

## LEVANTAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL E EVOLUTIVA DAS EROSÕES HÍDRICAS LINEARES EM UMA ENCOSTA AMOSTRAL DO CÓRREGO DO LEOPOLDO

M. R. FRANCISCO\*, A. L. P. de OLIVEIRA, S. A. FUREGATTI  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3684-6335>\*  
matheus.ribas@unesp.br

Submitted June 5, 2023 - Accepted November 27, 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.16482

### ABSTRACT

The article presents a temporal and evolutionary analysis of linear water erosion, as from a survey of a sample hillslope of the Leopoldo river, located in the municipality of Agudos (SP). The survey was elaborated from satellite images made available by Google Earth, which allowed to identify the main characteristics of

erosive features. The analyzed characteristics are: slope position, length, width, line of inclination, shape, evolutionary stage, incision system, possible origin, curvature longitudinal and transversal. So, the article made it possible to study the erosions' behavior and the relationship with local morphology.

**KEYWORDS:** soil erosion, gully, hillslope.

## LEVANTAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL E EVOLUTIVA DAS EROSÕES HÍDRICAS LINEARES EM UMA ENCOSTA AMOSTRAL DO CÓRREGO DO LEOPOLDO

### RESUMO

O artigo apresenta uma análise temporal e evolutiva de erosões lineares hídricas, a partir de um levantamento de uma encosta amostral do córrego do Leopoldo, localizado no município de Agudos (SP). O levantamento foi elaborado a partir de imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth que permitiram identificar as principais características das feições

erosivas. Entre as características analisadas estão: posição na vertente, comprimento, largura, linha de inclinação, forma, estado de evolução, possível origem, curvaturas longitudinal e transversal. Desse modo, o artigo possibilitou a realização de um estudo sobre o comportamento das erosões no local e a relação com a morfologia local.

**Palavras chave:** erosão do solo, voçoroca, encosta.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a partir da segunda metade do século XX, demandou maior produção de mantimentos para suprir a cidade. A consequência foi o crescimento acelerado de produção, que ocupou a zona rural de maneira intensificada, muitas vezes ausente de técnicas adequadas de produção e, conseqüentemente, vem gerando problemas ambientais, como o assoreamento de rios, improdutividade e inutilização do solo, que se intensificam ao se observar o crescente número de áreas agrícolas que não praticam técnicas de correção/manutenção do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; LINHARES *et al.*, 2014). Outra consequência da ocupação inadequada é a remoção da cobertura vegetal que serve como uma defesa natural e protege o solo contra o impacto das gotas de chuva com a dispersão da água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). A partir da retirada da vegetação dá-se origem a grandes áreas onde o impacto das gotas de chuva desprende as partículas de solo, as quais são transportadas pelo escoamento superficial, e, assim, inicia o processo erosivo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). O escoamento superficial pode ocorrer de forma laminar, quando o escoamento difuso se torna turbulento e desgasta a superfície do solo, ou linear, quando o fluxo se desenvolve de forma concentrada e nas linhas de talvegue. A concentração de fluxo tende a gerar o aparecimento gradual de feições erosivas lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas. Os sulcos são os primeiros sinais erosivos que têm como evolução o ravinamento, o qual consiste em maiores profundidades da feição erosiva. Com o desenvolvimento da erosão até o lençol freático, o conjunto de ações ativas das águas superficiais e subsuperficiais provoca o começo do processo de voçorocamento.

Em consonância, o ravinamento e o voçorocamento podem apresentar cenários irreversíveis, quando não há intervenção e/ou a aplicação de técnicas agrícolas em função da manutenção/correção preventivas. Em 1989, no Estado de São Paulo, estimou-se que 80% das terras cultivadas estavam passando por processos erosivos devido à falta de manutenção/correção eficazes nas áreas agrícolas, além dos limites de recuperação natural do solo (DAEE/IPT, 1989). Também, em 1992, foram contabilizadas mais de 10.000 erosões lineares de grande porte (com dimensões maiores que 3 m de profundidade e 10 m de largura) no estado. Ainda, 70% das erosões lineares contabilizadas situavam-se na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental, associado ao Grupo Bauru, o qual ocupa aproximadamente 40% da área do Estado (SALOMÃO, 1992). Nos anos de 2010 e 2011, a partir do uso do Google Earth e cartas topográficas do IBGE, o projeto Cadastramento de Pontos de Erosão no Estado de São Paulo, em conjunto com o DAEE, cadastrou 39.864 processos erosivos nas áreas rurais de 593 municípios. Do total de processos cadastrados, 30.004 foram classificadas como voçorocas e 9.860 como ravinas (ALMEIDA FILHO, 2015). Somente na URGHI-16, que compreende a bacia do Rio Batalha e parte do Rio Tietê, foram cadastradas 538 erosões lineares urbanas (10 ravinas e 528 voçorocas. A predominância de voçorocas demonstra o manejo inadequado do solo e o desequilíbrio ambiental encontrado na zona rural do Estado de São Paulo (IPT, 2012).

Segundo o mapa de erosão do Estado de São Paulo, a região de Bauru e Agudos tem alta suscetibilidade à erosão, sendo muito favorável ao fenômeno de piping – forte condicionante das

voçorocas (KERTZMAN, 1995). Cabe ressaltar também, que a URGHI-16 tem o uso e ocupação do solo classificado em 65% por campo antrópico/pastagem (IPT, 2012). Na cidade de Agudos, onde está compreendida a nascente do Rio Batalha, foi apontada a existência de problemas críticos de erosão e as respectivas características, em um mapeamento realizado pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) e o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), nos anos de 1986, 1988, 1990 e 1992. Assim, com base no histórico de ocorrência de fenômenos erosivos e densa ação antrópica, se definiu para estudo uma encosta da bacia do Córrego do Leopoldo, região de nascente do Rio Batalha, na Serra da Jacutinga (Figura 1).

O objetivo do trabalho aqui apresentado foi realizar um levantamento temporal e evolutivo de características das erosões hídricas lineares, em uma encosta do Córrego do Leopoldo, no município de Agudos/SP, por meio de sistematização para contribuir, como amostra de controle, em futura análise geomorfológica de concentração de fluxo.

## 2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Agudos é localizado entre os paralelos 22°24' e 22°30' Sul e os meridianos 49°00' e 49°06' Oeste, na porção Centro-Oeste do Estado de São Paulo, no Planalto Ocidental Paulista. A encosta a ser estudada está inserida na bacia do Córrego do Leopoldo e faz parte de uma pesquisa sobre erosões lineares pluviais na região da Serra da Jacutinga (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A delimitação da área está localizada em uma altitude média de 640 m, tendo como afluente principal o Córrego do Leopoldo, classificado na APA do Rio Batalha como Zona de Proteção de Atributos (ZPA) (MACARI, 2019).

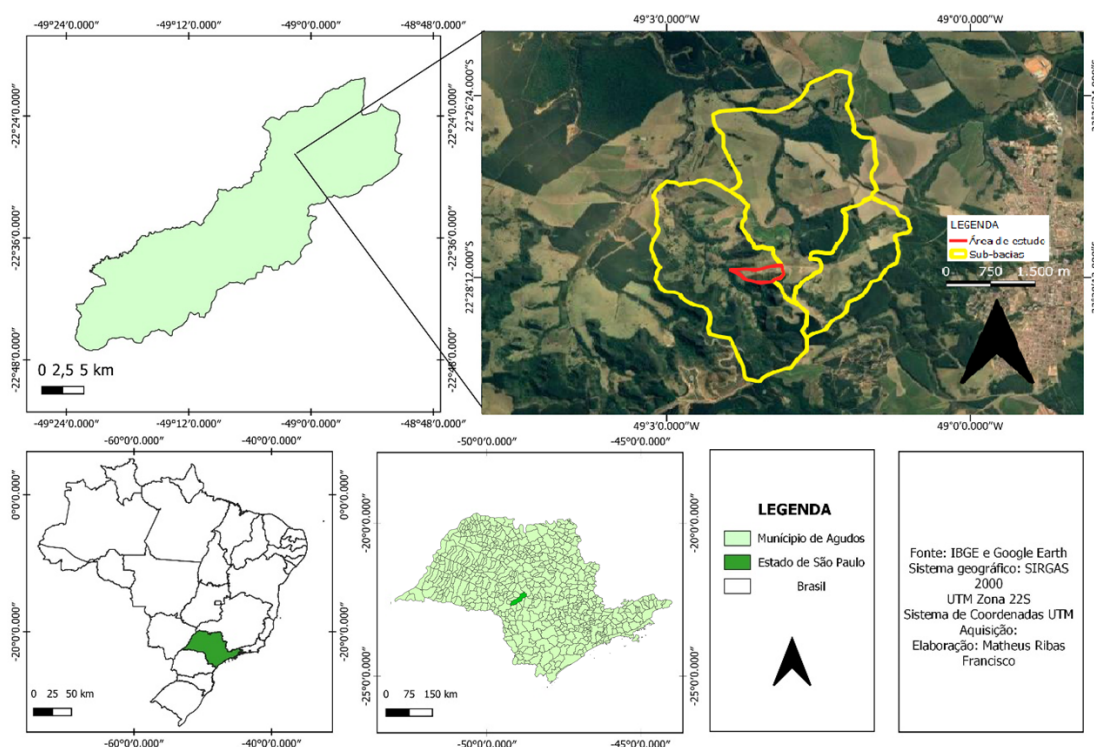


Figura 1: Localização da área de estudo na Serra da Jacutinga, município de Agudos (SP – Brasil), com destaque para a delimitação da encosta considerada.

Sobre o relevo, na encosta da Serra da Jacutinga, ocorre uma transição caracterizada por encostas não escarpadas, com declividade média (15% a 30%) e amplitudes maiores que 100 m. Essas encostas são sulcadas por vales subparalelos, sendo desfeitas em interflúvios lineares de topos angulosos e arredondados com vertentes de perfis retilíneos. A drenagem, portanto, é de média densidade, com padrão de vales fechados (KOFFLER, 2000). Próximo à cidade de Agudos, ocorrem morrotes alongados e espigões, os quais têm como características topos angulosos a achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos, mas ocorrem em menor quantidade. Ademais, Salomão (1994), ao estudar as Colinas Médias do Platô de Bauru (SP), as definiu com declividades entre 10 e 20% e menos de 500 metros de rampa.

Quanto as características pedológicas locais são de arenitos finos e conglomeráticos, mal selecionados, com presença de horizontes carbonáticos. Sendo assim, a classe pedológica é o Podzólico Vermelho Amarelo de textura arenosa/média (SALOMÃO, 1994). O solo Podzólico Vermelho Amarelo de textura arenosa/média tem uma origem diversa, exceto de rochas básicas e de rochas sedimentares finas. Ocorre em relevos suaves e mais ondulados. Tem uma superfície pouco coesa e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais, por isso, apresenta elevada susceptibilidade à erosão. Sua fertilidade é mediana por causa da contribuição carbonática presente no oeste do Estado de SP (EMBRAPA, 2018). Os solos arenosos são os com maiores suscetibilidade à erosão. Setzer (1949), na classificação dos solos do Estado de São Paulo, destaca os grupos com características arenosas profundas, permeáveis, ácidos e pobres em elementos químicos e em matéria orgânica, como os mais suscetíveis aos processos erosivos.

### 3 SISTEMATIZAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS EROSÕES

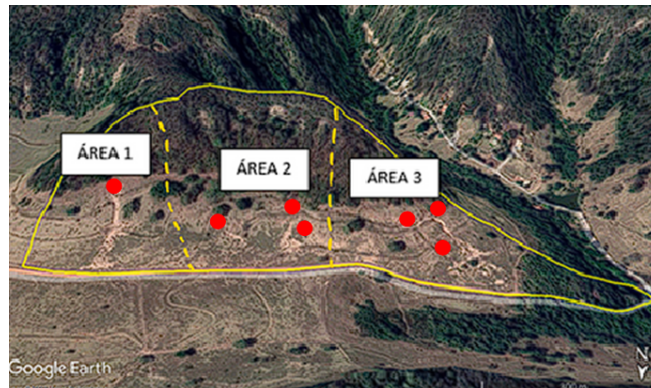
Os fenômenos erosivos podem ser classificados em relação à forma, localização na encosta, dimensões, relação com a drenagem, entre outras características. Oliveira e Francisco (2022) formularam um modelo de ficha de sistematização baseado em bibliografia selecionada, a qual foi utilizada para a classificação qualitativa das feições erosivas na área de estudo. Assim, se considerou, além das características citadas, o estágio evolutivo, sistema de incisão, possível origem, fatores de influência e curvaturas horizontal e vertical da vertente (Quadro 1).

|                                   |                |  |                    |  |                    |  |
|-----------------------------------|----------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| Posição Vertente                  | Média          |  | Alta               |  | Baixa              |  |
| Comprimento                       | Grande         |  | Média              |  | Pequena            |  |
| Largura                           | Grande         |  | Média              |  | Pequena            |  |
| Linha de inclinação               | Transversal    |  | Longitudinal       |  |                    |  |
| Formas simples                    | Ovoide Lisa    |  | Ovoide lobulada    |  | Ovoide coalescente |  |
|                                   | Periforme lisa |  | Ortogonal          |  | Linear             |  |
|                                   | Outras         |  |                    |  |                    |  |
| Estágio Evolutivo                 | Estabilizada   |  | Em desenvolvimento |  | Corrigida          |  |
| Sistema de incisão                | Conectada      |  | Desconectada       |  | Integrada          |  |
| Possível origem                   |                |  |                    |  |                    |  |
| Fatores de influência             |                |  |                    |  |                    |  |
| Curvatura (vertical - horizontal) |                |  |                    |  |                    |  |

Quadro 1: Modelo da ficha de sistematização, modificado de Oliveira e Francisco (2022).

Com o intuito de caracterização e análise da evolução das erosões foi selecionada uma encosta amostral na bacia do Córrego do Leopoldo, que foi dividida em três áreas seguindo critério de proximidade e características similares das feições erosivas de cada área (Figura 2).

A encosta, dividida em Área 1, Área 2 e Área 3, assim como o processo evolutivo temporal das feições presentes nela, foram estudadas a partir da observação de imagens de satélite do Google Earth, nos anos de 2010, 2013, 2015, 2016, 2018 e 2021. Com o uso de ferramentas do Google Earth, também foi possível se estimar as principais medidas das feições.



**Figura 2:** Subdivisão das áreas, com distribuição dos locais de ocorrência das feições analisadas.

As evoluções das medidas das erosões foram analisadas a partir das imagens do Google Earth e a classificação das dimensões, entre pequena, média ou grande, seguiu os parâmetros estabelecidos por Furlani (1980) (Quadro 2).

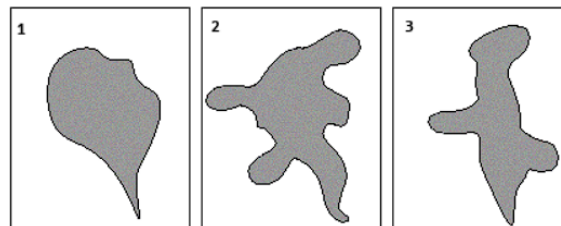
| Medidas     | Grande             | Média              | Pequena |
|-------------|--------------------|--------------------|---------|
| Comprimento | $\geq 500\text{m}$ | $\leq 500\text{m}$ | 100m    |
| Largura     | $\geq 50\text{m}$  | $\leq 50\text{m}$  | 10m     |

**Table 1: Gully Dimensions.**

As feições também foram classificadas em relação às linhas de maior inclinação, podendo ser transversal (perpendicular à linha de maior declive) ou longitudinal (ajustada à linha de maior declive). E, suas formas classificadas como: a) ovóide ou periforme lisa; b) ovóide lobulada; c) ovóide coalescente; d) linear; e) ortogonal; f) curvilínea (Quadro 3 e Figura 3). Ademais, outra classificação utilizada foi de acordo com a posição conforme a cota de elevação em que está a erosão: a) baixa vertente; b) média vertente; c) alta vertente (FURLANI, 1980).

| Formas                   | Descrição  |
|--------------------------|--|
| Ovóide ou periforme lisa | Associada a um único hidrográfico, trata-se da forma clássica sem festonamento dos bordos. Funciona como uma bacia de recepção e um canal de escoamento. |
| Ovóide lobulada          | Nos bordos abrem-se diversos recortes que evoluem de forma oblíqua ou perpendicular ao canal.  |
| Ovóide coalescente       | Junção de dois ou mais aparelhos erosivos festonados ou lisos.   |
| Linear                   | O corpo do aparelho alonga-se de tal maneira que assume uma configuração retilínea.  |
| Ortogonal                | Dois ramos retilíneos interceptam-se novamente.  |
| Curvilínea               | Exibe o corredor erosivo encurvado.  |
| Composta                 | Combinação ou evolução das demais formas e de outras formas variadas.  |

**Quadro 3: Formas das feições erosivas, adaptado de Furlani (1980).**



**Figura 3: Tipos de boçoroca: (1) ovóide, (2) coalescente e (3) linear.**

A análise da evolução das feições considerou a condição de estabilidade ou de desenvolvimento. Além da análise das dimensões ao longo do período estudado, se considerou, por exemplo, que a existência de vegetação no interior da feição seria um indício de que a feição se encontra estável (MERCALDI E FUREGATTI, 2020), enquanto o aumento da sedimentação às margens da erosão demonstra a intensificação do desenvolvimento. Outros fatores de influência na ocorrência de feições, como caminhos, construção de curvas de nível e retirada da camada vegetal também foram analisados (CHEROBIN, 2012).

Outra classificação feita considerou o sistema de incisão nas vertentes: conectadas, desconectadas e integradas à rede hidrográfica (Figura 4). O processo das erosões conectadas, canais de primeira ordem, inicia-se nas partes mais baixas do relevo e, com o auxílio de fluxos subsuperficiais, atinge maiores cotas. Já as erosões desconectadas da rede de drenagem têm o início da incisão nos setores mais altos da encosta e, com a predominância de fluxos superficiais, atinge às rampas de colúvio mais abaixo. Por último, as feições integradas são uma união das formas anteriores, ocorrendo uma única incisão ao desenvolvimento da erosão (OLIVEIRA, 1989). Portanto, ao passar do tempo é possível verificar a possibilidade de duas feições se unirem, ao analisar o comportamento do fluxo concentrado.

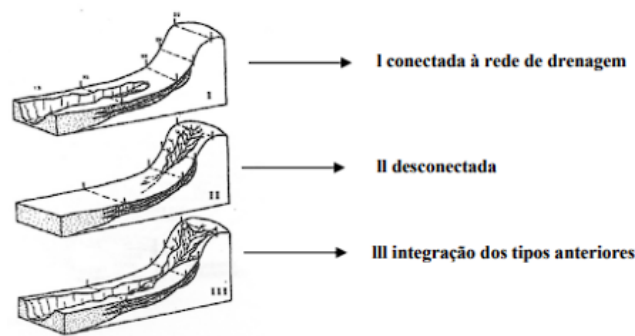


Figura 4: Modelo de Evolução dos tipos de boçoroca, modificado de Oliveira (1989).

Outra característica de uma vertente a ser analisada são as curvaturas (Figura 5) longitudinal (no sentido do comprimento do fluxo) e transversal (no sentido da largura do fluxo). Vertentes com inclinação longitudinal constante são chamadas de retilíneas, já as que não podem ser descritas por um simples ângulo podem ser definidas como convexas ou côncavas, de acordo com o grau de curvatura longitudinal. Os perfis convexas, resultados do rastejamento do solo e impacto das gotas de chuva, potencializam a energia do fluxo hídrico, o que é um fator condicionante para o surgimento de feições erosivas (BIGARELLA, 2003). Já os perfis côncavos representam formas de equilíbrio de transporte e deposição (VELOSO, 2007). Já a curvatura transversal côncava atua na convergência do fluxo pluvial, enquanto a convexa atua na divergência do fluxo (STABILE, 2008). A convergência do escoamento superficial provoca a concentração do fluxo, aumentando a suscetibilidade de ocorrência de feições erosivas lineares (XUJIONGXIN, 1996).

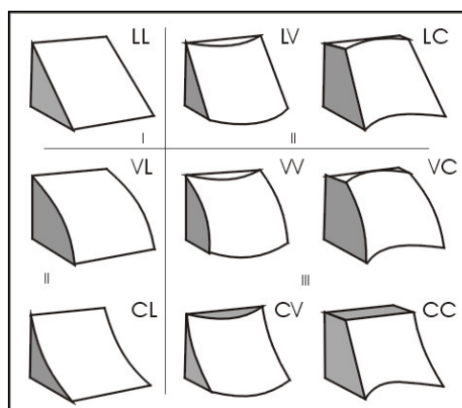


Figura 5: Formas geométricas das encostas (LL: linear-linear; VL: convexo-linear; CL: côncavo-linear; LV: linear-convexo; LC: linear-côncavo; VV: convexo-convexo; VC: convexo-côncavo; CV: côncavo-convexo; CC: côncavo-côncavo) (RUHE, 1975, apud XUJIONGXIN, 1996).

#### 4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS

Com o levantamento por meio das imagens de satélite, uma feição erosiva linear (Feição 1) foi identificada na Área 1 – área mais a leste (Figura 2), no período de 2013 a 2021. Na cabeceira da Feição 1 há a presença de uma das curvas de nível construídas a fim de diminuir a velocidade do escoamento superficial na encosta. A concentração do fluxo que provocou o início da feição

pode ter surgido do galgamento da curva de nível, em julho de 2013, (Figura 6a) e, a partir de 2015 (Figura 6b), a feição erosiva evoluiu no sentido longitudinal à curva de nível e passou a apresentar intensa sedimentação (Figura 6c e Figura 6d). A Feição 1 está localizada na posição média da vertente; se encontra longitudinalmente à linha de maior inclinação do terreno; desconectada da drenagem; se iniciou com forma linear, se transformando em ovoide lobulada, principalmente devido a concentração de fluxo na curva de nível; comprimento pequeno (64 metros) e largura grande (50 metros) (Quadro 4). A erosão ainda se encontra em desenvolvimento na região (Figura 6d).

|  |                               |   |                    |   |                    |   |
|--|-------------------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|
| Posição Vertente                       | Média                         | X | Alta               |   | Baixa              |   |
| Comprimento                            | Grande                        |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Largura                                | Grande                        | X | Média              |   | Pequena            |   |
| Linha de inclinação                    | Transversal                   |   |                    |   | Longitudinal       | X |
| Formas simples                         | Ovoide Lisa                   |   | Ovoide lobulada    | X | Ovoide coalescente |   |
|  | Perifórmelisa                 |   | Ortogonal          |   | Linear             |   |
|  | Outras                        |   |                    |   |                    |   |
| Estágio Evolutivo                      | Estabilizada                  |   | Em desenvolvimento |   | Corrigida          | X |
| Sistema de incisão                     | Conectada                     |   | Desconectada       | X | Integrada          |   |
| Possível origem                        | Galgamento da curva de nível. |   |                    |   |                    |   |
| Fatores de influência                  |                               |   |                    |   |                    |   |
| Curvatura (longitudinal - transversal) | Côncavo - linear              |   |                    |   |                    |   |

Quadro 4: Ficha de sistematização da Feição 1.

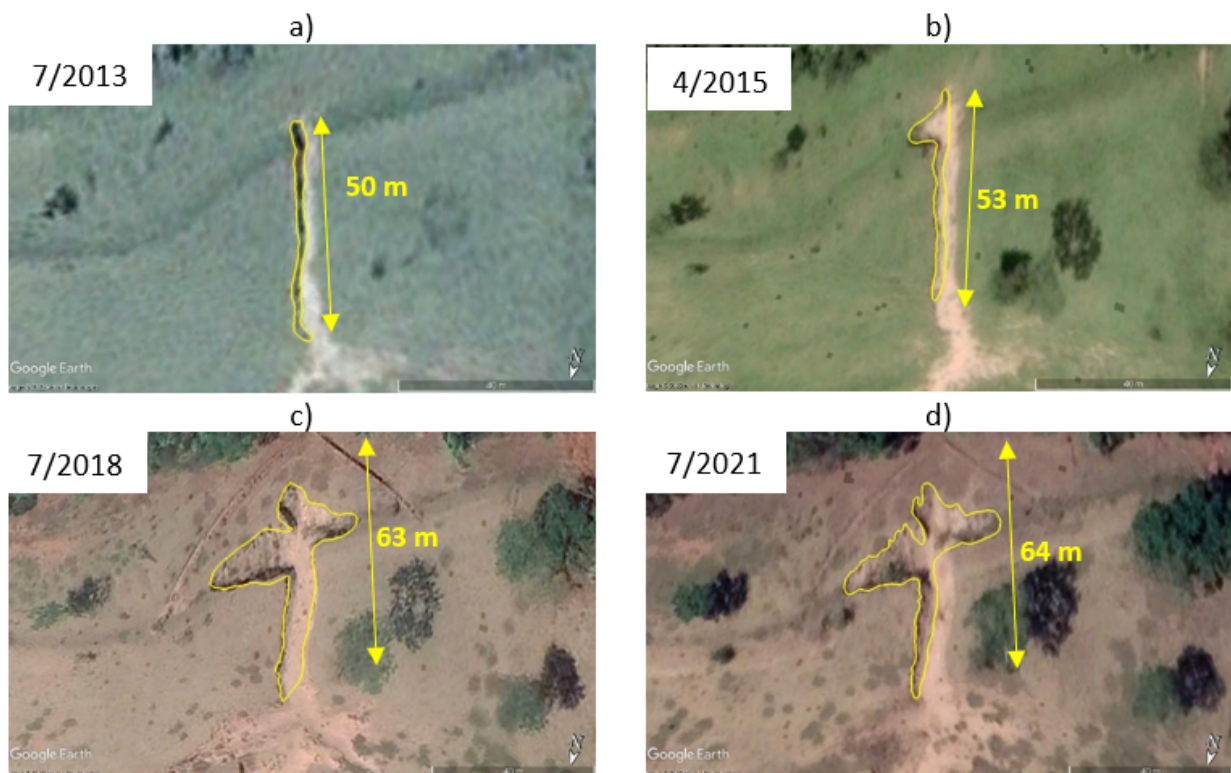


Figura 6: Feição 1, localizada na Área 1: a) Situação em 2013; b) Situação em 2015; c) Situação em 2018 (concentração na curva de nível); e, d) Situação em 2021.



A Área 2 é definida pela porção localizada ao centro da área de estudo, onde em 2010 surgiram as Feições 2, 3 e 4, as quais foram corrigidas entre abril de 2010 e julho de 2013, em conjunto com a reconstrução das curvas de nível. Ao longo das curvas construídas é possível ver, pelas imagens do Google Earth, o acúmulo de água e sedimentação. A Feição 2 encontra-se à média vertente, desconectada da drenagem e ocorre longitudinalmente à maior inclinação; apresenta forma ovoide lobular, com comprimento (54 metros) e largura (6 metros) pequenas (Quadro 5). As feições 3 e 4 tinham dimensões difíceis de serem analisadas pelas imagens de satélite e se encontravam em baixa vertente (Quadro 6). O galgamento da curva de nível é a possível causa do surgimento das feições; e, foram corrigidas entre 2010 e 2013, (Figura 7a e Figura 7b).

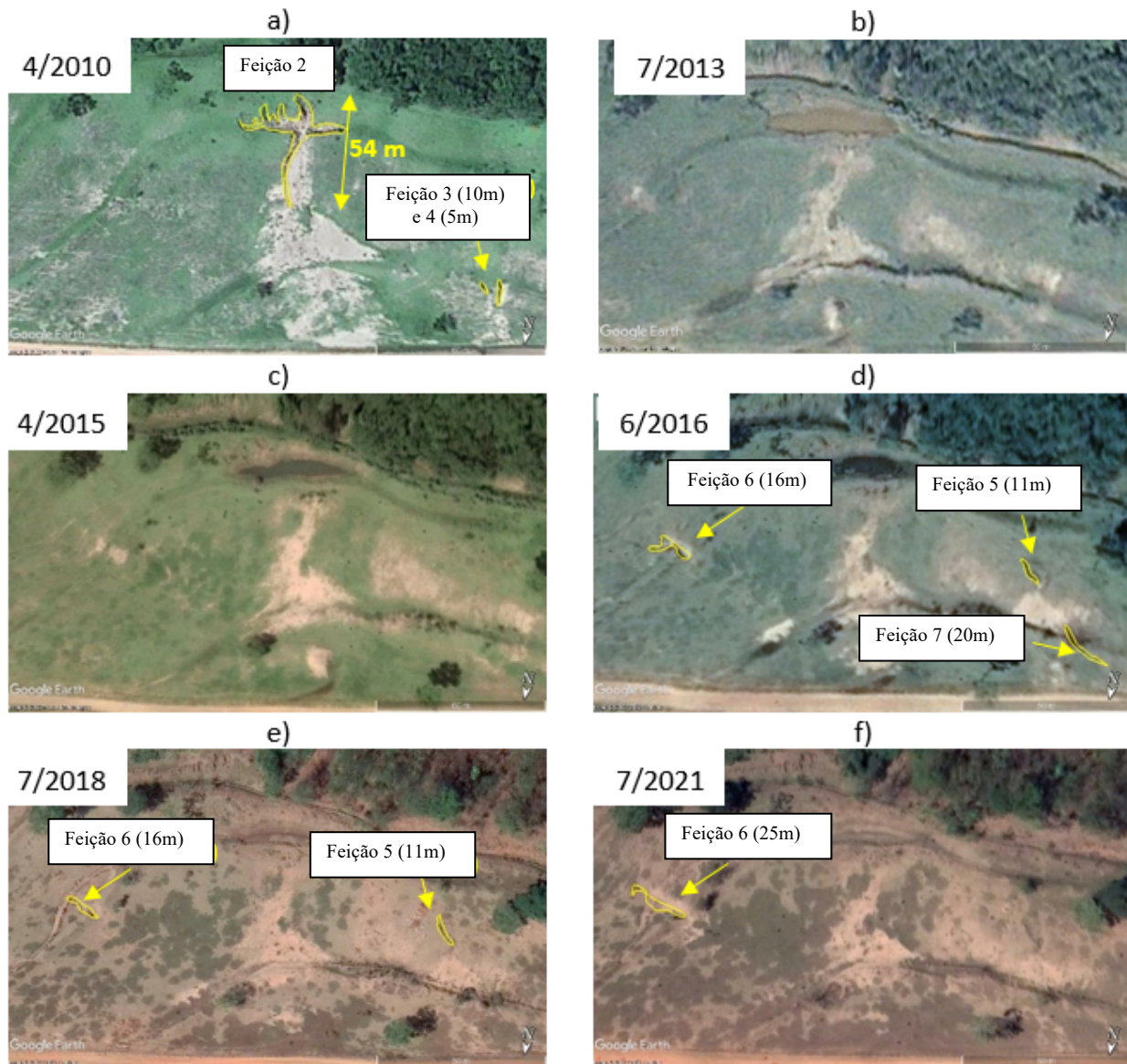
Ainda na Área 2, surgiram as Feições 5, 6 e 7. A partir do ano de 2016, observa-se que a Feição 7 surgiu próximo ao local das Feições 3 e 4 (Figura 7a e Figura 7d). As 3 feições têm características semelhantes às Feições 3 e 4 e encontram-se a média vertente, desconectadas da rede de drenagem e ocorrem longitudinalmente à linha de maior inclinação, com a forma linear e dimensões pequenas. A Feição 6 se encontra estabilizada, enquanto as demais feições dessa região se encontram recuperadas, atualmente (Quadro 7).

|                       |   |   |                    |              |                    |   |
|-----------------------|---|---|--------------------|--------------|--------------------|---|
| Posição Vertente      | Média   | X | Alta               |              | Baixa              |   |
| Comprimento           | Grande  |   | Média              |              | Pequena            | X |
| Largura               | Grande  |   | Média              |              | Pequena            | X |
| Linha de inclinação   | Transversal   |   |                    | Longitudinal |                    | X |
| Formas simples        | Ovoide Lisa   |   | Ovoide lobulada    | X            | Ovoide coalescente |   |
|                       | Perifôrme lisa  |   | Ortogonal          |              | Linear             |   |
|                       | Outras  |   |                    |              |                    |   |
| Estágio Evolutivo     | Estabilizada  |   | Em desenvolvimento |              | Corrigida          | X |
| Sistema de incisão    | Conectada   |   | Desconectada       | X            | Integrada          |   |
| Possível origem       | Galgamento da curva de nível.                               |   |                    |              |                    |   |
| Fatores de influência | Curvatura (longitudinal - transversal)<br>Cônvexo - côncavo |   |                    |              |                    |   |

**Quadro 2: Ficha de sistematização da Feição 2.**

|                       |   |  |                    |              |                    |   |
|-----------------------|---|--|--------------------|--------------|--------------------|---|
| Posição Vertente      | Média   |  | Alta               |              | Baixa              | X |
| Comprimento           | Grande  |  | Média              |              | Pequena            | X |
| Largura               | Grande  |  | Média              |              | Pequena            | X |
| Linha de inclinação   | Transversal   |  |                    | Longitudinal |                    | X |
| Formas simples        | Ovoide Lisa   |  | Ovoide lobulada    |              | Ovoide coalescente |   |
|                       | Perifôrme lisa  |  | Ortogonal          |              | Linear             | X |
|                       | Outras  |  |                    |              |                    |   |
| Estágio Evolutivo     | Estabilizada  |  | Em desenvolvimento |              | Corrigida          | X |
| Sistema de incisão    | Conectada   |  | Desconectada       | X            | Integrada          |   |
| Possível origem       | Concentração de escoamento superficial devido ao formato da vertente. |  |                    |              |                    |   |
| Fatores de influência | Curvatura (longitudinal - transversal)<br>Convexo - côncavo           |  |                    |              |                    |   |

**Quadro 3: Ficha de sistematização das Feições 3 e 4.**



**Figura 7:** Feições 2, 3, 4, 5, 6 e 7, localizadas na Área 2: a) Situação em 2010; b) Situação em 2013 (correção das Feições 2 e 3); c) Situação em 2015; d) Situação em 2016 (Surgimento das Feições 5, 6 e 7); e) Situação em 2018 (correção da Feição 7); e, f) Situação em 2021 (correção da Feição 5).

|                       |   |   |                    |   |                    |   |
|-----------------------|---|---|--------------------|---|--------------------|---|
| Posição Vertente      | Média   | X | Alta               |   | Baixa              |   |
| Comprimento           | Grande  |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Largura               | Grande  |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Linha de inclinação   | Transversal   |   |                    |   | Longitudinal       | X |
| Formas simples        | Ovoide Lisa   |   | Ovoide lobulada    |   | Ovoide coalescente |   |
|                       | Perifôrme lisa  |   | Ortogonal          |   | Linear             | X |
|                       | Outras  |   |                    |   |                    |   |
| Estágio Evolutivo     | Estabilizada  |   | Em desenvolvimento |   | Corrigida          | X |
| Sistema de incisão    | Conectada   |   | Desconectada       | X | Integrada          |   |
| Possível origem       | Concentração de escoamento superficial devido ao formato da vertente. |   |                    |   |                    |   |
| Fatores de influência | Curvatura (longitudinal - transversal)                                |   |                    |   |                    |   |
|                       | Cônvexo - côncavo   |   |                    |   |                    |   |

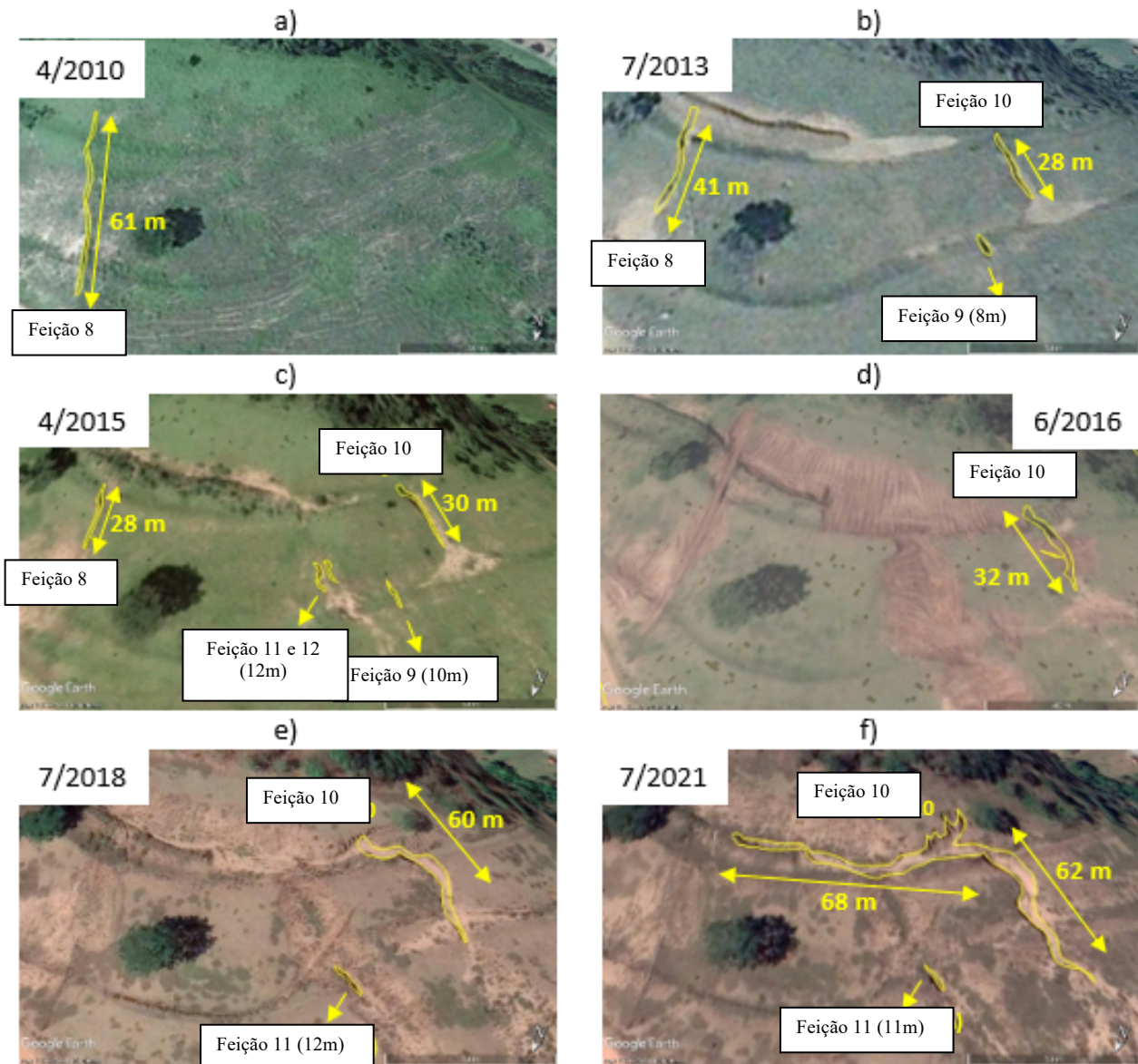
**Quadro 7:** Ficha de sistematização das Feições 5, 6 e 7.

Já na porção mais inclinada e a montante da Área 2, se identificou a presença de quatro feições impossibilitadas de serem classificadas pelas imagens de satélites (Figura 8). Há a possibilidade de serem tanto provocadas por voçorocamento, quanto por escorregamento, e devem ter as características comprovadas com visitas técnicas ao local.

Na Área 3 se observa o surgimento da primeira erosão em 2010, a Feição 8 (Figura 9a), que tem como possível origem a concentração do escoamento na região devido ao perfil da vertente, no sentido da linha de maior inclinação da encosta. Possui comprimento pequeno (61 metros) e largura pequena (3 metros), forma linear e se localiza à média vertente, sem se conectar ao canal de drenagem (Quadro 8). Nos anos de 2013 e 2015, as feições 9, 10, 11 e 12 surgem devido à concentração do escoamento superficial ocasionada pelas curvaturas longitudinal e transversal; e, também, a Feição 8 foi parcialmente corrigida (Figura 9b e Figura 9c). Já no ano de 2016, é possível observar movimentações de terra para a correção das feições erosivas existentes. Têm-se marcas de escavação e aterramento onde se localizavam as Feições 8, 9, 11 e 12 (Figura 9d). Em 2018, a Feição 11 reaparece onde havia sido feito o aterro, a Feição 10 atinge 60 metros de comprimento e é possível analisar o remanejamento da curva de nível existente no local (Figura 9e). Em 2021 (Figura 9f), com a reconstrução da curva de nível, a Feição 10 começou a expandir de tamanho, chegando ao comprimento de 62 metros (perpendicular à curva de nível) e largura de 11 metros médios, crescendo mais 68 metros no sentido da curva, ou seja, transversalmente ao sentido de maior inclinação, atingindo, portanto, um comprimento total de 130 metros. Sendo assim, resultou-se em uma forma linear composta com coalescente, desconectada da rede e, ainda, em desenvolvimento (Quadro 9).



Figura 8: Feições erosivas não classificadas no ano de 2022.



**Figura 9: Feições 8, 9, 10 e 11, localizadas na Área 3: a) Situação em 2010 (surgimento da Feição 8); b) Situação em 2013 (surgimento das feições 9 e 10); c) Situação em 2015 (surgimento das feições 11 e 12); d) Situação em 2016 (correção das curvas de nível e das feições 9, 11 e 12); e) Situação em 2018 (reaparecimento da Feição 11); e, f) Situação em 2021.**

As Feições 9, 11 e 12 têm características semelhantes, sendo todas lineares, com pequenas dimensões e localizadas à média vertente. Também se encontram estabilizadas, atualmente. As Feições 9 e 12 foram corrigidas entre os anos de 2015 e 2016, já a 11 não apresenta evolução (Quadro 10).

|  |   |   |                    |   |                    |   |
|--|---|---|--------------------|---|--------------------|---|
| Posição Vertente                       | Média   | X | Alta               |   | Baixa              |   |
| Comprimento                            | Grande  |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Largura                                | Grande  |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Linha de inclinação                    | Transversal   |   |                    |   | Longitudinal       | X |
| Formas simples                         | Ovoide Lisa   |   | Ovoide lobulada    |   | Ovoide coalescente |   |
|  | Periforme lisa  |   | Ortogonal          |   | Linear             | X |
|  | Outras  |   |                    |   |                    |   |
| Estágio Evolutivo                      | Estabilizada  |   | Em desenvolvimento |   | Corrigida          | X |
| Sistema de incisão                     | Conectada   |   | Desconectada       | X | Integrada          |   |
| Possível origem Fatores de influência  | Concentração de escoamento superficial devido ao formato da vertente. |   |                    |   |                    |   |
| Curvatura (longitudinal - transversal) | Côncavo - côncavo   |   |                    |   |                    |   |

**Quadro 4: Ficha de sistematização da Feição 8.**

|  |   |          |                    |   |                    |   |
|--|---|----------|--------------------|---|--------------------|---|
| Posição Vertente                       | Média   | X        | Alta               |   | Baixa              |   |
| Comprimento                            | Grande  |          | Média              | X | Pequena            |   |
| Largura                                | Grande  |          | Média              | X | Pequena            |   |
| Linha de inclinação                    | Transversal   |          | X                  |   | Longitudinal       | X |
| Formas simples                         | Ovoide Lisa   |          | Ovoide lobulada    |   | Ovoide coalescente |   |
|  | Periforme lisa  |          | Ortogonal          |   | Linear             |   |
|  | Outras  | Composta |                    |   |                    |   |
| Estágio Evolutivo                      | Estabilizada  |          | Em desenvolvimento | X | Corrigida          |   |
| Sistema de incisão                     | Conectada   |          | Desconectada       | X | Integrada          |   |
| Possível origem Fatores de influência  | A priori, galgamento da curva de nível e, a posteriori, concentração de fluxo no sentido das curvas de nível. |          |                    |   |                    |   |
| Curvatura (longitudinal - transversal) | Côncavo - côncavo   |          |                    |   |                    |   |

**Quadro 5: Ficha de sistematização da Feição 10.**

|  |   |   |                    |   |                    |   |
|--|---|---|--------------------|---|--------------------|---|
| Posição Vertente                       | Média   | X | Alta               |   | Baixa              |   |
| Comprimento                            | Grande  |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Largura                                | Grande  |   | Média              |   | Pequena            | X |
| Linha de inclinação                    | Transversal   |   |                    |   | Longitudinal       | X |
| Formas simples                         | Ovoide Lisa   |   | Ovoide lobulada    |   | Ovoide coalescente |   |
|  | Periforme lisa  |   | Ortogonal          |   | Linear             | X |
|  | Outras  |   |                    |   |                    |   |
| Estágio Evolutivo                      | Estabilizada  | X | Em desenvolvimento |   | Corrigida          |   |
| Sistema de incisão                     | Conectada   |   | Desconectada       | X | Integrada          |   |
| Possível origem Fatores de influência  | Concentração de escoamento superficial devido ao formato da vertente. |   |                    |   |                    |   |
| Curvatura (longitudinal - transversal) | Convexo - convexo   |   |                    |   |                    |   |

**Quadro 6: Ficha de sistematização da Feição 9, 11 e 12.**

Um resumo com as principais características das feições levantadas é apresentado na Tabela 1. Considerou-se no resumo as maiores dimensões para as feições que aparecem em mais de uma data nas imagens. A análise dos dados compilados na tabela indicou que, de maneira geral, a incidência das feições erosivas se deu principalmente à média vertente (em 9 de 12), com relevo de curvatura longitudinal convexa em aproximadamente 83% e transversal côncavo em aproximadamente 58% dos casos. O comprimento de 11, das 12 feições, foi classificado como pequeno, sendo apenas uma (Feição 10) classificada como médio. Enquanto a largura de 10, das 12 feições, foi classificada como pequena, sendo duas (Feição 1 e Feição 10) classificadas como grandes. Algumas das feições foram recuperadas ao longo do período analisado, não atingindo dimensões maiores. Assim, pelo levantamento realizado quanto ao relevo, nota-se a tendência de

ocorrência de feições erosivas à média vertente (75%), em curvatura longitudinal convexa (83%) e transversal côncava (58%).

| Feição    | Posição na Vertente | Maior comprimento atingido (m) | Largura (m)   | Curvatura (vertical/horizontal) |
|-----------|---------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Feição 1  | Média               | 64 (pequeno)                   | 50 (grande)   | Convexo/plano                   |
| Feição 2  | Média               | 54 (pequeno)                   | 6 (pequena)   | Convexo/côncavo                 |
| Feição 3  | Baixa               | 10 (pequeno)                   | 1,5 (pequena) | Convexo/côncavo                 |
| Feição 4  | Baixa               | 5 (pequeno)                    | 1 (pequena)   | Convexo/côncavo                 |
| Feição 5  | Média               | 11 (pequeno)                   | 2 (pequena)   | Convexo/côncavo                 |
| Feição 6  | Média               | 25 (pequeno)                   | 3 (pequena)   | Convexo/côncavo                 |
| Feição 7  | Baixa               | 20 (pequeno)                   | 2 (pequena)   | Convexo/côncavo                 |
| Feição 8  | Média               | 61 (pequeno)                   | 3 (pequena)   | Convexo/côncavo                 |
| Feição 9  | Média               | 10 (pequeno)                   | 2 (pequena)   | Convexo/convexo                 |
| Feição 10 | Média               | 130 (médio)                    | 50 (grande)   | Côncavo/convexo                 |
| Feição 11 | Média               | 12 (pequeno)                   | 1 (pequena)   | Convexo/convexo                 |
| Feição 12 | Média               | 12 (pequeno)                   | 1 (pequena)   | Côncavo/convexo                 |

**Tabela 1: Resumo das características das feições.**

Apesar de apenas uma feição ter comprimento classificado como médio, alcançando 130 m, outras 3 feições alcançaram comprimentos maiores que 54 m, sendo que as demais atingiram comprimento máximo de 25 m. Assim, analisando as 4 feições com maior comprimento, se observa que a Feição 1 e a Feição 10 foram classificadas com largura grande (50 m), enquanto a Feição 2 e a Feição 8 tiveram larguras de 6 m e 3 m, respectivamente. As quatro feições localizam-se em média vertente. Considerando a classificação do relevo, três dessas feições tem curvatura longitudinal convexa (Feição 1, Feição 2 e Feição 8), sendo a Feição 2 e a Feição 8 com curvatura transversal côncava. A Feição 10 foi a única classificada como curvatura longitudinal côncava e transversal convexa. Dessa forma, a curvatura longitudinal convexa pode ser um indicativo de maior desenvolvimento da feição erosiva linear, enquanto o resultado de curvatura transversal é inconclusivo.

A maior incidência de erosão em relevo longitudinal convexo é esperada (BIGARELLA, 2003; VELOSO, 2007). A ocorrência de duas das feições analisadas em relevo longitudinal côncavo pode ser devido à preferência de passagem do gado nesse tipo de relevo por sobre a curva de nível, causando a destruição e conseqüente concentração de fluxo. A maioria das feições levantadas, incluindo duas das maiores analisadas, se encontra em relevo de curvatura transversal côncava, resultado também esperado, visto que a concavidade proporciona a concentração do fluxo (STABILE, 2008; XUJIONGXIN, 1996).

É importante considerar, antes de mais nada, que o desenvolvimento de pastagens tende a conservar o fluxo difuso, mas que pode se converter em escoamento concentrado em setores de abertura de valas, caminhos, pisoteio de gado e culturas anuais que expõem o solo à ação pluvial, assim, por conseqüência, facilita o alongamento das vertentes, ou de feições lineares (FURLANI, 1980). Portanto, áreas com preparo convencional do solo e sem cobertura vegetal são mais suscetíveis à erosão hídrica, tendo em vista que o uso incorreto do solo favorece o selamento superficial, a formação de uma camada de solo compactada que dificulta a infiltração de água (PANACHUKI, 2011; BORGES-TERRERO *et al.*, 2019).

Assim, a análise conduz a observação de que a maior incidência é na média, ao invés da baixa vertente. Fato que pode ser explicado, por um lado, devido à área da baixa vertente estar distante dos canais de drenagem e, por outro lado, a incidência de feições erosivas na média vertente, pode indicar a necessidade de atenção quanto a algumas das práticas conservacionistas do solo, essencialmente de caráter edáfico. O levantamento realizado indicou a realização de práticas conservacionistas de caráter mecânico (terraceamento) e vegetativo (florestamento e pastagem), além de constantes correções das feições erosivas, ao longo do período observado. O controle de erosão praticado, porém, se mostra insuficiente, sendo necessárias práticas edáficas, “que reponham os elementos nutritivos, controlem a combustão de matéria orgânica, diminuam a lixiviação, controlando, em parte, as causas de depauperamento do solo” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Assim, análises periódicas do solo podem indicar as correções no solo necessárias para diminuir a incidência de feições erosivas na área estudada. Silva *et al.* (2015) também sugerem práticas agroecológicas, como a utilização de produtos alternativos no combate às pragas e doenças e a adubação orgânica e química com receituário agrônômico.

Nota-se, também, que a floresta existente na região está distribuída corretamente ao longo da vertente, na região de maior declividade, contudo o topo do morro é composto por pasto. Bertoni e Lombardi Neto (2014) indicam a formação de florestas justamente no topo dos morros com o intuito de reduzir as enxurradas formadas nas cabeceiras, que podem provocar erosões nas partes mais íngremes abaixo na encosta.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de amostragem estudada é suscetível aos processos erosivos, tendo em vista as várias feições erosivas lineares encontradas ao longo da última década, tanto na parte sem, quanto a área com cobertura vegetal. Por ser uma área de cabeceira da bacia do Rio Batalha, com predominância de alta declividade à média vertente, proporciona-se um ambiente mais propenso ao surgimento de feições ao longo da encosta. Cabe ressaltar também a predominância de curvaturas vertical/horizontal convexos-côncavos, os quais aumentam a energia acumulada do escoamento superficial e, conseqüentemente, aumenta a velocidade do fluxo concentrado. Desse modo, os fatores condicionantes, em conjunto com o solo de textura arenosa, resultam na evolução dos processos erosivos lineares.

Ademais, deve se destacar o uso e ocupação de solo como um fator condicionante na aceleração da formação dos processos erosivos, conforme a retirada de cobertura vegetal e a maior compactação do solo devido às práticas agropastoris.

Por outro lado, deve-se considerar que técnicas mitigadoras foram vistas ao longo da encosta em visitas ao local. Entre elas, destacam-se a construção de curvas de níveis, remoção de plantas inibidoras e aterramento das feições, que atuam como medidas paliativas. Como pode se observar na Área 2 e na Área 3, houve galgamento das curvas de níveis e conseqüente acúmulo de água, assim, demonstra-se como essas tentativas de correções foram insuficientes para combater a evolução ou ocorrência de novas feições. Foi constatado, porém, que todas as erosões lineares

da amostragem estão desconectadas da drenagem, o que pode amenizar as consequências da evolução erosiva.

Dessa forma, o estudo realizado na parcela da encosta da Serra da Jacutinga possibilitou realizar a amostragem e a sistematização das feições erosivas, o que facilita o entendimento do comportamento e das causas das feições ao longo da última década. Então, a partir do estudo, poderá ser desenvolvido um estudo da geomorfologia para analisar o comportamento das linhas preferenciais de fluxo e o prognóstico do processo erosivo das feições da região. E, assim, poderá se estabelecer medidas corretivas assertivas contra a evolução de erosões na cabeceira de nascente do Rio Batalha.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida Filho, G. S.; Costa, S. B; Hellmeister Júnior, Z.; *Processos Erosivos Lineares no Estado de São Paulo*. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, 2015.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. 9 ed. São Paulo, Ícone editora. 2014.
- Bigarella, J. J. *Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais*. Florianópolis (SC): Ed. da UFSC, v. 3, p. 877-1436. 2003.
- Borges-Terrero, Y.; Almaguer-Carmenate, Y.; García-Cruz, S.; Oca-Risco, A. M. *Análisis geoambiental del área de pastoreo de la unidad básica de producción cooperativa Antonio Maceo, Moa, Cuba*. HOLOS, v. 5, p. 1–21, 24 dez. 2019.
- Cherobin, S. F. *Estimativa De Erosão E Sua Relação Com Os Diferentes Mecanismos Erosivos Atuantes: Estudo Da Voçoroca Vila Alegre*. UFOP, 116p. Dissertação de Mestrado, 2012.
- DAEE/IPT. *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas*. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989. 92 p.
- DAEE. *Controle de Erosão*. São Paulo (SP): Departamento de Águas e Energia Elétrica (Secretária de Energia e Saneamento do Estado de São Paulo) / Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2. ed., 92 p. 1999.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018*.
- Furlani, G. M. *Estudo Geomorfológico das voçorocas de Casa Branca*. FFLCH/USP, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 1980.
- Guerra, A. J. T. *O início do processo erosivo*. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S. da; Botelho, R. M. G. *Erosão e Conservação do Solo: conceito, temas e aplicações*. 3a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- IPT. *Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo*, Relatório técnico 131.057 – 205 Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2012.





- IPT. *Cadastro de erosões e inundações*. IPT.BR, 2015. Disponível em: <[https://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=928](https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=928)>. Acesso em: 10 de abril de 2023.
- IPT. *Erosões urbanas de Bauru*. Comitê Da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré, 2002.
- Kertzman, F. F.; Oliveira, A. M. S. *Mapa de erosão do estado de São Paulo*. Revista do Instituto Geológico, v. 16, 1995.
- Koffler, N. F., Montandon, D. T. *Diagnóstico do uso da terra e suscetibilidade à erosão da bacia do alto Batalha (SP), usando técnicas automáticas*. Mimesis, Bauru, v. 21. 1, p. 53-72, 2000.
- Linhares, J. M. D. da S.; Sehnem, E.; Balbinot, E.; Andrade, R. T. G.; Silva, D. P. L. *Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico de uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica do Córrego Hermes - Rondônia*. HOLOS, v. 1, p. 41-59, 31 jan. 2014.
- Macari, R.; Conceição, F. T.; Peixoto, A. S. P.; Kaiser, I. M. *Erosão mecânica nos arenitos do grupo Bauru e sua influência na vazão do rio batalha, Bauru (SP)*. XXIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2019.
- Mercaldi, M. B.; Furegatti, S. A. *Proposta de sistematização de levantamento de fatores condicionantes e identificação de feições erosivas*. 10ª Reunião de Estudos Ambientais. Porto Alegre, RS, 2020.
- Oliveira, A. L. P. De; Francisco, M. R.; Furegatti, S. A. *Análise Temporal e Evolutiva das Erosões Lineares Hídricas Urbanas em Encosta Localizada na Região de Nascente do Córrego da Grama*. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, v. 10, p. 98-113, 2022.
- Oliveira, M.A.T. *Erosion disconformities and gully morphology: a threedimensional approach*. CATENA, volume 16, nº4/5, p. 413-423, 1989.
- Panachuki, E. et al. *Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, out. 2011.
- Rodrigues, J. E; Vilar, O. M. *Estudo da erosão interna em boçorocas através da teoria do carreamento*. In: ABGE – 4o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Belo Horizonte, 1984.
- Salomão, F.X.T. *Erosão e a ocupação rural e urbana*. In: 3º Curso de Geologia de Engenharia Aplicada a Problemas Ambientais. AGAMA-DIGEM: São Paulo/SP. Pág. 44-71, 1992.
- Salomão, F. X. T. *Processos Erosivos em Bauru (SP): Regionalização Cartográfica Aplicada ao Controle Preventivo Urbano e Rural*. São Paulo (SP): USP, 200p. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, 1994.
- Salomão, F. X. T. *Controle e prevenção dos processos erosivos*. In: Guerra et al. *Erosão e conservação dos solos; conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil. Cap. 7, 2007.



- Setzer, J. *Os solos do Estado de São Paulo: relatório técnico com considerações práticas*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1949. 387 p. (Bibliografia Geográfica Brasileira. Publicação, 6).
- Silva, D. D. E. D.; Felizmino, F. T. A.; Oliveira, M. G. D. *Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares-PB*. HOLOS, v. 8, p. 148–165, 13 jan. 2015.
- Stabile, R. A.; Vieira, B. C. (2008) *Distribuição das Feições Erosivas da Bacia Água da Faca, Piratininga (SP): uma análise geomorfológica preliminar*. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2008, Belo Horizonte (MG). União da Geomorfologia Brasileira (UGB).
- Vieira, N. M. *Estudo Geomorfológico das Boçorocas de Franca. SP. Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita"*. Franca. Tese de doutorado, 1978.
- Xujiongxin. *Benggang erosion: the influencing factors*. In: Catena. V.27. 1996. p. 249 – 263.
- Zachar, D. *Soil erosion: Developments in soil science*. Amsterdam; New York: Elsevier Scientific, 1982. 547p.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Francisco, M. R., de Oliveira, A. L. P., & Furegatti, S. A. (2023). LEVANTAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL E EVOLUTIVA DAS EROSÕES HÍDRICAS LINEARES EM UMA ENCOSTA AMOSTRAL DO CÓRREGO DO LEOPOLDO. HOLOS, 3(39). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/oj>

#### ABOUT THE AUTHORS:

##### M.R. FRANCISCO

Civil Engineering Undergraduates at the São Paulo State University/UNESP.  
E-mail: [matheus.ribas@unesp.br](mailto:matheus.ribas@unesp.br)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3684-6335>

##### A.L.P. OLIVEIRA

Civil Engineering Undergraduates at the São Paulo State University/UNESP.  
E-mail: [ana.pascucci@unesp.br](mailto:ana.pascucci@unesp.br)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0692-6017>

##### S.A. FUREGATTI

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
E-mail: [simone.furegatti@unesp.br](mailto:simone.furegatti@unesp.br)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9408-0424>

**Editor In Charge:** Francinaide de Lima Silva Nascimento  
**Pareceristas ad hoc:** Felipe Fernandes e Edson Campanhola Bortoluzzi





Received June 5, 2023  
Accepted: November 27, 2023  
Published: December 14, 2023

