 2010), contribuindo para a concentração inicial do fluxo superficial de água, provocando, de acordo com Bigarella (2003) a formação de inúmeros filetes líquidos capazes de aumentar a remoção de partículas de solo. Neste sentido as micro depressões (forma côncava) atuam atraído maior fluxo de água, atuando significativamente para elevar os valores de erosão nestes trechos, visto que os pinos com os maiores valores possuem micro depressão no entorno. Estas microformas estão dispostas aleatoriamente na média vertente da bacia do Salitre.

A formação de voçorocas ocorre pelo escoamento superficial e subsuperficial, além do aprofundamento de ravinas, possuem paredes íngremes, fundo irregular, com fluxo de água em seu interior (ROSSATO, 2003). Para o referido autor, as voçorocas ao aprofundarem seus canais, atingem o lençol freático e aceleram a incisão no solo, intensificando a instabilidade na paisagem como um todo. A ação das voçorocas gera pré-disposição de bordas e aceleram o escoamento em lençol no terreno sobre sua influência.

Neste sentido é pertinente apontar que a erosão linear influência diretamente na direção e na intensidade da erosão laminar, uma vez que as porções do terreno com a maior perda de solo por erosão linear estão nas proximidades das feições lineares.

Os resquícios de pouca vegetação (tufos), presentes na Figura 8 são responsáveis pela redução da perda de solo em alguns pinos, essa por sua vez exerce a função de sustentação seja pelo sistema radicular, seja pelo material vegetal como caule, copa das árvores e matéria orgânica. Diante da barreira física promovido por esses materiais, energia cinética das gotas da chuva bem como a capacidade de desagregação do escoamento superficial é diminuído, favorecendo assim a preservação do solo desses pontos específicos.

Figura 8 - Foto apresentando paisagem da área de estudo, destacando vegetação esparsa e muito solo exposto.



A declividade assim como os fatores mencionados influenciam na perda de solo, estando associada as taxas de infiltração e escoamento superficial. O comprimento de rampa não é menos importante, à medida que o caminho percorrido pela água vai aumentando as mesmas vão se avolumando e aumentando conseqüentemente a velocidade do escoamento (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008).

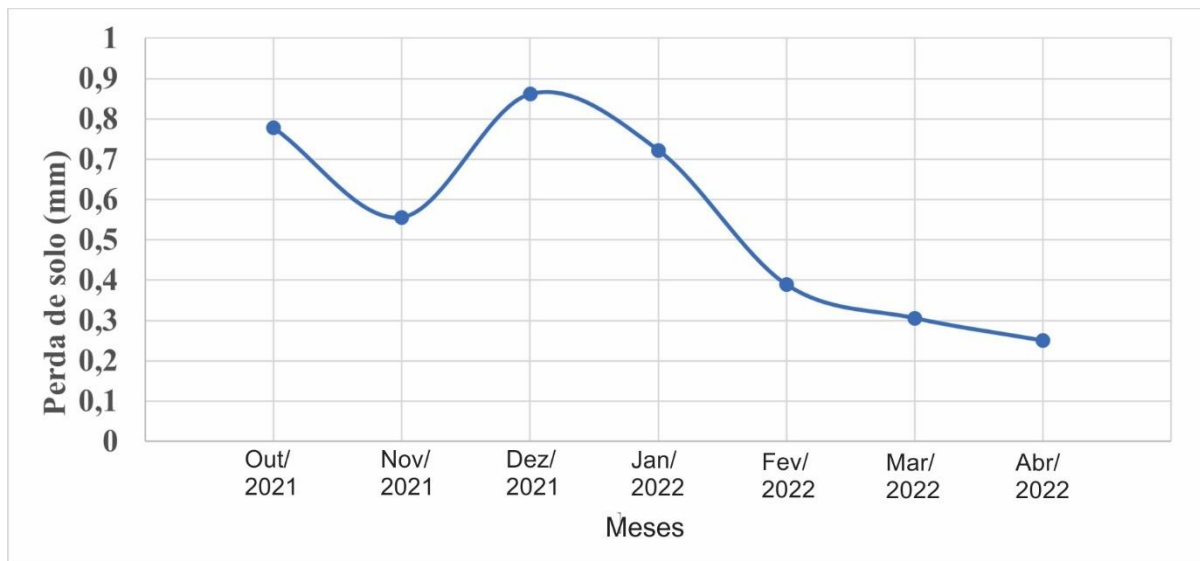
Para Jesus (2021), que realizou estudo na mesma área, a alta perda de solo e processos avançados de degradação caracteriza-se como preocupante, sendo entendido pelo baixo teor de matéria orgânica, pouca cobertura vegetal, encostas com relevante declividade, chuvas concentradas e de alta intensidade e solos com deficiente capacidade de infiltração.

4.5 Perda de solo por erosão laminar

Observou-se que durante os meses de outubro de 2021 a abril de 2022 houve considerável precipitação com acumulado de 477,2 mm verificado em um pluviômetro instalado na área experimental. Tais valores corroboram para o entendimento da perda de solo constatada, quando acontece a precipitação e o solo encontra-se desprotegido ou com pouca cobertura vegetal. Essa precipitação assume lugar de destaque pois contribui de forma determinante no arraste de partículas. A Figura 9 mostra a média de perda de solo verificada, sendo que no eixo

X está representado o período e a quantidade de mensurações realizadas no trecho da vertente, enquanto no eixo Y mostra a média de perda de solo nos pontos no entorno dos 36 pinos.

Figura 9 - Remoção de solo (mm) no período analisado.



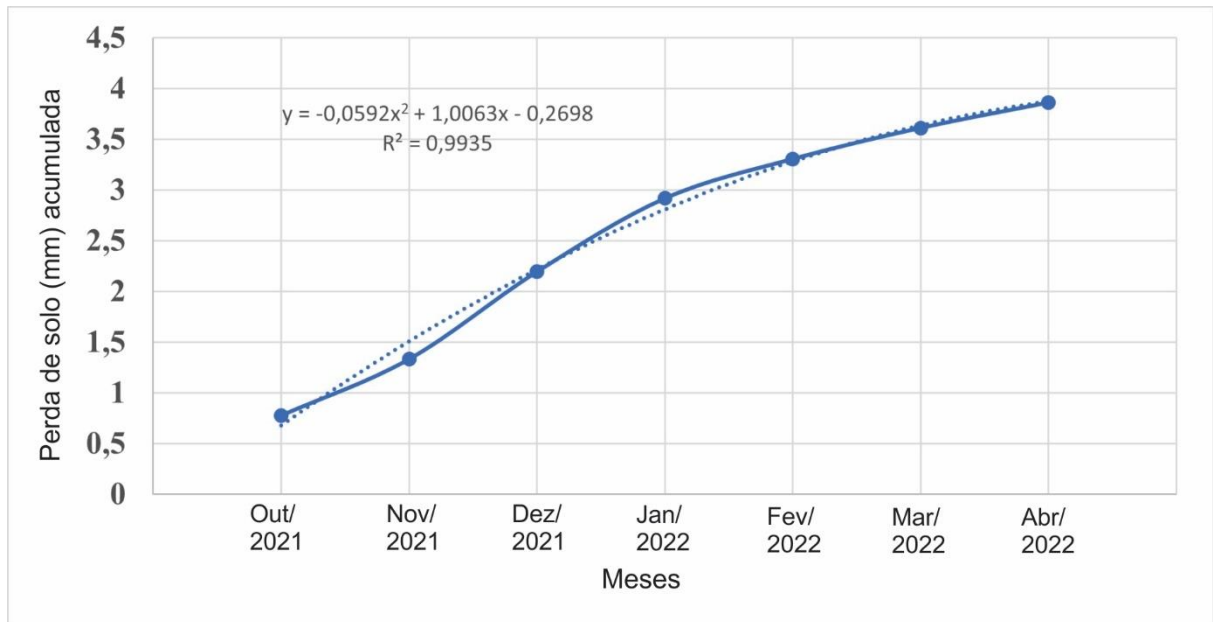
Outubro, correspondente ao primeiro mês de coleta de dados (acumulado entre setembro e outubro), exemplifica a média de perda de solo aproximado de 0,8 mm dos 36 pinos (324 pontos), o valor elevado de perda de solo coincide com o início do período chuvoso na região (ver Figura 6). Os processos de desequilíbrio ambiental, sobretudo em regiões semiáridas relacionam-se a suscetibilidade do ecossistema aos efeitos das “secas” anuais. Após vários meses de estiagem e altas temperaturas, solo seco, pouca cobertura vegetal, o retorno das precipitações com relativa torrencialidade desencadeiam erosão laminar por encontrar o solo nu, com pouca matéria orgânica disposta na camada superficial, facilitando a desagregação e o carreamento de partículas pela ação do escoamento superficial.

O mês de novembro houve nível menor de perda de solo com valor inferior a 0,6 mm, mesmo sendo registrado pluviosidade pouco maior (73 mm) neste mesmo período (Figuras 6 e 7). Este fato revela a importância da umidade antecedente nos solos e a mínima cobertura vegetal presente após o retorno das chuvas. Contudo, observou-se que houve significativa perda de solo na área no mês de dezembro com 0,9 mm, visto que a precipitação verificada no período ficou acima de 200 mm, deixando claro a estreita relação entre o desprendimento e arraste de partículas e o alto volume de chuvas. Certamente houve a contribuição da intensidade das chuvas, mas este fenômeno não foi analisado na presente pesquisa. Em janeiro houve perda de pouco mais de 0,7 mm, e em fevereiro, março e abril ocorreram quedas graduais nos níveis de perda de solo, fato atribuído a diminuição das precipitações e fim do período chuvoso no médio

curso da bacia do rio Salitre.

A Figura 10 apresenta a perda de solo acumulada no período de sete meses na unidade experimental instalada. Vale salientar que os valores de perda de solo acumulados seguem modelo estatístico pré-determinado e média dos 36 pinos acompanhados em campo, tais valores nos auxiliam a entender a problemática de degradação existente.

Figura 10 - Perda de solo acumulada.



Os números apresentados estão organizados da seguinte forma; no eixo x a quantidade de mensurações realizadas e os meses correspondentes, e no eixo y a perda de solo (mm) acumulada. Com isso é constatado o rebaixamento do solo em torno dos pinos, partindo de valores superiores a 0,5 mm verificado no primeiro mês de mensuração assim como nos meses que sucederam às análises, estabelecendo-se aumento significativo e gradativo, ultrapassando 3,5 mm no sétimo mês.

O valor de perda de solo registrado foi de 3,7 mm nos sete meses monitorados, correspondentes ao único período chuvoso na área, sendo possível, neste contexto climático, projetar o referido valor para a condição anual de erosão laminar no local.

Considerando a metodologia utilizada por Bertoni e Lombardi Neto (2008) foi possível transformar o referido valor em tonelada por hectare, para isso foi necessário, além de considerar o valor de 0,37 cm de perda de solo (espessura da erosão), medir a densidade do solo nos primeiros 20 cm, nos dois perfis de solo estudados, obtendo-se (uma média entre P1 e P2) o valor de 1,33 g/cm³. Com os referidos valores, foi estabelecido uma perda de solo de

49,21 t/ha⁻¹. Esse resultado encontrado caracteriza-se como altíssimo, pois o limite de tolerância para solos pouco desenvolvidos e rasos, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008) é de 16,5 t/ha⁻¹.

Em trabalho sobre erosão laminar no semiárido brasileiro, Lopes et al. (2011), em uma microbacia localizada no Estado do Ceará, constataram perda de solo 11 t/ha⁻¹ em 74% da microbacia estudada, estando esse abaixo do valor encontrado no presente trabalho.

Ampliando o valor da erosão laminar encontrado na área de estudo, numa perspectiva de previsão para 10 anos, pode-se observar uma perda de solo gigantesca de 492 t/ha⁻¹. Tal constatação se torna mais assustadora, pois os solos dessa região são rasos e encontram-se em processo de desertificação. Em ensaio realizado por Albuquerque (2001), chegou ao valor de 58,5 t/ha⁻¹ ou (585 t em dez anos), muito próximo do resultado apresentado neste trabalho, entretanto o trabalho foi desenvolvido em Luvisolos com área desmatada no semiárido paraibano, e o trabalho aqui apresentado foi desenvolvido sob Neossolo e Cambissolo em área sob processo elevado de degradação.

Vale salientar que a velocidade do rebaixamento constatada na área experimental é um alerta crítico pois evidencia o agravamento da degradação presente em toda a bacia do rio Salitre, com alta perda de solo. Este alerta se válida a partir do entendimento que as características morfogenéticas, morfométricas, geológicas, pedológicas, climáticas, vegetativas e de uso e ocupação são similares entre o trecho em desertificação e o recorte de vertente estudada.

Para Oliveira e Selva (2019) as áreas com maior vulnerabilidade a erosão são locais que podem estar sofrendo com a desertificação, evidenciando que o uso e ocupação do solo de forma desordenada eleva o risco à intensificação da erosão, promovendo impactos ambientais e econômicos de diferentes magnitudes, de difícil compreensão e resolutividade.

A partir dos resultados encontrados em campo foi possível identificar a perda de solo por erosão laminar em um trecho na média vertente em uma área em processo de desertificação no médio curso da bacia do rio Salitre. Tal constatação pode ser explicada por distintas variantes, como as condições físicas do solo, estando localizado em áreas de rochas carbonáticas (calcretes) da formação caatinga, com pH acima de 8, baixo teor de carbono orgânico, com perfis rasos, granulometria predominantemente siltosa, com consistência friável, apontando para solos bastante vulneráveis aos processos erosivos, às condições específicas de temperatura e pluviosidade, e ações antrópicas inerentes as atividades econômicas desenvolvidas no local. Acrescenta-se o fato da área está em uma declividade igual ou superior a 6%, suficiente para

gerar fluxo de água superficial capaz de alimentar o processo erosivo laminar.

Com o aumento da população local, áreas destinadas à agricultura cresceram, entre as culturas implantadas na região destaca-se o agave (sisal). O plantio do agave assim como a maioria dos cultivos convencionais, demanda de limpeza (desmatamento e queimadas) da vegetação nativa. Há eminente interação entre fatores humanos e condicionantes naturais no processo de deterioração na bacia do Salitre, sobretudo com ampliação no uso das terras pelas atividades agropecuárias e aumento populacional ocorrido nas últimas décadas.

A vegetação estabelece uma camada protetora ao solo, componentes como caules e folhas, absorvem parte da energia das gotas de chuva, diminuindo as forças que atuam diretamente sobre o solo e de maneira similar os componentes do sistema radicular contribuem para o aumento da resistência mecânica à erosão (MORGAN, 2005).

Para Angulo et al., (2012) e Couto (2020), a ação erosiva pode estar relacionada a energia cinética, diretamente associada com a intensidade da chuva, capaz de provocar o chamado efeito *splash* ou salpicamento, gerado pelo impacto direto da gota de chuva no solo desprotegido, este mecanismo é responsável pelo desprendimento e transporte das partículas do solo e o início da erosão hídrica laminar.

A remoção da vegetação associada à elevada sazonalidade das chuvas, características dessa região, promove condições favoráveis para aumento do escoamento superficial (RODRIGUES, 2000; LEITE et al. 2019). O desmatamento da caatinga e exposição dos solos constituem importantes indicadores de degradação ambiental, sendo um dos condicionantes na intensificação da desertificação nas terras da bacia do rio Salitre. O manejo inadequado de recursos vegetais contribui para o avanço do processo de deterioração, fatores como déficit hídrico, elevadas temperaturas e sistemas agropecuários extrativistas potencializam essa degradação (REBOUÇAS et al., 2002).

Há eminente interação entre fatores humanos e condicionantes naturais no processo de deterioração na bacia do Salitre, sobretudo com ampliação no uso das terras pelas atividades agropecuárias e aumento populacional ocorrido nas últimas décadas, esses fatos entre outros tem levado a autores como Santos (2016); Silva et al (2020); Rios et al (2020); Jesus (2021); Rios (2021), a classificarem essa região em processo de desertificação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A erosão laminar encontrada no médio curso da bacia do rio Salitre em um período de sete meses aponta o elevado grau de degradação em curso. A precipitação pluviométrica acumulada na área experimental ajuda-nos a compreender a estreita relação das chuvas na dinâmica da perda de solo no local, indicando que o mês mais chuvoso correspondeu ao intervalo de tempo com as maiores perdas de solo. O valor de perda de solo registrado nos sete meses (período de chuvas no local) foi de 37 mm, sendo, portanto, uma quantidade alta e preocupante.

A alta vulnerabilidade dos solos da área estudada na bacia do Salitre estão relacionadas também aos problemas de ordem física e química, apontados nas análises partir da constatação do excesso de íons de cálcio, PH elevado, baixo teor de matéria orgânica, alto percentual de silte e alto fendilhamento das estruturas, por exemplo, corroboram para a significativa fragilidade dos solos ao processo erosivo e para a redução na absorção nutrientes essenciais (por parte das plantas) para a recuperação da cobertura vegetal e reestabelecimento da flora.

Mediante as características citadas e do elevado grau de erosão, leva-nos a confirmação da existência de um acentuado estágio de degradação das terras no médio Salitre, apontados em outros estudos no local, como um processo de desertificação em curso. Essa definição condiciona a sociedade de Campo Formoso a repensar as práticas até aqui desenvolvidas, visto que, essa categoria de degradação tende a ampliar-se no território caso não haja mudança urgente.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I; MAIA, S. M. F, OLIVEIRA, T. S; MENDONÇA, E. S; FILHO, J. A. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. *Revista Ciência Agronômica*. Fortaleza, CE. v.37, n.3, p.270-278, 2006.
- ALBUQUERQUE X, R. Processos geomorfológicos e evolução da paisagem no semiárido brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 7, n. 1, p. 59-69, 2001.
- ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MELO, R. F. Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro. In: ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MENESES, E. A.; PELEGRINO, G. Q. (Eds.). *Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro*. Petrolina-PE: EMBRAPA, 2009. p. 41-49.
- ANGULO, M., BERGUERIA, S., NAVAS, A., MACHÍN, J. Splash erosion under natural rainfall on three soil types in NE Spain. *Geomorphology*, n. 175, p. 38 – 44, 2012.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J.G.B. Estimativa do fator erodibilidade (K) das associações de solos do estado do Piauí descritas em Jacomine. *Revista Geotemas*, v.7, n.1, p.26-36, 2017.
- ARAÚJO, I. N. F; MELO, J. F. G; MARINHO, A. P. F; SILVA, R. D; RIBEIRO, A. C. S; CUNHA, G. K. G; CUNHA, K. P. V. Influência da declividade na erosão e degradação ambiental do médio piranhas potiguar. *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – Vol. 6: Congestas 2018*.
- ARAUJO, T. S.; GALLO, A. S.; ARAUJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n.2, p. 347-357, 2012.
- BAHIA, GOVERNO DO ESTADO. Plano estadual de recursos hídricos do estado da Bahia: diagnóstico e regionalização. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos, 2003. 157 p. Relatório.
- BALDOTTO, M. A; VIEIRA, E. M; SOUZA, D. O; BORGES, L. E. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 62, n.3, 301-309 p, mai-jun, 2015.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1993, 352p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 5ª edição, São Paulo — SP. Editora Ícone, 355 p. 2008.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; HERMANN, M. L. P.; SANTOS, G. F.; MENDONÇA, M.; SALAMUNI, E.; SUGUIO, K. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. UFSC, 2003. v. 3. p. 877-1436.
- CAMPO FORMOSO, Associação comercial industrial e agropecuária de. ACIACF. *Cultura do sisal*. 2019.
- CENTRO NORDESTINO DE INFORMAÇÕES SOBRE PLANTAS - CNIP. *Pesquisa Botânica Nordestina: progresso e perspectivas*. 253-415, Sociedade Botânica do Brasil/Seleção Regional de Pernambuco, Recife, 2022.

CHAPLOT, V.; LE BROZEC, E. C.; SILVERA, N.; VALENTIN, C. Spatial and temporal assessment of linear erosion in catchments under sloping lands of northern Laos. *Catena*, v. 63, n. 2-3, p. 167-184, 2005.

COUTO, B. O. C. Estudo da erodibilidade em horizontes de taludes de corte rodoviário por meio de procedimentos de laboratório e de campo. 254 f. geotecnia. tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto-MG. 2020.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: Inpe, 124 p. 2001.

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C.W. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, v. 51, p. 326–344, 2013.

DESCROIX, L.; BARRIOS, J. G., VIRAMONTES, D.; POULENARD, J.; ANAYA, E.; ESTEVES, M.; ESTRADA, J. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. *Catena*, v. 72, n. 3, p. 325-339, 2008.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. M. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p. 2011.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.21, n.4, p.677-685, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: EMBRAPA Serviço de Produção de Informação, 116 p. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Registro de observações meteorológicas – dados históricos da estação Salitre. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido. 2020.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Washington, DC, 1999. 869 p. (USDA. Agriculture handbook, 436).

FLORES, C. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; HASENACK, H.; WEBER, E. Levantamento semi detalhado de solos: região da Campanha – Folha de Palmas – RS. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 95 p. 2007.

FRANCISCO, A. B. O processo de voçorocamento no perímetro urbano de Rancharia – SP: sua dinâmica e as propostas de recuperação. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

FREITAS, F. J.; CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entre sulcos sob caatinga e culturas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1743-1751, 2008.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GAVA, C. A. T. Carbono no sistema solo-planta no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n. 6, p. 1233-1253, 2011.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 5ª ed.- Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 472p. 2003.

HENGL, T. *A practical guide to geostatistical mapping*. 2 ed. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2010. Área territorial do Município de Campo Formoso-Bahia. Censo 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2020. Produção agrícola do Município de Campo Formoso.: lavoura temporária permanente. Censo 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Manual técnico de pedologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 92 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - INEMA. Comitês de Bacias Hidrográficas-CBH Salitre. 2020.

JESUS, D. S. Erosão em uma microbacia em desertificação no médio curso do Rio Salitre, BA. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Engenharia Agrícola. Cruz das Almas, Bahia, 2021.

KOBIYAMA, M. Áreas degradadas e sua recuperação. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17, maio/jun. 2001.

LANDIM, P. B. L. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998.

LE BISSONNAIS, Y.; BENKHADRA, H.; CHAPLOT, V.; FOX, D.; KING, D.; DAROUSSIN, J. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m² to small catchments. *Soil and Tillage Research*, v. 46, n. 1-2, p. 69-80, 1998.

LEITE, O. C.; LIMA, S. O.; OLIVEIRA, L. N.; SILVA, R. J.; FREITAS, G. A.; SILVA, A. D. P.; JUNIOR, O.J.F. Morphometric characterization of part of muricizal river watershed - Tocantins, Brasil. *Revista Agri-Environmental Sci-ences*, Palmas-TO, v.5, p.1-15, 2019.

LIMA, A. C. A; NASCIMENTO, R. F; SOUSA, F. F; FILHO, J.M; OLIVEIRA, A.C. Modified coconut shell fibers: A green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, v. 185-186, p. 274-284, 15 mar. 2012.

LIMA, G.M., DIAS, L. F.,; VALE, R.M.C. Mapeamento geomorfológico como subsídio ao estudo da desertificação no norte da Bahia. *Revista Geonorte*, 2, 588–598., 2012.

LEITE, L. F. C., PETRERE, V., & SAGRILO, E. (2010). Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. In *Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS-ICID+ 18, 2., 2010, Fortaleza. Clima, sustentabilidade e desenvolvimento em regiões semiáridas. Fortaleza: BND-ETENE: MMA, 2010.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Open journal systems*. v. 5. 2011.

MAINGUET, M. Stratégies de combat contre la dégradation de l'environnement dans les écosystèmes secs; les réponses des Nations-Unies, de la CEI; de la Chine et du Sahel (Strategies to combat environmental degradation in dry ecosystems: answers of the United Nations, the Sahelians countries of Africa, the CEI, China and the Sahel). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, v. 69, n. 5, p. 422-433, 1992.

MATALLO JUNIOR, H. Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas. Brasília: UNESCO, 2001.

MEDEIROS, F. A., ALONÇO, A. S., BALESTRA, M. R. G., DIAS, V. O., LANDERHAL Jr. M. L.; Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georreferenciado. *Ciência Rural*, v-38, n.8, p. 2375-2378, 2008.

MEIRA, S. A.; SILVA, A. M.; SILVA, E.V. Fator solo em núcleos de desertificação no estado do Ceará, Brasil. *Revista da casa da geografia de Sobral (RCGS)*, v. 21, n. 2, p. 227-240, 2019.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINHGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, Amsterdam, v. 109, p. 139-149, 2013.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing. 3^o Edition. 316 p. 2005.

MOREIRA A.; FRANCHINI J. C.; MORAES L. A. C.; MALAVOLTA E. Disponibilidade de nutrientes em vertissolo calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 10, p. 2107-2113, 2000.

NAIME, U. J.; CARVALHO JÚNIOR, W. D.; AMARAL, F. C. S.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, E. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; FERNANDES, L. A. C. Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos do Entorno do Projeto Salitre – Juazeiro/BA. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*- 118. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 101 p.

NASCIMENTO, F. R. O fenômeno da desertificação. Goiânia: UFG, 2013. 244p.

OLIVEIRA, E, M; SELVA, V, S, F. Estudo de erosão no Seridó Paribano como indicador do processo de desertificação: Juazeirinho Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*. V.12, n. 03. 2019.

PENACHIO, S. M. Predição do fator erodibilidade do solo por meio de regressão krigagem. 81 f. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2021.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Parc. Estrat. Brasília-DF*, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2012.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B; TUNDISI, J. G (Org.). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 703p.

RIOS, M. L. Solos carbonáticos e interações pedogeomorfológicas no semiárido baiano: da evolução da paisagem ao processo de desertificação. 2021. Tese (Doutorado em Geografia). *Análise Ambiental*. UFMG, Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG Programa de Pós-Graduação em Geografia. Belo Horizonte- MG. 2021.

RIOS, M. L.; CARVALHO, V. L. M.; OLIVEIRA, F. S. Solos carbonáticos e a desertificação no médio curso da bacia do rio Salitre, Bahia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 4, p. 911-929. Out-dez. 2020.

RODRIGUES, S. C. Análise da fragilidade do relevo. Abordagem empírico-experimental. *Revista Sociedade e Natureza Uberlândia*, v. 12, (n. 23). p. 167-189, janeiro/junho. 2000.

ROSSATO, M. S.; BELLANCA, E. T.; FACHINELLO, A.; CÂNDIDO, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. (orgs.) *Terra: feições ilustradas*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. D. S. B.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. R. *Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 196 p.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1980. p.263-310.

SANTOS, H. G. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed., rev. Brasília, DF : Embrapa, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5.ed. Brasília-DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. M. Indicadores de desertificação no Semiárido Brasileiro: o caso de Campo Formoso- Bahia. 2016. 271 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. D.; SANTOS, H. D.; KER, J.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 6. ed. Viçosa-MG: SBCS, 2013. 92p.

SCHNEIDER, R, M. Utilização de pinos na medida de erosão marginal dos córregos

Mandacaru e Romeira para avaliação da ação antrópica da cidade de Maringá, PR–Brasil. In: Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos. Editora Oeste Campo Grande, 2009. p. 613-630.

SILVA, A. J. P.; RIOS, M. L. Terracing recovers the quality of a riverbank soil degraded by water erosion in brazilian semiarid. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n.1, 2020.

2SILVA, J.R.I; SOUZA, E.S; SOUZA, R; SANTOS, E.S.S; ANTONIOS, A.C.D.A. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. *Revista Engenharia na Agricultura*. V.27, n.3, p.272-283, Viçosa, MG, DEA/UFV.2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. 574p. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, v. 73, p. 197-206, 2018.

TOY, T.J.; FOSTER, G.R.; RENARD, K.G. Soil erosion: processes, prediction, weasurement, and control. New York: Wiley, 2002. 352 p.

UNITED NATIONS. United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Final text of the Convention. 1994. 58 p.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008 (INPE-15318-RPQ/818). 75 p.

VALLE JUNIOR, R. F. Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba /Renato Farias do Valle Junior. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia). Produção Vegetal. Universidade Estadual Paulista- UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Jaboticabal- SP. 2008.

VÁZQUEZ, E. V.; VIEIRA, S. R.; DE MARIA, I. C.; GONZÁLEZ, A. P. Parâmetros fractais e geostatística do microrrelevo do solo em função de chuva acumulada. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 1, p. 78-83, 2010.

VOLK, L. B.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea – estabilidade de agregados erosão hídrica em solos submetidos a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n. 4, p.1713-1722, 2008.

XAVIER, R. A. Processos geomorfológicos e evolução da paisagem no semiárido brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 7, n. 1, p. 59-69, 2021.