

## **Erosão hídrica e antropogênica na formação de voçorocas na cidade de Teófilo Otoni**

Hydric and anthropogenic erosion in the formation of gullies in the city of Teófilo Otoni

Erosión hídrica y antropogénica en la formación de cárcavas en la ciudad de Teófilo Otoni

Recebido: 29/06/2022 | Revisado: 09/07/2022 | Aceito: 14/07/2022 | Publicado: 21/07/2022

**Breno Alcântara Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9237-280X>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: brenosilvaecv@gmail.com

**Antônio Jorge de Lima Gomes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9560-6213>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: antonio.gomes.br@gmail.com

**Jorge Luiz dos Santos Gomes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1143-0001>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: jorge.gomes.br@gmail.com

### **Resumo**

Através da investigação de áreas de risco de escorregamento de massa localizadas na cidade de Teófilo Otoni, foram identificadas três áreas com intensa atividade erosiva, as quais foram classificadas como voçorocas, sendo a voçoroca 1 no bairro Funcionários, a voçoroca 2 no bairro São João e a voçoroca 3 no bairro Vila Barreiros. Foram realizadas visitas de campo para levantamento de informações sobre a origem desses fenômenos, inclusive com a utilização de drone. Foram levantadas as características da cidade que influenciam diretamente nos processos erosivos, tais como: geologia, relevo, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo. A cidade de Teófilo Otoni apresenta intensa supressão da vegetação, a qual expôs os solos aos agentes erosivos, transformando a cidade em um local com alta predisposição para processos erosivos. Após a análise em campo e com o levantamento bibliográfico, chegou-se ao entendimento de que a voçoroca 1 no bairro Funcionários surgiu de uma obra de drenagem projetada inadequadamente e mal executada pelo poder público municipal. A voçoroca 2 no bairro São João foi agravada pela construção de moradias na crista do talude que direcionou o fluxo do escoamento pluvial para este local. A voçoroca 3 no bairro Vila Barreiros surgiu devido à construção do aeroporto da cidade, que convergiu o escoamento superficial para o local do fenômeno citado. O presente artigo buscou explicar como as erosões hídrica e antropogênica foram as responsáveis pelo aumento de processos erosivos com a consequente formação e agravamento de voçorocas na cidade de Teófilo Otoni.

**Palavras-chave:** Voçorocas; Processos erosivos; Erosão hídrica.

### **Abstract**

Through the investigation of areas at risk of mass sliding located in the city of Teófilo Otoni, three areas with intense erosive activity were identified, which were classified as gullies, being gullies 1 in the neighborhood Funcionários, gullies 2 in the neighborhood São João and gullies 3 in the neighborhood Vila Barreiros. Field visits were made to gather information about the origin of these phenomena, including the use of a drone. The characteristics of the city that directly influence the erosive processes were surveyed, such as: geology, relief, vegetation cover and use and occupation of the soil. The city of Teófilo Otoni presents intense vegetation suppression, which has exposed the soil to erosive agents, transforming the city into a place with a high predisposition for erosive processes. After the field analysis and the bibliographical survey, we came to the understanding that the first gully in the Funcionários neighborhood arose from a drainage project inadequately designed and poorly executed by the municipal government. The gully 2 in the São João neighborhood was aggravated by the construction of houses on the slope crest, which directed the rainfall flow to this location. The gully 3 in the Vila Barreiros neighborhood arose due to the construction of the city's airport, which converged the surface runoff to the site of this phenomenon. The present article sought to explain how hydric and anthropogenic erosion were responsible for the increase in erosive processes with the consequent formation and aggravation of gullies in the city of Teófilo Otoni.

**Keywords:** Gullies; Erosive processes; Hydric erosion.

### **Resumen**

A través de la investigación de las áreas de riesgo de deslizamiento masivo localizadas en la ciudad de Teófilo Otoni, se identificaron tres áreas con intensa actividad erosiva, que fueron clasificadas como voçorocas (cárcavas): voçoroca 1 en el barrio de Funcionários, voçoroca 2 en el barrio de São João y voçoroca 3 en el barrio de Vila Barreiros. Se realizaron visitas de campo para recabar información sobre el origen de estos fenómenos, incluido el uso de la tecnología de los drones. Se estudiaron las características de la ciudad que influyen directamente en los procesos

erosivos, como son: la geología, el relieve, la cubierta vegetal y el uso y ocupación del suelo. La ciudad de Teófilo Otoni presenta una intensa supresión de la vegetación, que expuso el suelo a los agentes erosivos, transformando la ciudad en un lugar con alta predisposición a los procesos erosivos. Tras el análisis de campo y el estudio bibliográfico, llegamos a la conclusión de que la primera cárcava del distrito de Funcionários surgió de un proyecto de drenaje inadecuadamente diseñado y mal ejecutado por el gobierno municipal. Vozoroca 2, en el barrio de São João, se vio agravado por la construcción de casas en la cresta de la ladera, que dirigió el flujo de las lluvias hacia este lugar. El barranco 3 del barrio de Vila Barreiros surgió debido a la construcción del aeropuerto de la ciudad, que hizo converger la escorrentía superficial hacia el lugar del fenómeno citado. El presente artículo buscó explicar cómo la erosión hídrica y antropogénica fueron responsables del aumento de los procesos erosivos con la consecuente formación y agravamiento de las cárcavas en la ciudad de Teófilo Otoni.

**Palabras clave:** Voçorocas; Procesos de erosión; Erosión hídrica.

## 1. Introdução

A erosão do solo pela água tem sido reconhecida como a principal causa da degradação do solo em todo o mundo, estando relacionada com a erosividade das chuvas e com a erodibilidade dos solos, sendo que os principais fatores envolvidos são a topografia, a cobertura vegetal e as práticas de manejo e conservação (Valentin et al., 2005; Ferreira et al., 2021). Os processos erosivos provocados pela ação das águas pluviais são os principais responsáveis pelo desbaste da superfície de muitos taludes localizados em variados bairros da cidade de Teófilo Otoni, amplificados pela ação antrópica, originando voçorocas, com consequente formação de áreas de risco a movimentos de massa (Silva, 2019).

O processo erosivo pode ser entendido como o desgaste da superfície do solo pela ação da água da chuva, ou água de irrigação, pelo vento ou por outros agentes naturais e antropogênicos, que promovem o desbaste, separação e transporte de material geológico ou solo de um local para outro (Soil Science Society of America, 2022). Apesar da dinâmica da erosão seguir uma evolução natural, presente há milhões de anos, as atividades antrópicas, como o uso e ocupação do solo e a introdução de práticas agrícolas intensivas, têm acelerado esse processo (Santoro, 2009; Brito et al., 2020).

A erosão formada pela ação das águas pluviais, erosão hídrica, pode ser dividida em dois tipos principais, de acordo com a maneira como ocorre o escoamento superficial: a erosão linear, formando sulcos, ravinas e voçorocas; e a erosão laminar (Souza et al., 2014; Santoro, 2009). A erosão laminar, também conhecida por erosão superficial (Bigarella & Mazuchowski, 1985) ou erosão em lençol (Santoro, 2009), é ocasionada pelo escoamento irradiado das águas da chuva, que promovem uma lavagem da superfície do terreno, transportando as partículas sólidas desagregadas devido ao impacto das gotículas de chuva. A erosão linear ocorre devido à concentração do escoamento superficial, que cria ranhuras no solo, em forma de sulcos, que evoluem para as ravinas (Santoro, 2009). Quando a erosão linear é influenciada não somente pela ação das águas superficiais, mas também pelas águas subsuperficiais, ocorre o fenômeno conhecido como voçoroca, que representa o resultado do processo erosivo que remove o solo e os seus nutrientes em um estágio muito avançado (Gomes et al., 2020).

Os sulcos representam o estágio inicial da erosão linear, sendo o resultado do aumento da tensão de cisalhamento que ocorre com o desenvolvimento da erosão laminar, elevando a capacidade de desagregação do solo, formando uma rede de canais, com até 0,5 m de profundidade, que podem transportar uma grande quantidade de solo (Lafayette et al., 2011; Santoro, 2009).

As ravinas são a evolução dos sulcos, formadas pela concentração do escoamento superficial que aumenta o raio hidráulico e o perímetro molhado dos sulcos, resultando em sulcos profundos e alongados, com erosão lateral intensa, mas que não atingem o lençol freático, e não são passíveis de correção apenas com práticas simples de correção do solo (Lafayette et al., 2011; Souza et al., 2014).

As voçorocas são o terceiro estágio da erosão linear, formadas pela evolução das ravinas, sendo canais profundos erodidos pelo fluxo da água, podendo ocorrer em solos intemperizados, apresentando formato retangular ou seção transversal em forma de V, que é o resultado da erosão produzida por escoamento superficial e subsuperficial do tipo *piping* (Conoscenti

et al., 2014). A prevenção das voçorocas acontece com a rápida reparação das ravinas e também com a descoberta das suas causas, e quando isso não é mais possível, a sua reparação quase sempre exige a utilização de equipamentos de terraplanagem (Desprats et al., 2011). Muitos autores atribuem o surgimento das voçorocas a um desequilíbrio morfo-hidro-pedológico, onde a intervenção humana tem papel principal, refletida no desmatamento e nas atividades agrícolas e urbanas, originando a erosão antropogênica (Souza et al., 2014).

A cidade de Teófilo Otoni vem sofrendo com problemas devido aos processos erosivos, incluindo o surgimento de voçorocas na zona urbana, decorrentes, principalmente, do crescimento urbano desordenado da cidade, que vem contribuindo para o aumento e ocupação de áreas de risco ambiental e geológico (Gomes et al., 2014). Associam-se a este, as características do solo, a topografia irregular, a cobertura vegetal e o clima da cidade, para formar um ambiente propício para a ocorrência de processos erosivos. Neste sentido, o objetivo principal deste estudo foi analisar a influência da erosão hídrica e antropogênica na formação e agravamento de voçorocas no espaço urbano da cidade de Teófilo Otoni – MG.

## **2. Metodologia**

Este estudo consistiu na avaliação qualitativa e quantitativa dos processos erosivos atuantes nas áreas de risco aos movimentos de massa do tipo R4, localizadas e mapeadas na cidade de Teófilo Otoni por Silva (2019). Esse autor realizou o mapeamento das áreas de risco aos escorregamentos de massa com base no método proposto pelo extinto Ministério das Cidades, indicado para a realização de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR), classificando-as em quatro tipos: baixo (R1), médio (R2), alto (R3) e muito alto (R4). O autor utilizou do método heurístico para realizar o mapeamento, o qual é baseado em levantamentos de campo, e onde a experiência do profissional é mais determinante. Na realização desse trabalho, foram consideradas as áreas de risco muito elevado (R4), e após a análise das mesmas, foram encontrados três taludes com intenso processo erosivo em andamento, cuja perda de solo estava acelerada.

Na avaliação quantitativa, foi realizada a caracterização da área de estudo, incluindo a geologia regional, para saber a origem do solo local; o relevo, para analisar a influência da topografia no processo erosivo, inclusive com a elaboração de mapa de elevação e declividade com o uso do software QGIS; o clima, para identificar o período de maior agravamento da erosão; e a vegetação, para avaliar a espécie regional e a trajetória do desmatamento.

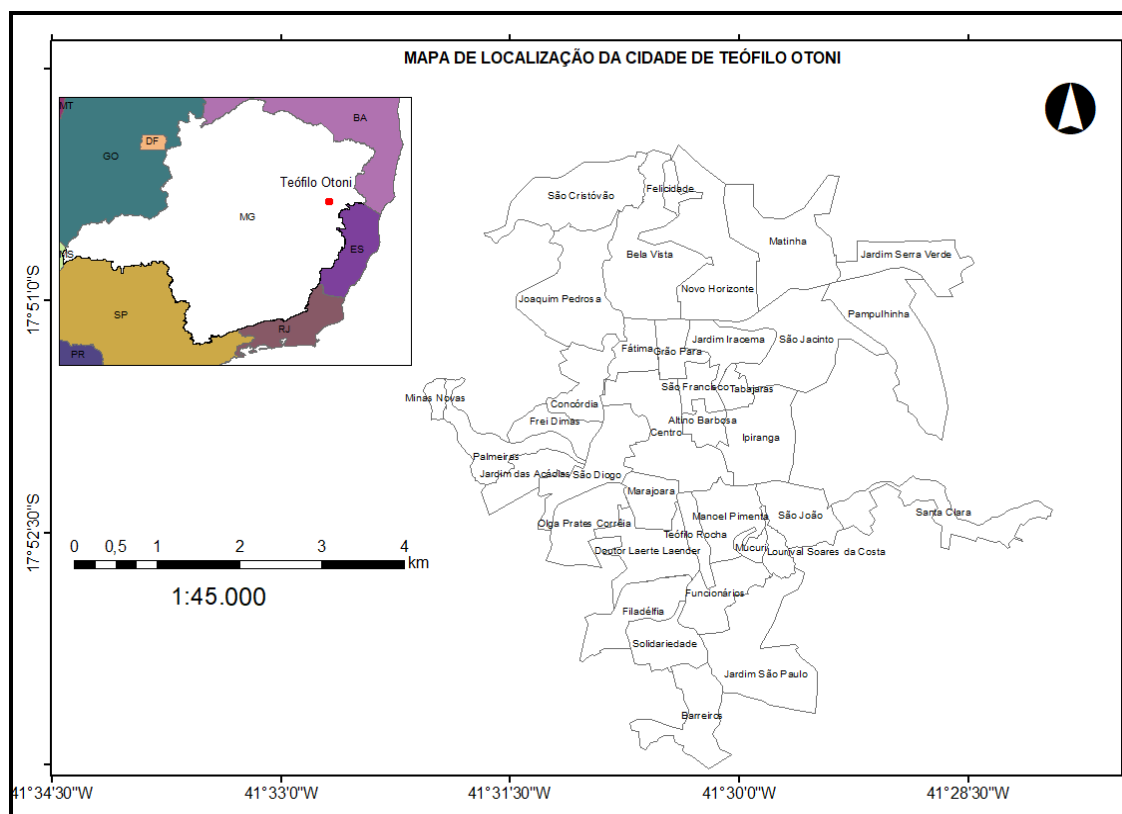
Na avaliação qualitativa, foram efetuadas visitas técnicas nos locais selecionados para a coleta de informações, registro fotográfico, inclusive com imagens aéreas obtidas com o uso de drone, e conversa com moradores locais. Nesta etapa, foi possível analisar a dimensão do canal erodido, o solo, a cobertura vegetal, a topografia, a drenagem e a ocupação e uso do talude, e os dados coletados encontram-se nos resultados.

De posse das informações necessárias e através de levantamentos bibliográficos, classificou-se as três áreas como sendo voçorocas, sendo originadas de erosão antropogênica e hídrica. No decorrer da pesquisa foram analisadas, simultaneamente, a influência de fatores físicos e antrópicos no aumento dos processos erosivos com consequente formação e agravamento das voçorocas.

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O trabalho foi realizado na cidade de Teófilo Otoni, localizada no Vale do Mucuri, região Nordeste do Estado de Minas Gerais, a cerca de 450 km da capital Belo Horizonte. Possui na região central a latitude de 17°51'15" sul e longitude de 41°30'23" oeste. A Figura 1 apresenta o mapa da localização da cidade com a divisão dos bairros e a sua posição no Estado de Minas Gerais.

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.



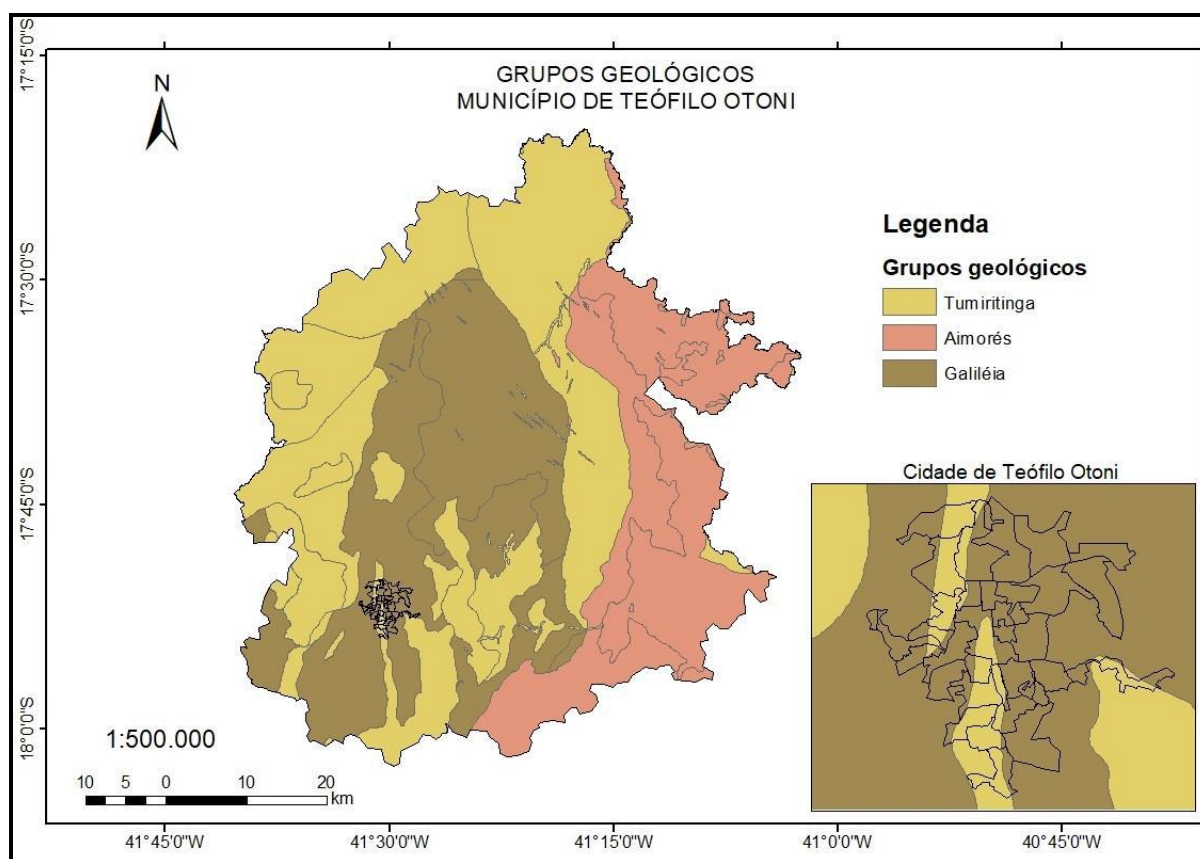
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

### 2.1.1 Geologia regional

Do ponto de vista estrutural/geotectônico, a região de Teófilo Otoni está inserida em grande parte na Província Mantiqueira, e também na Província São Francisco, que estão representadas no território mineiro em domínios dos Cinturões (Orógeno) Araçuaí e porção norte do Cinturão (Faixa) Ribeira, com idades que remontam ao Arqueano (Almeida & Hasui, 1984; Campos-Neto, 2000; Almeida et al., 1973). A Província Geológica Mantiqueira (Bilal et al., 2000) “[...] está instalada a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico” (Vieira, 2007, p. 292). A Província Mantiqueira faz parte do sistema orogênico Araçuaí-Ribeira, e é considerada como parte da Orogenia Neoproterozóica-Cambriana formada por uma série de colisões entre os crátons São Francisco e Congo (Kuribara et al., 2019). A região de Teófilo Otoni está compreendida dentro da unidade estratigráfica Grupo Rio Doce, que é uma bacia associada ao arco magmático do Orógeno Araçuaí da era Neoproterozóica (Novo et al., 2015).

Estão localizadas no entorno de Teófilo Otoni rochas da Formação Tumiritinga, que pertence à unidade litoestratigráfica grupo Rio Doce, de origem pré-cambriana (Vieira, 2007). Além desta formação, também compreende a área de estudo rochas do Tonalito São Vitor, que pertence à unidade litoestratigráfica denominada Suíte Intrusiva Galiléia, que é um corpo granítico que ocorre na região do Médio Vale do Rio Doce (CPRM, 1997; Nalini Jr. et al., 2005). A Formação Tumiritinga predomina em alguns pontos na superfície na região de Teófilo Otoni e apresenta rochas metamórficas do tipo quartzo-biotita gnaiss, cinza, de origem vulcanoclástica, com abundância de grãos muito finos que associado à presença de mármore, indicam que a formação ocorreu em ambiente marinho (CPRM, 1997; Kawata, 2018). O Tonalito São Vitor é predominante nos espaços urbanos e possui biotita tonalito, hornblenda-biotita tonalito e biotita granodiorito como os tipos litológicos principais, que são rochas ígneas (CPRM, 1997). Essas unidades litológicas estão apresentadas na Figura 2.

**Figura 2.** Mapa das unidades litoestratigráficas da região de Teófilo Otoni.



Fonte: Elaborado pelos autores através de dados do Projeto Leste (CPRM, 1997).

Os solos da região são predominantemente Latossolos Vermelho – Amarelo distrófico típico A moderado, estando também presentes os Argissolos Vermelho – Amarelo distrófico típico A moderado, em menores proporções (FEAM, 2010). Os Latossolos são solos altamente intemperizados, o que é uma predisposição à erodibilidade (Conoscenti et al., 2014), e de baixa fertilidade (distróficos), podendo ser argilosos ou muito argilosos, cuja fração mais fina dominante é a caulinita, o que favorece a formação de torrões quando secos e consistência mole quando úmidos (Pereira et al., 2010). Essa fração fina confere ao solo um ganho na resistência ao cisalhamento devido ao aumento da coesão verdadeira, que é a força cuja parcela argilosa empresta ao solo através das ligações químicas entre as suas partículas, as quais são quebradas com o aumento da umidade, diminuindo a força de atrito e facilitando o carreamento do solo pelos agentes erosivos (Silva & Carvalho, 2007; Silva, 2019).

### 2.1.2 Relevo

O relevo está relacionado às três últimas ordens de grandeza da taxonomia da estrutura geomorfológica de uma região, que é definida através de cinco grandezas, nesta ordem de importância: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009). As cinco grandezas que representam a região de Teófilo Otoni estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Estrutura da Geomorfologia da região de Teófilo Otoni.

<b>Domínio Morfoestrutural</b>	Cinturões Móveis Neoproterozóicos
<b>Região Geomorfológica</b>	Província Geológica Mantiqueira/ Grupo Rio Doce e Suíte Galileia
<b>Unidade Geomorfológica</b>	Planalto dos Rios Jequitinhonha/Mucuri
<b>Modelado</b>	Dissecado homogêneo
<b>Forma de relevo</b>	Pontão

Fonte: IBGE (2009) e CPRM (2003).

O relevo de Teófilo Otoni pode ser classificado como sendo um modelado dissecado homogêneo com topo convexo de origem fluvial caracterizado por colinas, morros, vales bem definidos, vertentes com declividades variadas e interflúvios tabulares, com canais de drenagem que não obedecem a uma direção preferencial (IBGE, 2009; CPRM, 2003). A forma de relevo predominante é o pontão, que corresponde a uma forma de relevo residual com feições variadas que ocorrem em encostas de topos convexos de modelos dissecados, caracterizado pela presença de “mares de morros” (IBGE, 2009). São nos taludes que estão localizados a maioria dos bairros da cidade e as principais áreas de risco geológico, resultado do processo de urbanização, evidenciando um quadro de exclusão socioespacial (Silva, 2019).

A Figura 3 apresenta uma imagem da cidade de Teófilo Otoni vista do bairro Viriato com vários topos de taludes convexos sendo ocupados por edificações, e abaixo, um perfil de elevação dessa vista traçado no *Google Earth Pro*.

**Figura 3.** Caracterização do relevo e da expansão urbana na cidade de Teófilo Otoni.



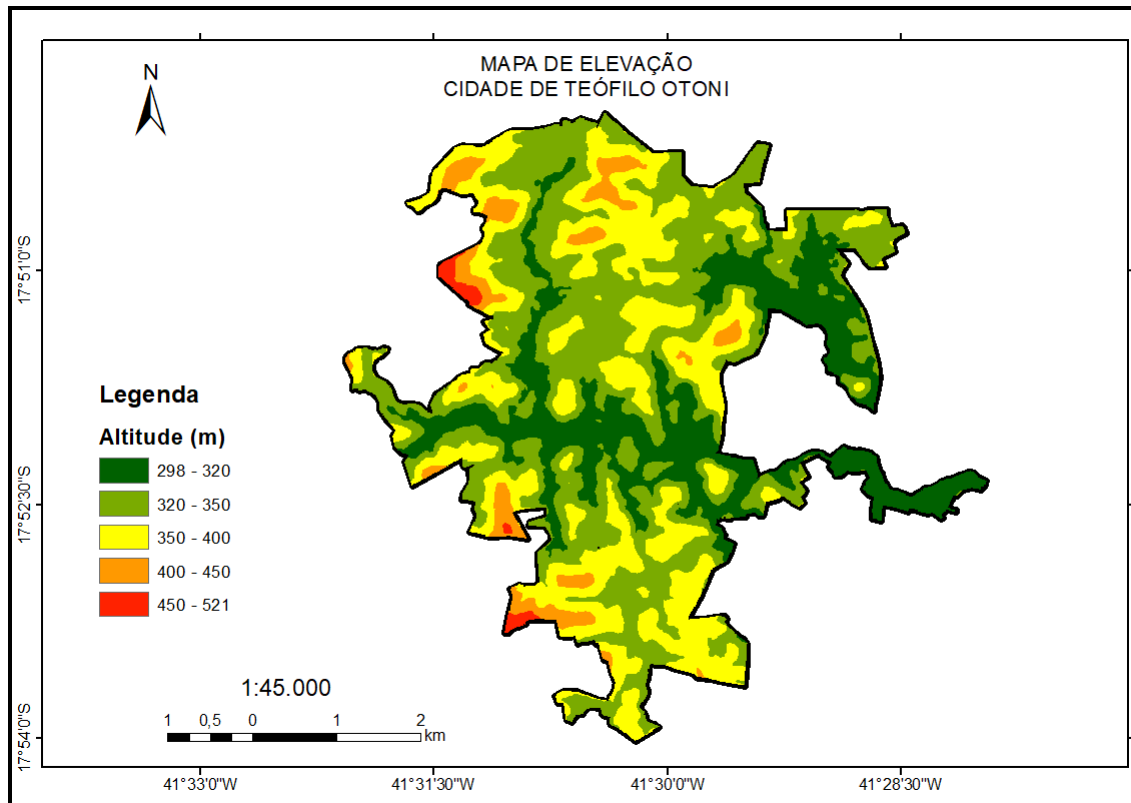
Fonte: Elaborado pelos autores com o perfil de elevação obtido do *Google Earth Pro* (2022).

Podem ser vistas bastantes edificações ocupando os taludes na Figura 3, mas existem muitas áreas abertas entre essas edificações, sem ou com pouca cobertura vegetal, com pontos onde o solo está totalmente exposto, e com a ausência de infraestrutura de drenagem, o escoamento superficial aumenta a erosão nesses pontos, provocando a deposição de sedimentos nas partes mais baixas.

Os atributos topográficos tais como a declividade e a hipsometria, fazem parte dos fatores controladores da

distribuição dos processos erosivos, principalmente por controlarem a intensidade e direção do fluxo hídrico (Souza et al., 2014). Por este motivo, foram elaborados os mapas de elevação e declividade da área de estudo para melhor compreensão da dinâmica desses processos. A Figura 4 apresenta o mapa de elevação.

**Figura 4.** Mapa de Elevação de Teófilo Otoni.

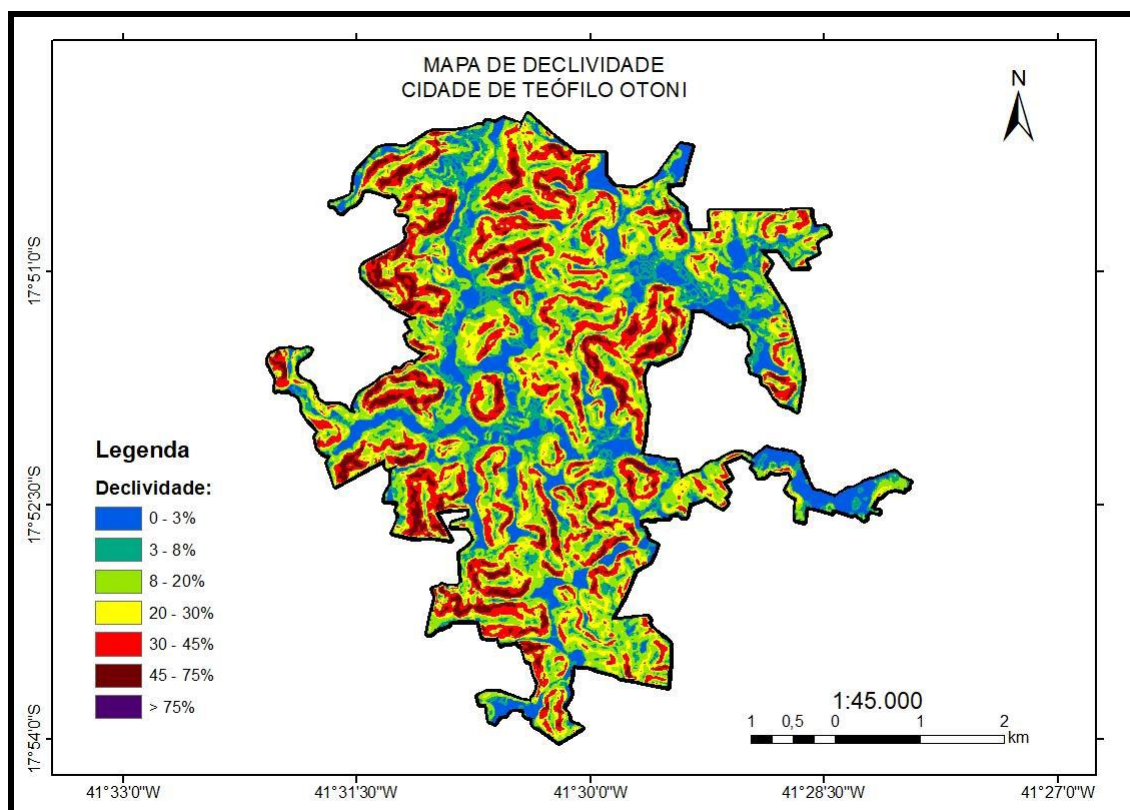


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Através da elaboração do mapa de elevação, foi identificado que grande parte da cidade está compreendida em altitudes entre 298 m e 350 m. Em segundo lugar, estão as áreas com altitudes entre 350 a 400 m, representadas no mapa pela coloração amarela. Algumas áreas isoladas estão entre 400 m a 450 m de altitude, representadas pela cor laranja, e poucas áreas possuem altitude superior a 450 m. Os topos dos taludes da cidade estão, em grande parte, na mesma faixa de altitude. As áreas com a menor elevação no mapa, entre altitudes de 298 m a 320 m, representadas pela coloração verde mais escura ao centro, correspondem aos rios que cortam a cidade, em especial o Rio Todos os Santos, para onde os sedimentos são carreados.

Foi elaborado o mapa de declividade da área de estudo, conforme apresentado na Figura 5. Através do mapa de declividade, foi identificado que a maior parte da cidade possui taludes com declividade entre 20% a 45%, classificando o relevo como forte ondulado, de acordo com as classes de declividade da EMBRAPA (1999).

**Figura 5.** Mapa de Declividade de Teófilo Otoni.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

### 2.1.3 Clima e Pluviosidade

O clima da cidade é caracterizado como sendo tropical quente semiúmido, com invernos secos e verões chuvosos, com temperatura anual média de 24°C e pluviosidade média de 829 mm/ano, compreendendo o período entre 2008 a 2017. A Tabela 1 apresenta a precipitação acumulada mensal na cidade entre os anos de 2008 a 2017, com os meses mais chuvosos sendo novembro e dezembro.

**Tabela 1.** Precipitação pluviométrica (mm) de 2008 a 2017 na cidade de Teófilo Otoni.

Mês/ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total	Média
Jan	124,4	220,8	10,2	59,0	131,6	195,0	100,6	0,0	336,0	41,6	1219,2	121,92
Fev	149,0	18,2	42,8	5,0	64,6	18,0	52,4	56,0	0,0	126,0	532,0	53,2
Mar	103,6	181,0	252,4	172,6	15,6	136,4	110,4	0,0	34,0	26,2	1032,2	103,22
Abr	76,8	132,4	86,2	133,0	64,6	45,4	57,4	41,6	13,0	0,0	650,4	65,04
Mai	1,2	11,8	83,2	7,4	63,2	40,0	11,6	43,8	50,4	0,0	312,6	31,26
Jun	1,2	47,8	13,8	0,8	12,0	38,4	45,8	32,6	20,2	0,0	212,6	21,26
Jul	6,8	11,8	42,0	44,6	21,2	10,8	27,6	23,0	37,2	36,0	261,0	26,1
Ago	16,8	29,4	8,4	5,6	80,8	11,4	27,8	28,0	4,4	3,6	216,2	21,62
Set	32,8	4,6	17,8	5,0	34,4	31,0	1,4	1,0	10,2	37,2	175,4	17,54
Out	2,8	291,2	48,8	160,4	19,6	76,8	146,6	22,4	60,8	81,0	910,4	91,04
Nov	491,0	139,0	284,8	262,4	511,8	108,4	150,4	190,0	153,2	167,4	2458,4	245,84
Dez	197,0	193,4	198,8	244,8	44,6	513,6	198,6	80,2	170,0	130,6	1971,6	197,16

Fonte: Elaborado pelos autores através de dados da estação meteorológica do INMET.



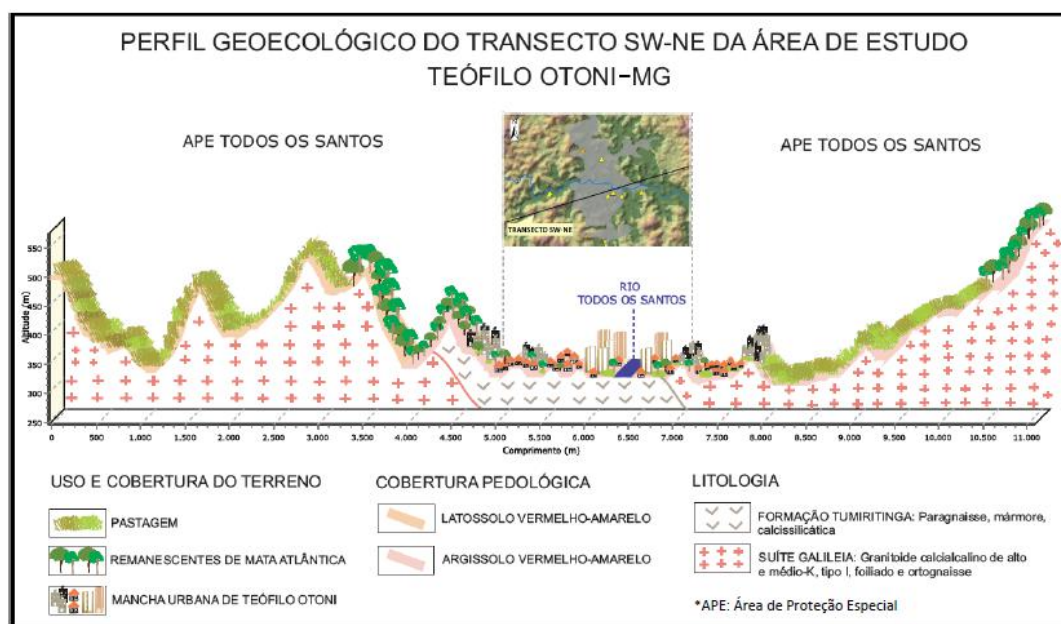
### 2.1.4 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é uma barreira natural de defesa do solo contra a força das gotículas de chuva que caem nele, que são a primeira etapa do processo erosivo, provocando o salpicamento (Silva & Schulz, 2002). A força com que cai as gotículas de chuva faz com que elas se transformem em verdadeiras bombas em miniatura, que golpeiam o solo, desagregando os seus torrões e lançando para longe as partículas menores, provocando até mesmo a diminuição da capacidade de infiltração de água no solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Segundo o Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2019), a região de estudo está inserida no bioma Mata Atlântica. A cidade e o entorno de Teófilo Otoni vêm sofrendo com o desmatamento iniciado com os ciclos iniciais de exploração de madeira da Mata Atlântica; passando pelo ciclo das atividades cafeicultoras no início do século XX; e chegando atualmente na atividade que provoca a maior supressão da vegetação que é a pecuária extensiva (Machado, 2016).

A pecuária é a principal atividade econômica do município de Teófilo Otoni. Dentro da zona urbana da cidade existem pequenas fazendas e chácaras que criam gado livremente pelas pastagens que ficaram no lugar das florestas. Essa prática, sem o manejo do pasto, provoca elevadas taxas de perda de solo (Ayer et al., 2015). A Figura 6 apresenta o perfil geocológico da cidade de Teófilo Otoni apresentando as áreas de pastagem no entorno da zona urbana.

**Figura 6.** Perfil Geocológico do Município de Teófilo Otoni.



Fonte: Machado (2016).

## 3. Resultados e Discussão

Através da investigação das áreas de risco aos movimentos de massa do tipo R4, identificadas por Silva (2019) na cidade de Teófilo Otoni, foram encontradas três grandes voçorocas com processo erosivo acelerado e grande perda de solo dentro do espaço urbano da cidade, sendo elas: Voçoroca 1 (bairro Funcionários), Voçoroca 2 (bairro Vila São João) e Voçoroca 3 (bairro Vila Barreiros). A Figura 7 apresenta a localização destas áreas em uma imagem de satélite do *Google Earth* do ano 2022.

**Figura 7.** Mapa de localização das voçorocas.

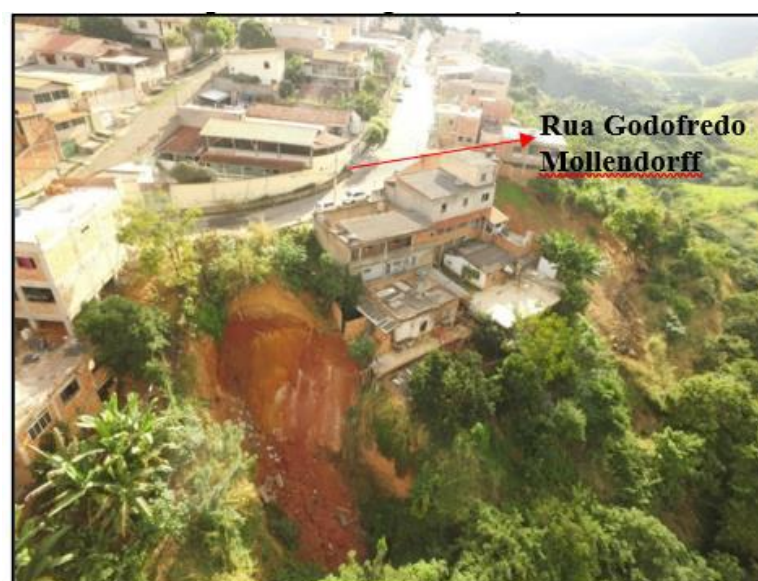


Fonte: Elaborado pelos autores através de imagem do Google Earth com o satélite *LandSat* (2022).

### **Voçoroca 1 – Bairro Funcionários**

Voçoroca localizada na rua Godofredo Mollendorff, com elevada erosão hídrica. A Figura 8 apresenta uma aerofotografia de 2019 com a sua localização e a proximidade dela com as edificações vizinhas, tendo inclusive ocorrido um evento de deslizamento que atingiu algumas casas.

**Figura 8.** Aerofotografia da voçoroca 1 em 2019.



Fonte: Autores (2019).

Essa voçoroca está localizada em terreno com declividade entre 30% a 45% de acordo com o mapa de declividade apresentado na Figura 5, o que já apresenta um erro por parte da fiscalização de obras do governo municipal, uma vez que a lei 6.766 (Brasil, 1979) impede o parcelamento do solo em terrenos com condições geológicas não favoráveis à construção de edificação e cuja declividade seja igual ou superior a 30%.

Essa voçoroca foi o resultado da atuação de grandes processos erosivos, onde o agente principal foi a água pluvial, que ao infiltrar na parte superior do talude, desagregou e transportou o solo para as partes mais baixas, resultando em uma escavação com altura aproximada de 20 metros. A localização desse fenômeno erosivo dificulta o seu acesso, tornando-o de difícil visualização para os transeuntes e moradores locais, devido à vegetação que o circunda.

Através de relatos dos moradores e imagens mais antigas do local, foi possível compreender como ocorreu a formação desse fenômeno hídrico. Tudo começou com uma obra de drenagem do tipo escada hidráulica executada por parte da gestão municipal, que foi feita para direcionar o escoamento das águas pluviais da rua Godofredo Mollendorff até o sistema de macrodrenagem mais abaixo, nesse caso, o córrego São Benedito. O canal de drenagem foi construído em concreto simples, sem armadura, e não resistiu aos esforços provocados pela força da água, sofrendo danos severos com o tempo, o que facilitou a infiltração da água através da crista do talude. Essa escada hidráulica também não contava com comprimento suficiente para levar a água até o córrego citado, provocando o derramamento da água no próprio solo, com uma grande energia cinética, provocando a erosão concentrada. A Figura 9, do ano de 2011, apresenta a direção do escoamento (A) e o canal de drenagem (B), o qual foi construído com concreto simples, ou seja, sem armadura, por isto, não resistiu aos esforços solicitados e foi sendo destruído pela força da água.

**Figura 9.** A) Direção do escoamento na rua Godofredo Mollendorff. B) Canal de drenagem.



Fonte: *Google Maps* (2011).

O canal foi sendo destruído pela força da água fazendo com que cada vez mais água fosse infiltrando no solo, aumentando a desagregação e transporte do solo, tornando a área cada vez mais instável e susceptível a escorregamentos de massa. O transporte de grandes quantidades de sedimentos associados a poluentes até os sistemas hidrológicos, provoca a sedimentação dos rios e a degradação da vida aquática (Han et al., 2021). A intensa sedimentação do Córrego São Benedito pode provocar o seu assoreamento, resultando em impactos socioambientais e econômicos, como a baixa produtividade agrícola, a diminuição da capacidade de armazenagem dos reservatórios e consequentemente o aumento da escassez hídrica (Rabelo & Araújo, 2019).

A Figura 10.A apresenta uma imagem dessa voçoroca no ano de 2018 e a Figura 10.B apresenta uma imagem dessa voçoroca após um evento de escorregamento que aconteceu no mês de dezembro de 2019, considerado o segundo mês que mais chove em Teófilo Otoni, de acordo com a Tabela 1.

**Figura 10.** A) Voçoroca 1 no ano de 2018. B) Voçoroca 1 no ano de 2019.



Fonte: Autores (2019).

### **Voçoroca 2 – Bairro São João**

A segunda voçoroca foi encontrada no bairro São João, escondida por edificações e pelo bambuzal que foi plantado pelos moradores na tentativa de estabilização da área, a qual vem sendo acometida por eventos de escorregamentos nos períodos chuvosos, provocando prejuízos financeiros e uma sensação de insegurança para quem mora ao redor. A utilização do bambu em encostas é uma das práticas da bioengenharia, e devido às características morfológicas dos rizomas, o bambu se torna excelente alternativa para conservação do solo, estabilização de encostas, protegendo dos ventos fortes e diminuindo os riscos aos escorregamentos de massa, atuando com bastante eficiência entre 50 cm a 100 cm de profundidade (Clayton Barbosa, 2012). A Figura 11 apresenta uma aerofotografia de 2019 desta voçoroca obtida com o uso de drone.

**Figura 11.** Voçoroca 2 no bairro São João.

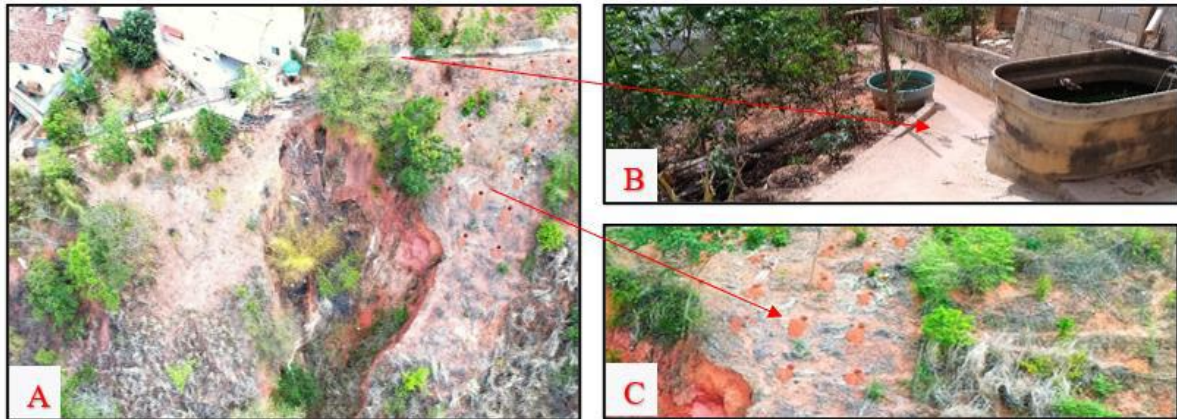


Fonte: Autores (2019).

Na Figura 11 fica evidente a supressão da cobertura vegetal da encosta, com resquícios de vegetação rasteira e algumas árvores pontuais. A voçoroca está bem próxima das edificações localizadas na rua Floriano Peixoto, o que apresenta a tendência evolutiva deste fenômeno, que passa a ser agravado não somente pelas águas superficiais, mas também pelas águas subsuperficiais. Essa voçoroca foi resultado de erosão hídrica agravada com a ocupação da crista da encosta, que direcionou o escoamento superficial para esse local. A Figura 12 apresenta o canal de drenagem que os moradores locais construíram para mudar a direção do escoamento (B), e a abertura de covas para plantio de mudas (C). Esse plantio está sendo feito pelos

moradores porque a revegetação natural é muito dificultada em áreas muito degradadas, como voçorocas, devido à falta de nutrientes e matéria orgânica, por isto, se faz necessário a revegetação antrópica (Marques et al., 2014). É importante que sejam utilizadas espécies nativas para a reabilitação dessas áreas degradadas que tenham a possibilidade de se desenvolver nos solos, clima e com as outras espécies locais (Santana Serato & Carlos Rodrigues, 2010).

**Figura 12.** A) Voçoroca 3. B) Corredor de drenagem. C) Abertura de covas para plantio.



Fonte: Autores (2019).

### **Voçoroca 3 – Bairro Vila Barreiros**

O aeroporto Kemil Kumaira na cidade de Teófilo Otoni está localizado na Avenida Nicolaas Timo Galama, possuindo uma elevação de 479 metros, com uma pista de 1.190 metros de comprimento por 23 metros de largura. As obras para implementação desse empreendimento consistiram, entre outras, em obras de pavimentação e drenagem, para evitar o acúmulo de água na pista de pouso/decolagem. As obras de drenagem conduziram o fluxo de água pluvial para o talude lateral voltado para o bairro Vila Barreiros, o qual sofreu uma grande supressão da cobertura vegetal, o que fez com que o solo fosse cada vez mais atingido indiretamente por escoamento superficial e diretamente por gotículas da chuva, provocando e evoluindo a erosão laminar e erosão por salpicamento, respectivamente, originando e agravando o fenômeno hídrico. A Figura 13 apresenta uma aerofotografia da Voçoroca 3.

**Figura 13.** Aerofotografia da Voçoroca 3 no ano de 2019.



Fonte: Autores (2019).

O processo de urbanização altera a topografia dos terrenos através de obras como pavimentações de ruas e construção de edificações, mudando a dinâmica original do escoamento superficial, o que pode provocar a concentração do escoamento hídrico, suscitando o aparecimento de ravinas e voçorocas (Freitas et al., 2012). Essa alteração da topográfica pode explicar a formação da voçoroca 3 nesse local em específico, uma vez que o talude apresenta forma convexa divergente, de acordo com a Figura 13, portanto, o escoamento não seria naturalmente concentrado. Lemos et al. (2011) afirma que a forma do talude influencia na formação das voçorocas, e que em primeiro lugar, aparecem as voçorocas formadas em superfícies convexas convergentes, e em segundo lugar, as formadas em superfícies convexas divergentes, com apenas 5% dos casos pesquisados.

A Figura 14.A apresenta uma imagem de 2019 do bambuzal plantado para servir como barreira aos sedimentos, aumentar a resistência do solo e conseqüentemente estabilizar o talude. A Figura 14.B apresenta um dos canais de drenagem que escoam as águas vindas da pista do aeroporto, sendo um dos responsáveis pelo agravamento desse fenômeno hidrogeológico. A grande dimensão desse canal indica a longa duração pela qual os agentes erosivos vêm atuando nesse local, e também a pré-disposição do talude para que isso ocorresse, através das características geológica e geomorfológica favoráveis.

**Figura 14. A)** Bambuzal na voçoroca 3.



**B)** Canal de drenagem que termina no canal erodido.



Fonte: Autores (2019).

Ao longo de toda a extensão do talude onde está localizada a voçoroca 3 podem ser encontrados focos de erosão associados à ausência de vegetação, inclusive com indícios de queimadas. Santoro (2009) relaciona a ausência da cobertura vegetal com o aumento das inundações, uma vez que a vegetação auxilia na infiltração da água no solo e diminui o escoamento superficial, diminuindo a taxa de erosão. Então, o córrego São Marcolino, logo abaixo desse local, está sujeito a eventos de inundação em períodos de chuvas intensas. A Figura 15 apresenta uma imagem 3D de 2018 do talude em questão obtida do *Google Earth* através do satélite *LandSat*.

**Figura 15.** Imagem 3D de 2018 do talude onde está localizada a voçoroca 3.



Fonte: Satélite Landsat (Google Earth, 2018).

#### 4. Considerações Finais

A cidade de Teófilo Otoni possui diversas áreas de risco geológico provocadas por ações antrópicas que resultaram em intensos processos erosivos. A maioria destas é resultante da ocupação irregular das encostas através de edificações construídas sem orientação técnica especializada, da extensa retirada da cobertura vegetal com supressão da vegetação, sobretudo em locais próximos das áreas ocupadas, de cortes e aterros irregulares, resultando na mudança dos cursos naturais do escoamento superficial das encostas, a diminuição da infiltração de água no solo, o aumento das enxurradas em períodos de precipitação elevada com consequente aumento da erosão e de eventos de deslizamentos.

A erosão hídrica é muito atuante na cidade, resultado das próprias características de erosividade e erodibilidade, influenciadas por fatores como geologia, relevo e clima, que tornaram essa cidade suscetível aos processos erosivos. E foi pela ação das águas pluviais, direta e indiretamente, e agravado pela ação antrópica, que surgiram as três voçorocas identificadas neste trabalho.

A voçoroca 1, localizada no bairro Funcionários, originou-se de uma obra de drenagem mal executada pela Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni. Ela apresenta grande risco à ocorrência de desastres envolvendo deslizamentos, principalmente nos períodos chuvosos. Isto se deve à proximidade dela com as edificações vizinhas, sendo que uma dessas edificações já foi atingida em um evento de escorregamento. Serão necessárias ações estruturais para estabilização da encosta e construção da drenagem pluvial, além da revegetação da área.

A voçoroca 2, localizada no Bairro São João, foi resultado da ocupação da crista do talude por edificações residenciais. Pela forma convexa do talude, não se tem uma convergência natural do escoamento superficial para o local da voçoroca, o que implica que o direcionamento das águas superficiais foi alterado através da ocupação da sua crista, levando-as para esse local.

A voçoroca 3, localizada no bairro Vila Barreiros, originou-se devido à construção do Aeroporto Kemil Kumaira. As obras de drenagem desse empreendimento, necessárias para evitar o acúmulo de água na pista de pouso/decolagem, direcionaram o fluxo de água pluvial para o local que hoje se encontra essa voçoroca. O erro na projeção da rede de drenagem consistiu na falta de comprimento adequado da tubulação para levar as águas pluviais até os pontos mais baixos da encosta, evitando que ela infiltrasse na parte superior do talude e fosse ocasionando os processos erosivos, o que resultou na formação desse fenômeno geológico.

## Referências

- Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, H. G., & Kawashita K. (1973). *The Precambrian evolution of South American cratonic margin, South of Amazon River*. In: A. E. M. Nairs & F. G. Stehli (eds.) *The ocean basins and margins*. vol. I, p. 411-446.
- Almeida, F. F. M., & Hasuí, Y. (1984). *O Pré-cambriano do Brasil*. Edgard Blucher.
- Ayer, J. E. B., Olivetti, D., Mincato, R. L., & Silva, M. L. N. (2015). Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(2), 180–191. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4531197>.
- Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do solo*. São Paulo: Editora Ícone, (3ª. ed.)1990.
- Bigarella, J. J., & Mazuchowski, J. Z. (1985). *Visão integrada da problemática da erosão*. Associação Brasileira De Geologia De Engenharia.
- Bilal, E., Horn, A. H., Nalini Jr., H. A., Correia-Neves, J. M., & Mello, F. M. (2000). Evolução magmática dos granitóides proterozóicos do setor setentrional da Província Estrutural Mantiqueira, Minas Gerais, Espírito Santo, Brasil. *Geonomos*, 8(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.18285/geonomos.v8i1.151>.
- Brasil. Lei 6.766 (1979). Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.
- Brito, W. B. M., Campos, M. C. C., de Brito Filho, E. G., de Lima, A. F. L., Cunha, J. M., da Silva, L. I., dos Santos, L. A. C., & Mantovanelli, B. C. (2020). Dynamics and spatial aspects of erodibility in Indian Black Earth in the Amazon, Brazil. *Catena*, 185(104281), 104281. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104281>.
- Campos Neto, M. C. (2000). *Orogenic systems from southwestern Gondwana: An approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southwestern Brazil*. In: Cordani U. G., Milani E. J., Thomaz Filho A., Campos D. A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p. 335-365.
- Clayton Barbosa, A. (2012). Bioengenharia utilizando bambus em faixas para o controle de processos erosivos: Uma análise qualitativa. *Polibotânica*, (33), 223-243.
- Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V., & Märker, M. (2014). Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy). *Geomorphology*, 204(204), 399–411. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.021>.
- CPRM. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. (2003). Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil.
- CPRM. *Projeto Leste: folha Teófilo Otoni*. (1997). <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8419>.
- Desprats, J. F., Raclot, D., Rousseau, M., Cerdan, O., Garcin, M., Le Bissonnais, Y., Ben Slimane, A., Fouche, J., & Monfort-Climont, D. (2011). Mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery. *Land Degradation & Development*, 24(1), 22–32. <https://doi.org/10.1002/ldr.1094>.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. (1999). Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 412p.
- Ferreira, A. M., da Silva, A. M., dos Passos, C. A., Valentino, C. H., Gonçalves, F. A., & Junker Menezes, P. H. B. (2021). Estimativa da erosão hídrica do solo pelo modelo Water Erosion Prediction Project na Sub-Bacia do Córrego do Gigante, sul de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 26(3), 471–483. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190216>.
- FEAM. *Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos*. (2010). Fundação Estadual do Meio Ambiente. Fundação Israel Pinheiro. Belo Horizonte.
- Freitas, L. F. de, Guimarães, R. F., Carvalho Junior, O. A. de, & Gomes, R. A. T. (2012). Relacionamento entre a mudança da rede de drenagem devido à construção de estruturas urbanas e o surgimento de voçorocas no bairro do Jardim Botânico no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13(4). <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i4.294>
- Google. Google Earth website. <http://earth.google.com>.



Google. Google Maps website. <https://www.google.com.br/maps>.

Gomes, J. H. G., Pereira, M. G., Francelino, M. R., & Larangeira, J. P. B. (2020). Physical and chemical attributes of soil on gully erosion in the Atlantic forest biome. *Ambiente & Água - an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(2), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2459>.

Gomes, J. L. S., Gomes, A. J. S., & Gomes, P. S. (2014). *Planejamento Ambiental com base na Geologia e sua aplicação no desenvolvimento urbano do Município de Teófilo Otoni*. Anais do Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, Poços de Caldas.

Han, J., Li, B., Lan, G., Dong, Y., Ge, W., & Wang, F. (2021). Mechanistic understanding of linear erosion under concentrated flow based on laboratory simulations. *CATENA*, 207(207), 105708. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105708>.

IBGE. *Manual Técnico de Geomorfologia*. (2009). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2ª ed. 175p.

IBGE. *Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil*. (2019). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Kawata, M. T. (2018). *Evolução tectono-metamórfica da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce, Faixa Araçuaí* [Dissertação]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-17072018-144805/pt-br.php>.

Kuribara, Y., Tsunogae, T., Santosh, M., Takamura, Y., Costa, A. G., & Rosière, C. A. (2019). Eoarchean to Neoproterozoic crustal evolution of the Mantiqueira and the Juiz de Fora Complexes, SE Brazil: Petrology, geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes. *Precambrian Research*, 323(323), 82–101. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.01.008>.

Lafayette, K. P. V., Cantalice, J. R. B., & Coutinho, R. Q. (2011). Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(6), 2167–2174. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000600031>.

Lemos, C. F. de, Fiori, A. P., Oka-Fiori, C., & Tomazoni, J. C. (2011). Erosões concentradas existentes na bacia hidrográfica do alto curso do rio Pitangui – PR. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 12(1). <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i1.219>

Nalini Jr., H. A., Machado, R., & Bilal, E. (2005). Geoquímica e petrogênese da Suíte Galiléia : exemplo de magmatismo tipo-I metaluminoso pré-colisional Neoproterozóico da região do médio rio Doce (MG). *Revista Brasileira de Geociências*, 35. DEGEO UFOP. <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4067>.

Novo, T. A., Soares, A. C. P., Degler, R., & Schulz, B. (2015). Termobarometria de metapelitos granádiferos do Grupo Rio Doce, Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, 23(1). <https://doi.org/10.18285/geonomos.v23i1.658>.

Machado, F. L. V. (2016). *O clima de Teófilo Otoni (MG): integração escalar, tipos de tempo e impactos ambientais* [Dissertação]. UFMG.

Marques, T. D., Baêta, H. E., Leite, M. G. P., Martins, S. V., & Kozovits, A. R. (2014). Crescimento De Espécies Nativas De Cerrado E De *Vetiveria zizanioides* Em Processos De Revegetação De Voçorocas. *Ciência Florestal*, 24(4), 843–856. <https://doi.org/10.5902/1980509816584>.

Pereira, T. T. C., Ker, J. C., Schaefer, C. E. G. R., Barros, N. F. de, Neves, J. C. L., & Almeida, C. C. (2010). Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo Bambuí - Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(4), 1283–1295. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832010000400026>.

Rabelo, D. R., & De Araújo, J. C. (2019). Estimativa e mapeamento da erosão bruta na bacia hidrográfica do rio Seridó, BRASIL. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1414>

Santoro, Jair. (2009). *Escorregamentos*. In: Tominaga, L. K., Santoro, J., & Amaral, R. (org.). *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico. Cap. 4. p. 55-70.

Santana Serato, D., & Carlos Rodrigues, S. (2010). Avaliação e recuperação da área degradada (voçoroca) no interior da fazenda experimental do Glória no município de Uberlândia (MG) - 10.5216/bgg.V30i2.13278. *Boletim Goiano De Geografia*, 30(2), 29–42. <https://doi.org/10.5216/bgg.v30i2.13788>

Silva, A. J. N. da., & Carvalho, F. G. de. (2007). Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 31(5), 853–862. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832007000500003>.

Silva, A. M., & Schulz, H. E. (2002). Redução do desprendimento das partículas do solo mediante uso de resíduos vegetais de origem urbana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (6), 531-534. 10.1590/S1415-43662002000300026.

Silva, B. A. (2019). *Mapeamento das áreas de risco de escorregamento de massa na cidade de Teófilo Otoni* [Dissertação]. UFVJM.

Soil Science Society of America. (2022). [www.soils.org](http://www.soils.org). <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/#>.

Souza, N. D. C., Gianotti, M. A., Larocca, A. P. C., Quintanilha, J. A., & Almeida Filho, G. S. D. (2014). Análise da associação entre características topográficas e tipos de ocorrência de processos erosivos ao longo de linha férrea - estudo de caso: malha Paulista - all (SP). *Boletim de Ciências Geodésicas*, 20(4), 947–969. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702014000400052>.

Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3), 132–153. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>

Vieira, V. S. (2007). *Significado do grupo Rio Doce no contexto do Orógeno Araçuaí* [Tese]. UFMG.