

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – CURSO DE MESTRADO**

SAMUEL MATIAZO

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE VOÇOROCAS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO JATUQUARA (1980-2016), TERRA RICA - PR**

**MARINGÁ - PR
2018**

SAMUEL MATIAZO

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE VOÇOROCAS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO JATUQUARA (1980-2016), TERRA RICA - PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Análise Regional e Ambiental. Linha de Pesquisa: Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Edison Fortes

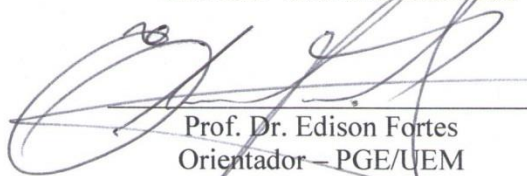
**MARINGÁ - PR
2018**

EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE VOÇOROCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO CÓRREGO JATUQUARA (1980-2016), TERRA RICA - PR

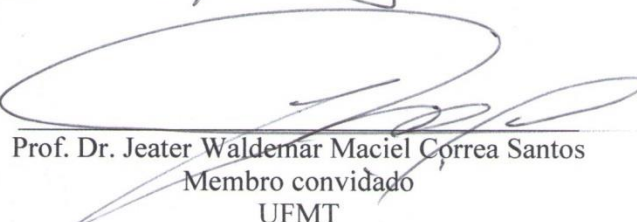
Dissertação de Mestrado apresentada a
Universidade Estadual de Maringá, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia, área de
concentração: Análise Regional e
Ambiental, linha de pesquisa: Análise
Ambiental

Aprovada em **16 de abril de 2018.**

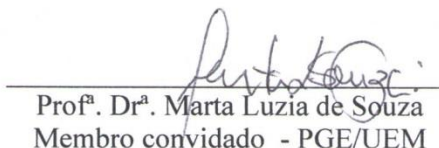
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edison Fortes
Orientador – PGE/UEM



Prof. Dr. Jeater Waldemar Maciel Correa Santos
Membro convidado
UFMT



Profª. Drª. Marta Luzia de Souza
Membro convidado - PGE/UEM

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR, Brasil)

M433e Matiazo, Samuel
Evolução espaço-temporal de Voçorocas na Bacia hidrográfica do córrego Jatuquara (1980-2016), Terra Rica - PR / Samuel Matiazo. -- Maringá, PR, 2018.
116 f.: il., color.

Orientador: Prof. Dr. Edison Fortes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018.

1. Bacia hidrográfica - Córrego Jatuquara - Terra Rica (PR). 2. Erosão hídrica - Terra Rica (PR). I. Fortes, Edison, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 23.ed. 551.41

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me guiado ao longo de dois anos em todas as etapas deste trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Edison Fortes pela oportunidade, críticas construtivas e sugestões para a realização deste trabalho.

Aos meus pais “Valdirene e Valdomiro” pelo amparo nos momentos de dificuldades. Também agradeço ao meu pai por ter sido o meu maior companheiro nos trabalhos de campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

Ao Vanderlei do Laboratório de Sedimentologia, Palinologia e Pedologia do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA-UEM), pela disposição e auxílio nos ensaios de laboratório.

À colega da Pós-Graduação Francieli S. Marcatto pelo apoio em campo.

Ao meu amigo Anderson pelo apoio nos momentos mais difíceis.

A todos os meus amigos e familiares, pelo apoio e companheirismo.

RESUMO

A erosão dos solos tornou-se um problema de cunho socioambiental na região noroeste do Estado do Paraná, sendo a voçoroca, a feição erosiva linear mais impactante nessa região. A bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, localizada no município de Terra Rica, tem como destaque a ocorrência de processos erosivos acelerados que causam intensa degradação da cobertura pedológica e oferecem riscos à infraestrutura rural e urbana, resultado da combinação da fragilidade natural do meio físico e o uso inadequado do solo sem a adoção de práticas conservacionistas. O procedimento metodológico pautou-se em quatro etapas, sendo o levantamento de dados, caracterização geral da área de estudo, atividades de campo e laboratório e, por fim, a elaboração de produtos cartográficos e redação com as interpretações dos dados e discussões dos resultados. Por meio de fotografias aéreas e imagens de satélite, dos anos de 1980, 2008 e 2016, foi possível estabelecer três cenários distintos de evolução dessas feições erosivas. A partir dos dados levantados, foram identificadas no ano de 1980 quatro voçorocas que abrangiam uma área de 10.021 m². No ano de 2008, foram identificadas vinte e nove voçorocas que ocupavam uma área de 59.633 m². Em relação ao ano de 2016, constatou-se que as vertentes nas quais haviam sete voçorocas em 2008 foram recuperadas, porém, identificaram-se o surgimento de outras oito voçorocas nesse mesmo período e o avanço das outras vinte e duas voçorocas já identificadas no ano de 2008. Assim, em 2016 foram identificadas trinta voçorocas ocupando uma área total de 70.805 m². Com o intuito de recuperar as vertentes afetadas pelas voçorocas foram realizados apontamentos de medidas de contenção e recuperação das áreas com a presença dessas feições erosivas. Por fim, o levantamento das características físicas e antrópicas permitiram indicar medidas e técnicas de manejo e conservação do solo com o intuito de garantir a sustentabilidade da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

Palavras-chave: Terra Rica. Bacia hidrográfica. Erosão.

ABSTRACT

Soil erosion has become a socioenvironmental problem in the northwest region of the State of Paraná, being the gully, the most impacting linear erosive feature in this region. The watershed of the Jatuquara river, located in the municipality of Terra Rica, is characterized by the occurrence of accelerated erosive processes that cause intense degradation of the pedological cover and pose risks to the rural and urban infrastructure, a result of the combination of the natural fragility of the physical environment and the improper use of the soil without the adoption of conservation practices. The methodological procedure was based on four stages: data collection, general characterization of the study area, field and laboratory activities, and, finally, the elaboration of cartographic products and writing with the interpretations of the data and discussions of the results. Through aerial photographs and satellite images, from the years 1980, 2008 and 2016, it was possible to establish three distinct scenarios of evolution of these erosive features. From the data collected, in 1980 there were identified four gullies that covered an area of 10,021 m². In 2008, twenty nine gullies were identified, occupying an area of 59,633 m². In relation to the year 2016, it was verified that the slopes in which there were seven gullies in 2008 were recovered, but the emergence of another eight gullies in the same period and the advance of the twenty two gullies already identified in the year 2008 were identified. Thus, in 2016 were identified thirty gullies occupying a total area of 70,805 m². With the intention of recovering the slopes affected by the gullies, observations of measures of containment and recovery of the areas with the presence of these erosive features were made. Finally, the physical and anthropic characteristics of the area allowed to indicate measures and techniques of soil management and conservation in order to guarantee the sustainability of the watershed of the Jatuquara river.

Key words: Terra Rica. Watershed. Erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	29
Figura 2 – Afloramento de arenitos da Formação Caiuá	30
Figura 3 – Carta clinográfica da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	32
Figura 4 – Carta hipsométrica da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	33
Figura 5 – Distribuição das classes de solos na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	34
Figura 6 – Totais pluviométricos anuais entre 1980 a 2016	36
Figura 7 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa	38
Figura 8 – Vistas gerais do VANT	40
Figura 9 – Localização dos pontos de campo (observação e descrição) e dos pontos de coleta (amostras de solos)	42
Figura 10 – Mensuração extraída digitalmente no SIG	47
Figura 11 – Polígono em vermelho representando os perímetros das voçorocas ...	48
Figura 12 – Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara no ano de 1980	50
Figura 13 – Dinâmica da população do município de Terra Rica entre 1970 a 2010	51
Figura 14 – Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara no ano de 2008	52
Figura 15 – Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara no ano de 2016	53
Figura 16 – Voçoroca localizada em superfície com declividade de 0-10%	56
Figura 17 – Vista parcial dos processos erosivos instalados na vertente 1	57
Figura 18 – Vista parcial das feições erosivas instaladas na vertente 2	60
Figura 19 – Vista parcial da voçoroca 29 presente na vertente 3	63
Figura 20 – Modelo simplificado da evolução das voçorocas na bacia do córrego Jatuquara	66
Figura 21 – Distribuição das feições erosivas em relação aos compartimentos geomorfológicos	67
Figura 22 – Imagem aérea dos compartimentos geomorfológicos CSC e CDVC	69
Figura 23 – Setores dos compartimentos geomorfológicos CDVC e CIVC	70

Figura 24 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor sul do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	71
Figura 25 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor central do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	74
Figura 26 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor oeste do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	76
Figura 27 – Representação do perfil topográfico transversal (A-B) da voçoroca 9...	77
Figura 28 – Mecanismos que atuam na evolução da voçoroca 9.....	77
Figura 29 – Representação do perfil topográfico transversal (C-D) da voçoroca 9 ..	78
Figura 30 – Representação do perfil topográfico transversal (E-F) da voçoroca 9...	79
Figura 31 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor noroeste do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	81
Figura 32 – Imagem aérea do setor noroeste do CDVC com a presença de voçorocas	83
Figura 33 – Vista parcial da voçoroca 16	84
Figura 34 – Vista parcial do terraço a montante da voçoroca 21.....	86
Figura 35 – Representação do perfil topográfico transversal (G-H) da voçoroca 21	87
Figura 36 – Representação do perfil topográfico transversal (I-J) da voçoroca 20...	88
Figura 37 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor norte do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	90
Figura 38 – Vista parcial da voçoroca 27	92
Figura 39 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor norte do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	93
Figura 40 – Vista parcial do canal de escoamento principal da voçoroca 29	94
Figura 41 – Representação do perfil topográfico transversal (K-L) da voçoroca 29.	95
Figura 42 – Representação do perfil topográfico transversal (M-N) da voçoroca 29	96
Figura 43 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor nordeste do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016	98
Figura 44 – Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor norte do CIVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016.....	101
Figura 45 – Vista parcial da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.....	104
Figura 46 – Vista parcial da porção noroeste da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	104

Figura 47 – Implantação do sistema de barragens na voçoroca 29 105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes hipsométricas	44
Tabela 2 – Relação em (%) do uso e ocupação da terra nos anos de 1980 e 2008 na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	51
Tabela 3 – Relação em (%) do uso e ocupação da terra nos anos de 2008 e 2016 na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	54
Tabela 4 – Distribuição das voçorocas em relação à altitude	54
Tabela 5 – Distribuição das voçorocas em relação à declividade.....	55
Tabela 6 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 1)	58
Tabela 7 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 2)	58
Tabela 8 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 3)	59
Tabela 9 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 4)	59
Tabela 10 – Textura dos horizontes do Latossolo Vermelho (ponto 5).....	61
Tabela 11 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 6)	61
Tabela 12 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 7)	62
Tabela 13 – Textura dos horizontes do Latossolo Vermelho (ponto 8).....	63
Tabela 14 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 9)	64
Tabela 15 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 10)	64
Tabela 16 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 2008 e 2016 (SDVC - setor sul)	72
Tabela 17 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 2008 e 2016 (SDVC - setor central)	73
Tabela 18 – Dimensões espaço-temporal da voçoroca 9 nos cenários de 2008 e 2016 (SDVC - setor oeste)	75
Tabela 19 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas 10 e 11 nos cenários de 2008 e 2016 (SDVC – setor oeste)	80
Tabela 20 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (SDVC - setor noroeste)	82
Tabela 21 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (SDVC - setor norte).....	91
Tabela 22 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 2008 e 2016 (SDVC – setor norte).....	92

Tabela 23 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (CDVC – setor nordeste)99

Tabela 24 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (CIVC – setor norte) 102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo anual de precipitações (1980 a 2016)37

Quadro 2 – Critérios estabelecidos para voçorocas ativas e inativas conforme Salgado et al., (2008)48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. Erosão hídrica pluvial e fatores intervenientes	16
2.2. Escalas erosivas	18
2.3. Erosão no noroeste do Paraná	21
2.3. Erosão no município de Terra Rica	24
2.5. Fotografias aéreas e imagens de satélite como base de dados para os estudos voltados as feições erosivas	25
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.1. Localização	29
3.2. Características do meio físico natural	30
4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	38
4.1. Levantamento de dados	39
4.2. Atividades de campo e laboratório	41
4.3. Elaboração de produtos cartográficos	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1. Mudanças do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara (1980, 2008 e 2016)	49
5.2. Características do relevo intervenientes na gênese e expansão da erosão na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	54
5.3. A suscetibilidade dos solos à erosão acelerada na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	56
5.4. Síntese dos processos de formação e expansão das voçorocas na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara	65
5.5. Evolução morfométrica das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016	67
<u>5.5.1. Compartimento da Superfície de Cimeira (CSC)</u>	67
<u>5.5.2. Compartimento de Cabeceiras de Drenagem e das Vertentes Côncavas (CDVC)</u>	68
5.5.2.1. Setor sul (CDVC)	69
5.5.2.2. Setor central (CDVC)	72
5.5.2.3. Setor oeste (CDVC)	75

5.5.2.4. Setor noroeste (CDVC)	80
5.5.2.5. Setor norte (CDVC)	89
5.5.2.6. Setor nordeste (CDVC)	97
<u>5.5.3. Compartimento dos Interflúvios e das Vertentes Convexas (CIVC)</u>	99
5.5.3.1. Setor norte (CIVC).....	99
5.6. Proposta de recuperação das áreas afetadas pelas voçorocas	102
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
REFERÊNCIAS	109

1. INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um processo alusivo à dinâmica natural do meio ambiente, responsável pelo modelado das diversas paisagens terrestres. Os processos erosivos têm como agentes intrínsecos as ações das águas pluviais e fluviais, do vento e do gelo, que geram contínuas particularidades nas feições geomorfológicas.

Os estudos concernentes aos processos erosivos contemporâneos destacam o homem como um importante agente acelerador desses processos. O homem, ao construir e modificar os espaços geográficos, interfere na dinâmica natural dos ambientes, afetando o equilíbrio dos sistemas.

O histórico de transformação da paisagem no noroeste do Estado do Paraná iniciou-se no processo de colonização nas décadas de 1940-1950. A ocupação da região foi acompanhada por um desmatamento generalizado, que expôs os solos de textura média e arenosa oriundos dos arenitos da Formação Caiuá às ações dos agentes erosivos de rápido desenvolvimento.

Na segunda metade do século XX, a exploração das terras sem a adoção de práticas conservacionistas condicionou o surgimento de fenômenos de degradação ambiental, no caso, os intensos processos de voçorocamentos. As consequências das alterações da dinâmica natural desses ambientes resultaram em impactos socioeconômicos, em especial naqueles concernentes à infraestrutura urbana e produtividade agrícola.

As ações humanas, sejam elas praticadas no meio urbano ou rural, geram modificações no ambiente, alterando o funcionamento do sistema natural. O conhecimento das características e do funcionamento do meio físico é fundamental para a prevenção dos fenômenos de erosão acelerada, bem como para o controle dos processos erosivos já instalados, permitindo identificar áreas suscetíveis à erosão acelerada.

O avanço da tecnologia, produtos de Sensoriamento Remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite) tornaram-se uma importante ferramenta aplicada ao estudo da evolução de feições erosivas, com o intuito de elaborar diagnósticos que apontem as fragilidades dos ambientes físicos, visando direcionar as práticas conservacionistas que objetivam o equilíbrio entre o uso do ambiente pelo homem e o respeito às condições naturais do mesmo.

Na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, situado no município de Terra Rica, região noroeste do Estado do Paraná, após o desmatamento da floresta nativa no período da colonização (1950), o uso inadequado da terra sem a adoção de práticas conservacionistas ao longo da segunda metade do século XX e início do século XXI, potencializou o surgimento e a expansão de inúmeras feições erosivas lineares, que oferecem riscos para a expansão da malha urbana, bem como para as atividades econômicas nas pequenas propriedades, além do expressivo impacto causado pela erosão acelerada ao ambiente natural.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo geral compreender a evolução espaço-temporal de voçorocas na transformação da paisagem da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, no período de 1980 a 2016. Neste contexto, a pesquisa buscou cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um levantamento dos fatores naturais e antrópicos intervenientes no surgimento e expansão de voçorocas na bacia;
- Compreender o funcionamento e desenvolvimento das voçorocas, bem como suas relações pedogenéticas e morfodinâmicas;
- Detalhar as dimensões das voçorocas com base em fotografias aéreas do ano de 1980 e imagens de satélite dos anos de 2008 e 2016;
- Propor medidas de contenção e recuperação das áreas degradadas por voçorocas na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

Esta pesquisa se justificou pelos impactos ambientais e econômicos no qual a bacia hidrográfica do córrego Jatuquara está submetida, decorrentes do uso intensivo dos solos sem a adoção de práticas de conservação. A intensificação da erosão remontante ao longo das vertentes tem representado um agente de rápida degradação da cobertura pedológica, bem como motivo de preocupação para os moradores situados no perímetro urbano sul da cidade de Terra Rica-PR, como também, para os proprietários rurais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Erosão hídrica pluvial e fatores intervenientes

Sobre a superfície terrestre incidem diversos processos que se combinam com certa complexidade, resultando na transformação contínua da paisagem natural ao longo do tempo (FILHO e COIADO, 2001). Segundo Salomão et al., (p. 40, 2012) “desde que não haja intervenção da ação humana, tais processos atuam de maneira equilibrada recompondo as condições naturais”. Dentre os processos que atuam na transformação da paisagem, ressalta-se a erosão causada pelas águas pluviais que modelam constantemente as formações geomorfológicas da superfície terrestre.

No Brasil, a erosão hídrica pluvial apresenta ocorrência mais frequente e se processa com maior rapidez, já que grande parte do país se localiza em zona climática tropical. Causa grandes prejuízos às atividades econômicas, principalmente no setor agrícola, além de acarretar instabilidade ao próprio meio ambiente (PEREIRA et al., 2003). Nos tempos atuais, a erosão vem sendo influenciada não apenas pelas condições naturais do ambiente, mas também pelas ações antrópicas, diferenciando-se da erosão geológica.

Quando o processo erosivo ocorre sob condições naturais ou não perturbadas, um estado permanente de equilíbrio é estabelecido, não se verificando maiores danos. Entretanto, quando esta condição de equilíbrio é rompida, a erosão cria sérios problemas, não só na agricultura, ocasionando perda gradual na capacidade produtiva, mas também no manejo dos recursos hídricos, contaminando-os com sedimentos e poluentes de origem difusa. (LOHMANN e SANTOS, 2005).

O processo erosivo causado pela água da chuva ocorre quando há ruptura do equilíbrio natural existente na cobertura pedológica, onde as forças advindas de fatores climáticos, como a chuva, passam a desequilibrar esse sistema (PEREIRA, et al., 2003). O homem, ao interferir no ambiente natural por meio da ocupação e reordenação do espaço geográfico, permite a aceleração de fenômenos que se manifestariam em longo período de tempo, acarretando o desequilíbrio ambiental desse espaço e podendo causar problemas econômicos ao próprio homem (FILHO e QUARESMA et al., 2011; ZANATTA et al., 2015; SALOMÃO et al., 2017; VIEL et al., 2017).

Neste contexto, uma morfogênese antrópica se estabelece, gerando processos erosivos e de acumulação (NÓBREGA e CUNHA, 2011). A ação antrópica amplia assim a atuação da erosão, podendo tomar proporções muitas vezes irreversíveis, resultando na depauperação do solo de grandes áreas e impossibilitando a produção agrícola (LOHMANN e SANTOS et al., 2005).

Diante do contexto, a erosão acelerada e as problemáticas derivadas desta compactam como um problema nas atividades cotidianas da sociedade, e encontram-se enraizadas no passado, bem como no atual momento da civilização, influenciado pela combinação de um desenvolvimento econômico acelerado sem levar em consideração as fragilidades do ambiente natural. Essa combinação quase sempre resulta em processos erosivos acelerados (GUERRA, 1999).

Segundo Silva Neto (p. 120, 2014) “a intensificação dos processos de degradação ambiental está frequentemente associada aos usos inadequados da terra, que normalmente ocorrem sem o conhecimento prévio da área utilizada”.

Segundo Vestena e Kabiya (p. 24, 2014) “os processos erosivos são variados e dependem principalmente da natureza do solo, da topografia e dos processos hidrológicos”. Neste contexto, nos estudos relacionados aos processos erosivos devem-se observar os atributos naturais do ambiente, como os fatores erosividade, erodibilidade do solo, comprimento da rampa, declividade e as formas das vertentes, englobando conjuntamente, as ações antrópicas, como a cobertura e uso da terra (PEREIRA et al., 2003; VIEL et al., 2017).

A erosividade da chuva está relacionada intrinsecamente a ocorrência de processos erosivos, uma vez que, ao atingir superfícies desnudas, as partículas de solos podem ser lançadas através do ar em distâncias de vários centímetros (MORGAN, 2005). De acordo com Filho e Coiado (p. 3, 2001) “as características das chuvas que podem deflagrar os processos erosivos são, em sua maioria, de alta intensidade e de curta duração”. Neste contexto, a energia cinética, que é uma função da massa e da velocidade das gotas da chuva, determinará o grau de erosividade, ou seja, o potencial da chuva em causar erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005; PEREIRA et al., 2016).

Oliveira e Meis (1985) abordam que, em relação aos atributos do relevo, as vertentes côncavas com declividades expressivas estão associadas à ocorrência de erosão, uma vez que maiores desnivelamentos implicam em maior energia potencial, além de velocidades maiores em função de declividades mais acentuadas.

Em conjunto com os atributos do relevo, as características físicas da cobertura pedológica estão relacionadas à suscetibilidade à erosão, principalmente solos que apresentam textura com altos teores de areia e baixos teores de argila (MARÇAL, 2000; MARÇAL e GUERRA, 2003). No que diz respeito à textura do solo, a granulometria é a técnica mais difundida e conhecida, através dessa análise podemos definir a textura do solo e a sua suscetibilidade à erosão (SANTORO, 2009; GUERRA, 2014).

Diante do contexto, os efeitos da erosão hídrica, além de acarretarem o depauperamento de grandes áreas de terras, promovem também feições erosivas em diferentes escalas.

2.2. Escalas erosivas

A erosão hídrica pluvial é distribuída na escala espaço-temporal em variados estágios que influenciam na ação destrutiva e de transporte dos constituintes inconsolidados da superfície terrestre. A ação das águas pluviais é um fator que desencadeia a erosão dos solos, e que dependendo da sua intensidade, duração e frequência, causará menor ou maior ruptura dos agregados dos solos, bem como no carreamento dos sedimentos por meio do escoamento superficial e subsuperficial.

Os processos erosivos oriundos do escoamento superficial das águas das chuvas iniciam-se a partir da saturação dos solos e/ou da formação de crostas na superfície, que impõem dificuldades na infiltração da água (GUERRA e BOTELHO, 1996). Em geral, são identificados alguns tipos de erosão hídrica: laminar ou em lençol, erosão em sulco, ravinas e voçorocas (SALOMÃO et al., 2012).

Segundo Bacellar (p. 14, 2000) “a erosão laminar por fluxo hortoniano atua na superfície do terreno, eliminando muitas vezes por completo o horizonte pedológico (horizonte A), que lhe confere fertilidade aos solos”. Apesar de pouco perceptível, corresponde ao empobrecimento do solo, uma vez que os nutrientes, matéria orgânica e sedimentos são retirados e carreados para as partes mais baixas do relevo, principalmente para a rede de drenagem, poluindo-as e assoreando-as (NAKASHIMA, 1999).

O momento no qual o fluxo em lençol ganha volume e turbulência através da concentração do escoamento superficial e pela influência do micro-relevo, originam-

se pequenos filetes de água difusos. Neste contexto, “a partir do momento que as águas superficiais se concentram, estas dão origem a formas de erosão lineares com amplitudes, em termos de dimensão e riscos, variáveis” (NÓBREGA et al., p. 108, 2003). Por meio da erosão em sulco, originam-se efêmeros filetes de água através da concentração das linhas de fluxo superficial, que podem evoluir por aprofundamento para ravinas (SALOMÃO et al., 2012).

As ravinas, por sua vez, são formações erosivas lineares que constituem um canal pequeno e estreito, originado por um fluxo superficial de água pluvial. Nesse sentido, “quando se estabelecem ravinas no solo, o escoamento passa de difuso a concentrado, aumentando a velocidade do fluxo de água que desce pela encosta” (GUERRA e BOTELHO, p. 106, 1996). Nóbrega et al., (2003) atribuem algumas características às ravinas, onde:

São consideradas ravinas as incisões lineares, elaboradas essencialmente pelo escoamento superficial concentrado, decorrente de formas de manejo incorretas, construções de estradas, etc., em área rural, ou por arruamentos, impermeabilização da superfície por asfaltamento, etc., na área urbana. O escoamento de água só se verifica durante a ocorrência das chuvas, ficando seco o restante do tempo. (NÓBREGA et al., p. 109, 2003).

A ravina em sua fase inicial pode ser obliterada com as operações normais do preparo do solo, seja por meio do maquinário agrícola e/ou com ferramentas manuais. Porém, quando a incisão erosiva se aprofunda e ganha largura, interrompendo o uso de máquinas agrícolas para o preparo do solo, a evolução erosiva se transforma em voçoroca, que, quando se estabelece, causa grandes prejuízos nas áreas rurais e urbanas (GOUDIE, 1985; GUERRA, 1999; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005; LEPSCH, 2010).

Ravinas e voçorocas são consideradas incisões erosivas que se originam da tendência de sistemas naturais na busca de atingir um estado de equilíbrio dinâmico, ou seja, o equilíbrio entre energia disponível e eficiência desse sistema em dissipá-la. Consequentemente, ravinas e voçorocas são canais incisos por meio de fatores naturais que resultam tanto de desequilíbrios naturais, como induzidos pelo homem (OLIVEIRA, 1999). A voçoroca é a expressão mais flagrante da erosão, sendo ela intensa, profunda e acelerada erosão que rasga o solo (SANTORO e FULFARO, 1996)

As voçorocas estão associadas com a instabilidade da paisagem, pois a sua formação e evolução espaço-temporal está relacionada a processos erosivos acelerados, que onde se instalam causam efeitos danosos ao meio rural e urbano, ocasionando expressivos prejuízos ambientais e materiais. As voçorocas são feições erosivas associadas à dissecação do relevo e resultam da ação integrada de diferentes processos nas encostas, como o escoamento de fluxos d'água superficiais, subsuperficiais e movimentos de massa (OLIVEIRA et al., 1994).

A erosão em voçoroca se desenvolve pela articulação dos fluxos de águas superficiais e subsuperficiais, incluindo-se o aquífero freático com erosão interna chamada de *piping* (SANTORO e FULFARO, 1996; SALOMÃO et al., 2012). Referindo-se ao escoamento interno no solo "*piping*", Nóbrega et al., (2003) abordam que:

É uma erosão hídrica interna que, através de fluxos de água, dá origem a canais, ou túneis simples ou ramificados, pelos quais é evacuado o material mais fino (argilas, siltes e mesmo areia fina). [...] Assim, as voçorocas podem se originar a partir de fontes, em função do *piping*. Podem também evoluir a partir de ravinas, quando estas interceptam o lençol freático. (NÓBREGA et al., p. 109, 2003).

Segundo Guerra (p. 34, 2005) a evolução da voçoroca "pode estar associada com a distribuição das chuvas, com as propriedades do solo, com a cobertura vegetal, com o uso e manejo da terra, etc.". Neste contexto, as ações antrópicas têm influenciado na rápida depauperação dos solos, influenciando no surgimento de voçorocas, ou seja, as voçorocas atuais formam-se onde as águas pluviais se concentram pelo uso da terra sem a adoção de práticas conservacionistas.

A característica física do material constituinte do solo é um fator importante no que concerne a gênese e expansão das voçorocas. Segundo Fleury (p. 203, 1983) "as voçorocas são mais frequentes em terrenos de características friáveis, predominantemente arenosos, areno-argilosos, areno-siltosos e siltosos [...]". Neste contexto, em superfície e subsuperfície, a ação dos agentes erosivos são facilitados pelas características friáveis do solo, pelo caráter arenoso de fácil desagregação dos constituintes da cobertura pedológica.

A evolução morfológica das voçorocas é uma característica importante no que tange a sua abrangência espacial na superfície da vertente. Neste contexto, Nóbrega et al., (p. 109, 2003) abordam que "nas voçorocas são frequentes os

deslizamentos de grandes massas de solos (maciços de terra cisalhados que basculam para o interior do canal), comprometendo uma área marginal importante”.

Segundo Oliveira et al., (p. 11, 1994) os “desbarrancamentos por ação gravitacional e escoamento concentrado no fundo das boçorocas constituiriam mecanismos secundários atuantes da expansão remontantes das mesmas”. Outros fatores também são responsáveis para o rápido avanço das voçorocas, como as alcovas de regressão, filetes de escoamento subverticais, quedas de areia e torrões e fendas nas bordas da incisão erosiva (OLIVEIRA, 1999).

2.3. Erosão no noroeste do Paraná

A problemática erosiva no noroeste paranaense é amplamente discutida em estudos referentes à degradação dos solos por processos erosivos, onde solos oriundos da Formação Caiuá apresentam fragilidade natural, somado ao uso e ocupação da terra desde o período da colonização, propiciaram a formação de feições erosivas, comumente causando degradação ambiental e prejuízos econômicos nas zonas rurais e urbanas da região.

A região noroeste do Paraná teve a sua ocupação acompanhada por um intenso processo de desmatamento a partir do final da década de 1940, sendo palco de um dos maiores reverses ecológicos brasileiros, onde a vegetação nativa da região, a Floresta Estacional Semidecidual, foi substituída pela agricultura (cafeicultura). O benefício esperado com a expansão da cafeicultura, em poucos anos, se transformou em prejuízos crescentes devido à degradação da cobertura pedológica por meio de processos erosivos acelerados (MURATORI, 1996).

Os primeiros problemas decorrentes da retirada indiscriminada da floresta nativa que ocupava o noroeste paranaense foram observados em relação há uma erosão anormal, onde a região mais erodível do Estado do Paraná foi justamente a que se localiza na região de domínio da Formação Caiuá. A erosão na década de 1950 estava em um ritmo tão acelerado que comumente destruía e danificava construções urbanas, vias de comunicação e influenciava problematicamente no abastecimento de água no subsolo (KUROWSKI, 1962).

A consequência mais impressionante da degradação ambiental que a região noroeste paranaense sofreu foi à perda irrecuperável de solos em relação ao

aumento do volume d'água pluvial dos escoamentos superficiais e subsuperficiais, que gerou uma fase agressiva de erosão generalizada irreversível de processos de ravinamentos e voçorocamentos em toda a área com distribuição de solos oriundos dos arenitos da Formação Caiuá (MAACK, 1968; JABUR e SANTOS, 1984, BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985; MENDONÇA, 1990; MURATORI, 1997, GASPARETTO, 2001).

Perante as problemáticas ambientais e socioeconômicas derivadas da erosão acelerada na região noroeste do Paraná, surgiu a necessidade de reduzir a degradação dos solos e propor medidas de combate à erosão. O poder público, por meio de alguns programas, iniciou no Paraná o primeiro combate a erosão no ano de 1960 por intermédio do extinto Departamento de Edificações e Obras Especiais. Com o agravamento da erosão, o governo nas esferas federal e estadual, em colaboração com a Organização dos Estados Americanos (OEA), realizou estudos da erosão na região entre 1970 a 1973. Em decorrência de um acordo com o Ministério do Interior e o Governo do Paraná, no ano de 1976 o Governo do Estado formalizou a Superintendência do Controle da Erosão no Paraná (SUCEPAR), onde as principais obras implantadas foram as de drenagem urbana. Os resultados positivos obtidos ocorreram a partir da década de 1980, com a criação do Programa de Manejo Integrado dos Solos e das Águas (PMISA), tendo como unidade de planejamento as microbacias hidrográficas (PONTES, 1975; BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985, FLEICHFRESSER, 1999).

As pesquisas científicas de âmbito acadêmico contribuíram para a caracterização do meio físico da região noroeste do Paraná e suas fragilidades, bem como para a criação de propostas para o combate a erosão acelerada.

Pontes (1975) por meio dos relatórios dos estudos realizados pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento, na década de 1970, para o controle da erosão da região noroeste do Estado do Paraná discorre do problema da erosão em voçorocas nas áreas urbanas e apresenta as medidas recomendadas para o controle das voçorocas próximas ou dentro das áreas urbanas, bem como recomendações e orientações para projetos que visam o controle das voçorocas.

Jabur e Santos (1984) por meio de um mapeamento geológico de semidetalhe, associado a seções estratigráficas, abordaram novas interpretações sobre o comportamento litoestratigráfico da Formação Caiuá. Discorrem ainda, da

problemática da erosão generalizada dos solos na região de domínio dos arenitos da Formação Caiuá.

Bigarella e Mazuchowski (1985) abordam a temática da erosão numa reflexão interdisciplinar, os problemas e as ações correspondentes. Por meio de inúmeros estudos a cerca das características naturais e antrópicas da região noroeste do Estado do Paraná, discorrem da problemática erosiva nessa região, onde apontam as principais causas bem como propõem o controle da erosão nas zonas urbanas e rurais.

Fasolo et al., (1988) apresentam por meio de levantamentos das características pedológicas, o apontamento de áreas críticas de erosão em diversos municípios do noroeste do Paraná, com o intuito de fornecer subsídios para a implantação de uma política de uso racional das terras.

Mendonça (1990) destaca que a degradação ambiental de todos os aspectos socioeconômicos, atesta a ocorrência na região noroeste do Paraná, de um processo de desertificação ecológica em início de desenvolvimento. Destaca ainda, que embora o fenômeno tenha implicações de origem natural, foi, sobretudo a forma de exploração antrópica da região, que engendrou a degradação ambiental detectada.

Muratori (1996) estudou a fragilidade, em termos ambientais, da paisagem da região noroeste do Paraná, ressaltando a relação entre o relevo e as Areias Quartzosas no sistema natural dessa região, que apresenta como característica principal, uma paisagem com solos arenosos.

Cunha et al., (1999) por meio do estudo em topossequência, visando a caracterização pedológica, discutem a dinâmica erosiva dos solos de uma vertente no município de Umuarama, noroeste do Paraná, onde distinguem os setores das vertentes com maior risco à erosão linear.

Gasparetto (1999) realizou estudos detalhados em três áreas do noroeste do Paraná (Paranavaí, Cianorte e Umuarama) que permitiu verificar suas relações com o Arenito Caiuá. Por meio dos resultados, ressalta-se que as formações ocorrentes na região Noroeste do Paraná, são originadas do Arenito Caiuá por alteração *in situ*.

Nakashima (1999) aborda que as modificações infligidas aos ecossistemas pela ação antrópica no noroeste do Paraná provocaram alterações significativas nas formas e no modelado do relevo. Para tanto, propõe uma cartografia dos sistemas

pedológicos do noroeste do Paraná com o intuito de identificar as distribuições dos sistemas pedológicos e os subsídios para o controle da erosão.

Souza (2001) ao estudar a problemática erosiva no município de Umuarama, região noroeste do Paraná, propõe um sistema de classificação de feições erosivas voltadas à estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas.

Gasparetto e Souza (2003) abordaram no contexto geológico-geotécnico a Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense. Destacam que a cobertura pedológica originária dessa formação rochosa é extremamente suscetível a processos erosivos e que o manejo incorreto desse material acarreta o surgimento de vários tipos de feições erosivas, além de movimentos de massa e assoreamento dos cursos d'água.

Nóbrega et al., (2003) por meio da cartografia ZERMOS (Zonas Expostas aos Riscos de Movimento do Solo) elaboraram a Carta de Zonas de Risco à Erosão de Cidade Gaúcha-PR, com o objetivo de fornecer informações sobre a ocorrência de riscos naturais, ou a sua previsão, capazes de subsidiar o planejamento e a ocupação do território.

STIPP (2006) apresenta a aplicação de uma metodologia de medição de carreamento de solo, que foi utilizada durante o período de um ano, na área urbana de Paranaíba, região noroeste do Paraná, com o objetivo de avaliar a fragilidade do solo e analisar os processos de erosão e arenização.

2.4. Erosão no município de Terra Rica

O município de Terra Rica situado no noroeste do Estado do Paraná apresenta um histórico de erosão similar à região na qual se localiza, onde a erosão é o resultado do descarte das águas pluviais drenadas da malha urbana da cidade bem como do uso intensivo dos solos de textura média e arenosa oriundos dos arenitos da Formação Caiuá sem à adoção de práticas conservacionistas.

Na década de 1950 por ocasião da colonização, a floresta nativa que se localizava no município de Terra Rica, foi desmatada pelas famílias pioneiras para a implantação da cafeicultura, onde por meio das derrubadas e queimadas das matas os proprietários das terras não se interessaram em deixar áreas de reserva legal e

matas ciliares. Entre as décadas de 1970/1980, foi marcada pelo avanço da pecuária sobre as áreas em substituição à cafeicultura (CALÍRIO, 2001).

Neste contexto, após o desmatamento generalizado, o uso intensivo e inadequado do solo e, a ausência de estruturas adequadas de dissipação da drenagem urbana ao longo da primeira metade do século XX e início do século XI, potencializou os processos erosivos, acarretando na depauperação da cobertura pedológica, como também nos riscos oferecidos à infraestrutura urbana da cidade de Terra Rica, conforme alguns estudos realizados no município.

Montanher (2010) destaca os efeitos da urbanização e da drenagem urbana sobre o sistema fluvial do córrego Trajano, relacionando as mudanças na área urbana da cidade de Terra Rica-PR, no período de 1984-2010.

Correia et al., (2011) e Correia (2012) ressaltam que o principal problema ambiental do município segundo a prefeitura local, corresponde a uma feição erosiva de aproximadamente 4,5 Km de comprimento, cortando perpendicularmente a rodovia PR-557, resultado da construção de um canal de escoamento das águas pluviais da malha urbana de Terra Rica na década de 1970 em direção ao córrego Trajano, ao norte do perímetro urbano.

Matiazo e Fortes (2016) destacam a intensa ocorrência de feições erosivas do tipo voçoroca na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara. Apesar dos inúmeros processos erosivos na bacia, ressaltam que as intensificações desses processos encontram-se vinculados às condições morfodinâmicas locais e ao uso intensivo dos solos sem a adoção de práticas de conservação.

2.5. Fotografias aéreas e imagens de satélite como base de dados para os estudos voltados as feições erosivas

Na busca de novas técnicas em vistas aos estudos de processos erosivos, imagens resultantes do Sensoriamento Remoto têm se tornado um importante material de base para a identificação e acompanhamento da evolução das feições erosivas do tipo voçoroca.

Inicialmente, os trabalhos de monitoramento de voçorocas em longo período de tempo foram realizados através de pesquisas de campo. Atualmente, têm-se utilizado também fotografias aéreas e imagens de satélite (MARCHIORO e OLIVEIRA, 2014). Neste contexto, “o sensoriamento remoto tem se constituído em

uma das principais técnicas empregadas nos mais variados estudos relativos à organização do espaço terrestre [...]” (MENDONÇA, p. 151, 1993).

Anderson e Ribeiro (1982) comentam que as fotografias aéreas convencionais integram vários outros tipos de produtos resultantes do Sensoriamento Remoto, incluindo também imagens de satélite, imagens de radar, imagens termais e imagens em infravermelho.

Os sensores remotos, ao gerarem informações mais complexas da superfície terrestre, em especial a geração de modelos digitais de elevação (MDE), proporcionam o desenvolvimento de análises cada vez mais refinadas, com informações espaciais de latitude, longitude e altitude. (PASSARELLA et al., 2016).

As fotografias aéreas, concebidas a partir de aviões e VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) e, as imagens de satélite, possibilitam o monitoramento da evolução das voçorocas em diferentes anos e até décadas, viabilizando também a análise da relação das feições erosivas com os parâmetros ambientais e humanos que influenciam na gênese e na evolução espaço-temporal. Segundo Salgado et al., (p. 76, 2008) “os estudos baseados na análise espacial da erosão linear envolvem principalmente mapeamentos realizados através de fotografias aéreas em escalas de detalhe e semidetalhe”.

O estudo da evolução espaço-temporal das voçorocas é significativo nos estudos geomorfológicos, uma vez que permite compreender o grau de risco que essas feições erosivas impõem a expansão urbana e as atividades agrícolas na zona rural. No noroeste do Paraná, destacam-se alguns estudos de voçorocas realizados por meio de fotografias aéreas e imagens de satélite.

Muratori (1984) ao estudar problemas específicos de erosão acelerada na Bacia do Ribeirão do Rato, nos municípios de Rondon e Guaporema, utilizou-se de fotografias aéreas em cinco cenários diferentes (1952, escala 1:25.000; 1963, escala 1:70.000; 1970, escala 1:25.000; 1974, escala 1:20.000 e 1980, escala 1:25.000), com o intuito de analisar quantitativamente a formação e evolução de voçorocas na bacia.

Mendonça (1993) utilizando-se de fotografias aéreas de dois cenários (1970 e 1980, escala 1:25.000) estudou as erosões urbanas no município de Paranavaí, ressaltando a utilização de fotografias aéreas como uma importante técnica auxiliar na compreensão da gênese e dinâmica das feições erosivas.

Matiazo (2015) estudou as implicações ambientais decorrentes da drenagem urbana no município de Santa Cruz de Monte Castelo-PR, valendo-se como base de dados, fotografias aéreas e imagens de satélite de três cenários diferentes (1980, 2013 e 2016, escala 1:25.000), com o intuito de analisar o rápido avanço de uma voçoroca após períodos de chuvas de alta intensidade.

Em âmbito nacional, diversos autores realizaram estudos relacionados à utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite para a identificação e monitoramento de voçorocas.

Castro (2005) ao estudar os fatores responsáveis pela sensibilidade à erosão linear em Marília-SP, utilizou-se de fotografias aéreas de três cenários (1962, 1972, escala 1:25.000 e 1984, escala 1:35.000) para representar os sinais de erosão por escoamento concentrado (sulcos, ravinas e voçorocas), com o intuito de caracterizar aqueles que concorrem para tornar as coberturas pedológicas sensíveis a erosão.

Salgado et al. (2008) apresenta uma análise da distribuição espacial e o estado de atividade de voçorocas em Paty dos Alferes-RJ, numa perspectiva temporal entre dois cenários (1968 e 1996, escala 1:20.000), com o objetivo de contribuir para o entendimento do comportamento da erosão linear no média vale do Paraíba do Sul fluminense.

Lemos et al., (2011) ao realizar uma análise multitemporal da erosão concentrada (ravina e voçorocas) na bacia hidrográfica do alto curso do rio Pitangui, município de Castro-PR, utilizou-se como base de dados fotografias aéreas dos anos de 1952 e 1985, escala 1:25.000 e 2001, escala 1:33.000 e 1:10.000.

Daniel (2012) ao analisar a gênese e a distribuição das feições erosivas a partir da influência dos parâmetros morfométricos (curvatura, declividade e hipsometria) e antrópicos da bacia hidrográfica do córrego Espreado, município de São Pedro-SP, utilizou-se como base de dados fotografias aéreas dos anos de 1962 e 1972, escala 1:25.000; 2000 e 2006, escala 1:30.000.

Marchioro e Oliveira (2014) utilizando-se de fotografias aéreas e imagem de satélite de três cenários diferentes (1970, escala 1:25.000; 2007, escala 1:15.000 e 2014) com o intuito de verificar a evolução espaço-temporal de voçorocas na rodovia ES 482, no município de Alegre-ES.

Marchioro et al., (2016) tendo em vista que o avanço no conhecimento da evolução de feições erosivas do tipo voçoroca é importante para os estudos geomorfológicos, subsidiando o planejamento ambiental, analisaram a evolução

espaço-temporal de voçorocas na bacia hidrográfica córrego das Flores e na rodovia ES-482 no Estado do Espírito Santo, tendo como base fotografias aéreas de três cenários (1970, escala 1:25.000; 2007, escala 1:15.000 e 2012, escala 1:10.000).

Pinheiro e Redivo (2016) destacam que as fotografias aéreas são um dos produtos do sensoriamento remoto mais utilizados nos estudos de erosão, onde apresentam uma pesquisa da erosão na bacia hidrográfica do córrego Querosene-SP, a partir de fotografias aéreas por meio da técnica de aerofotogrametria digital em quatro cenários distintos (1962, escala 1:25.000; 1978, escala 1:35.000; 1995, escala 1:25.000 e 2006, escala 1:30.000).

Diante do exposto, as informações obtidas a partir de imagens de sensores remotos necessitam muitas vezes serem integradas com outros tipos de informações geográficas. Esse tipo de uso é muito importante e comum quando se trabalha com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), uma vez que essas imagens são uma das principais fontes de dados (CRÓSTA, 1992). Neste contexto, a Ciência Geográfica, diante de uma sociedade cada vez mais modernizada, tem buscado na tecnologia novos caminhos em virtude de sua funcionalidade.

O estudo do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos pressupõe uma série de conhecimentos e informações que pode ser trabalhados de maneira mais ágil, fácil e rápida com as novas tecnologias. Inseridos nesse contexto, as geotecnologias tendem a ocupar um lugar de destaque em virtude de sua funcionalidade. (FITZ, p. 11, 2008).

As geotecnologias têm permitido avanços significativos no campo da pesquisa científica, dentre elas a utilização cada vez mais frequente dos SIGs. Os Sistemas de Informações Geográficas são compreendidos como um sistema de programas computacionais, que integra dados com o objetivo de armazenar, manipular e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecidas (FITZ, 2008).

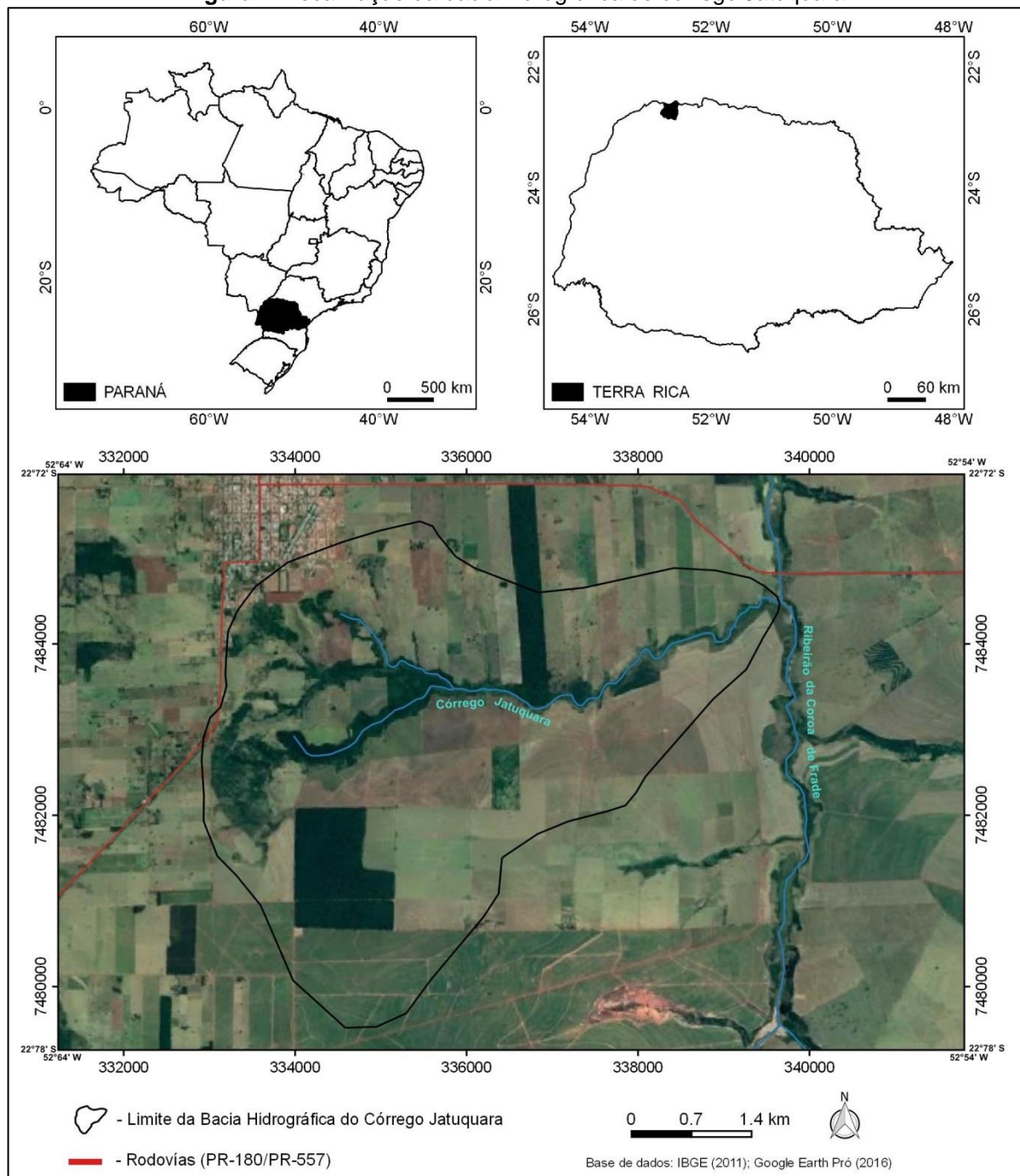
Diante do exposto, as fotografias aéreas e imagens de satélites como fonte de dados tornam-se importantes bases de informações geográficas para o estudo de processos erosivos, uma vez que possibilitam analisar parâmetros ambientais e antrópicos que influenciam na formação e evolução de feições erosivas. Assim, a utilização da geotecnologia, tornou-se uma importante ferramenta de apoio significativo para o planejamento do uso das terras nas zonas urbanas e rurais.

3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

A bacia hidrográfica do córrego Jatuquara localiza-se no município de Terra Rica, no noroeste do Estado do Paraná, entre as latitudes de 22°43'49" e 22°47'02" S e longitudes de 52°37'43" e 52°33'40" W (Figura 1).

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

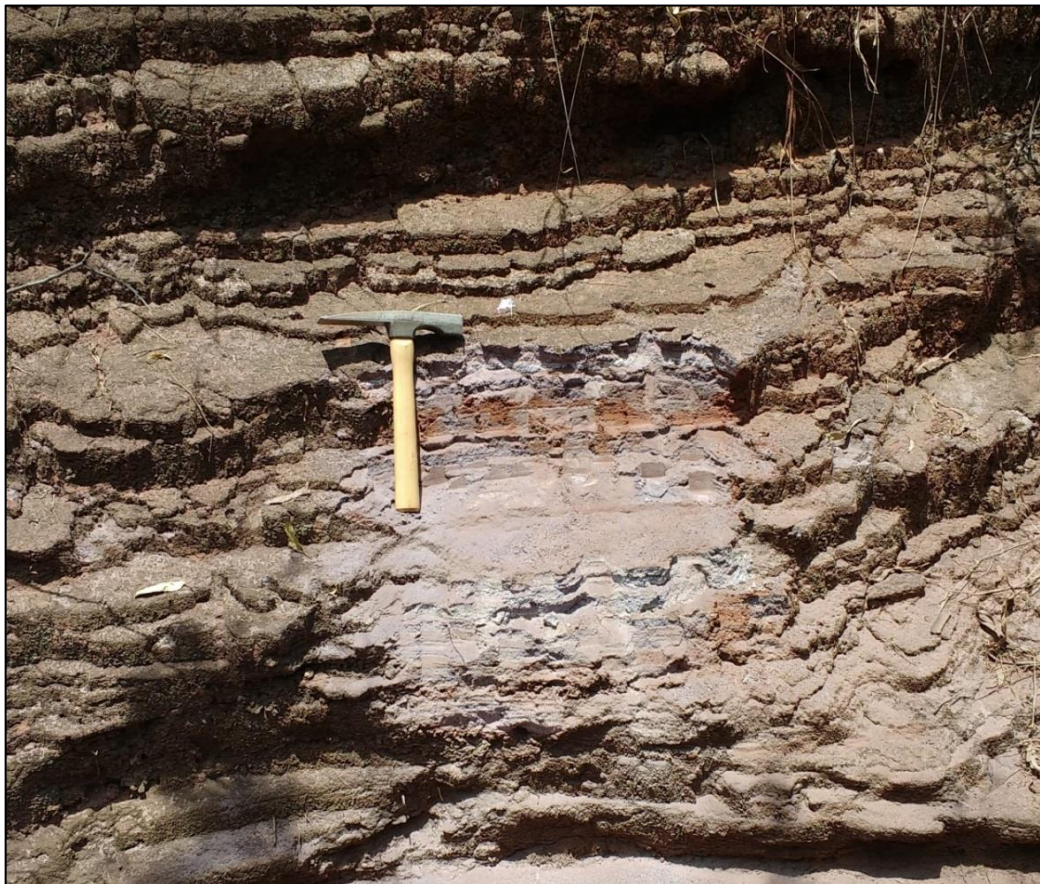


3.2. Características do meio físico natural

A bacia hidrográfica do córrego Jatuquara localiza-se na região de domínio da unidade litoestratigráfica cretácea suprabasáltica de arenitos da Formação Caiuá, pertencente à unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná. A Formação Caiuá é representada por arenitos de frações média, fina a muito fina, com grãos subarredondados a bem arredondados, apresenta cores que variam do vermelho-escuro a arroxeados, distribuídos em estratificações cruzadas e tabulares de médio a grande porte (SOARES et al., 1980; GASPARETTO e SOUZA, 2003).

Na área de estudo, os afloramentos rochosos da Formação Caiuá são encontrados nas médias e baixas vertentes onde são identificadas a presença de voçorocas, já que o entalhe oriundo do escoamento superficial e subsuperficial retirou por completo a cobertura pedológica sobreposta a rocha, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Afloramento de arenitos da Formação Caiuá



Fotografia: Samuel Matiazo (25/11/2016)

Estudos de detalhes em campo foram realizados por Jabur e Santos (1984) em diferentes perfis de afloramentos da Formação Caiuá. Os autores supracitados propõem que a Formação Caiuá seja dividida em duas fácies distintas, ou seja, em dois ciclos deposicionais, denominados de “Fácies Porto Rico (inferior) caracterizado por um ciclo de sedimentação predominantemente eólico e Fácies Mamborê (superior) geneticamente flúvio-lacustre” (JABUR e SANTOS, 1984, p 101).

Fernandes (1992), baseando-se na litologia, estratigrafia e distribuição geográfica, propôs que a Unidade Caiuá seja tratada como grupo, dividindo-a em Formação Goi Erê e Formação Rio Paraná. Neste contexto, Fernandes e Coimbra (1994) propõem a introdução de mais uma formação ao Grupo Caiuá, sendo a reunião das formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio. Ainda de acordo com os autores supracitados, o Grupo Caiuá e suas três unidades relacionadas estariam associadas a ambiente desértico, correspondendo à zona central “Formação Rio Paraná”, zona periférica “Formação Goio Erê” e planícies de lençóis de areia “Formação Santo Anastácio” (FERNANDES e COIMBRA, 1994).

Pop e Bigarella (1975) no que concerne às formações de idade Cenozoica, apontam que estas são representadas por camadas com várias sequências de areias que capeiam toda a região abrangida pela Formação Caiuá (noroeste do Paraná, oeste de São Paulo e sudoeste do Mato Grosso do Sul). Essa cobertura inconsolidada de aspecto maciço foi denominada de Formação Paranaíba, sendo atribuída a origem colúvio-aluvial (POP e BIGARELLA, 1975; BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

A Formação Paranaíba, em alguns casos, segundo Bigarella e Mazuchowski (1985, p. 155) “torna-se difícil distinguir entre o manto de intemperismo (formado de elúvio e colúvio) e o recobrimento de sedimentos cenozoicos, aparentemente desprovidos de estruturas primárias”.

Refutando a colocação dos autores acima citados em sua tese, Gasparetto (1999) ao estudar a cobertura pedológica que recobre a região noroeste do Estado do Paraná, comprovou que as formações superficiais que recobre essa região “tenham sido originadas a partir do Arenito Caiuá por alteração *in situ*, e que, se houve remobilização de materiais ao longo das vertentes, estes são de difícil identificação” (GASPARETTO, p. 155, 1999).

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia hidrográfica do córrego Jatuquara situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, conforme classificação denominada por

Maack (1968). Segundo Santos et al., (2006), no sentido de complementarem os estudos e a classificação pioneira do relevo do Estado do Paraná realizada por Reinhard Maack na primeira metade do século XX, atualizaram o mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. Diante do exposto, a área de estudo localiza-se então na subunidade morfoescultural Planalto de Paranavaí, inserida na unidade morfoescultural denominada de Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto Arenito Basáltico. Topograficamente, o relevo nessa unidade, na porção noroeste paranaense, apresenta dissecação baixa, topos de morros aplainados com o predomínio de vertentes convexas (SANTOS et al., 2006).

A respeito dos arenitos da Formação Caiuá, estes se distribuem por toda a bacia, aflorando na parte oeste da bacia, localidade em que as declividade variam de 15 a 30% (Figura 3), onde as vertentes são predominantemente côncavas com a presença de voçorocas. É nessa parte da bacia que o relevo apresenta as maiores altitudes, situadas entre 385 a 465 m, conforme a Figura 4.

Figura 3 - Carta clinográfica da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

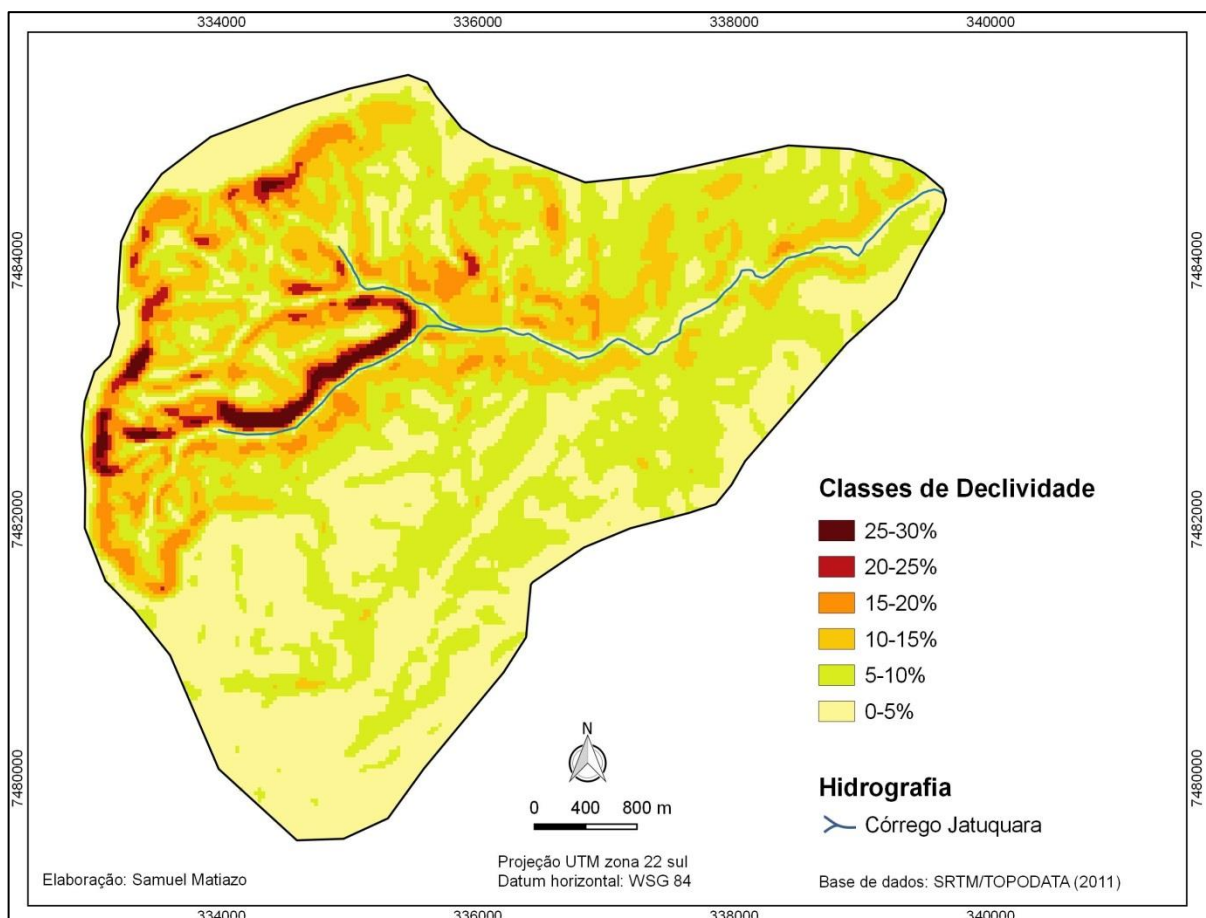
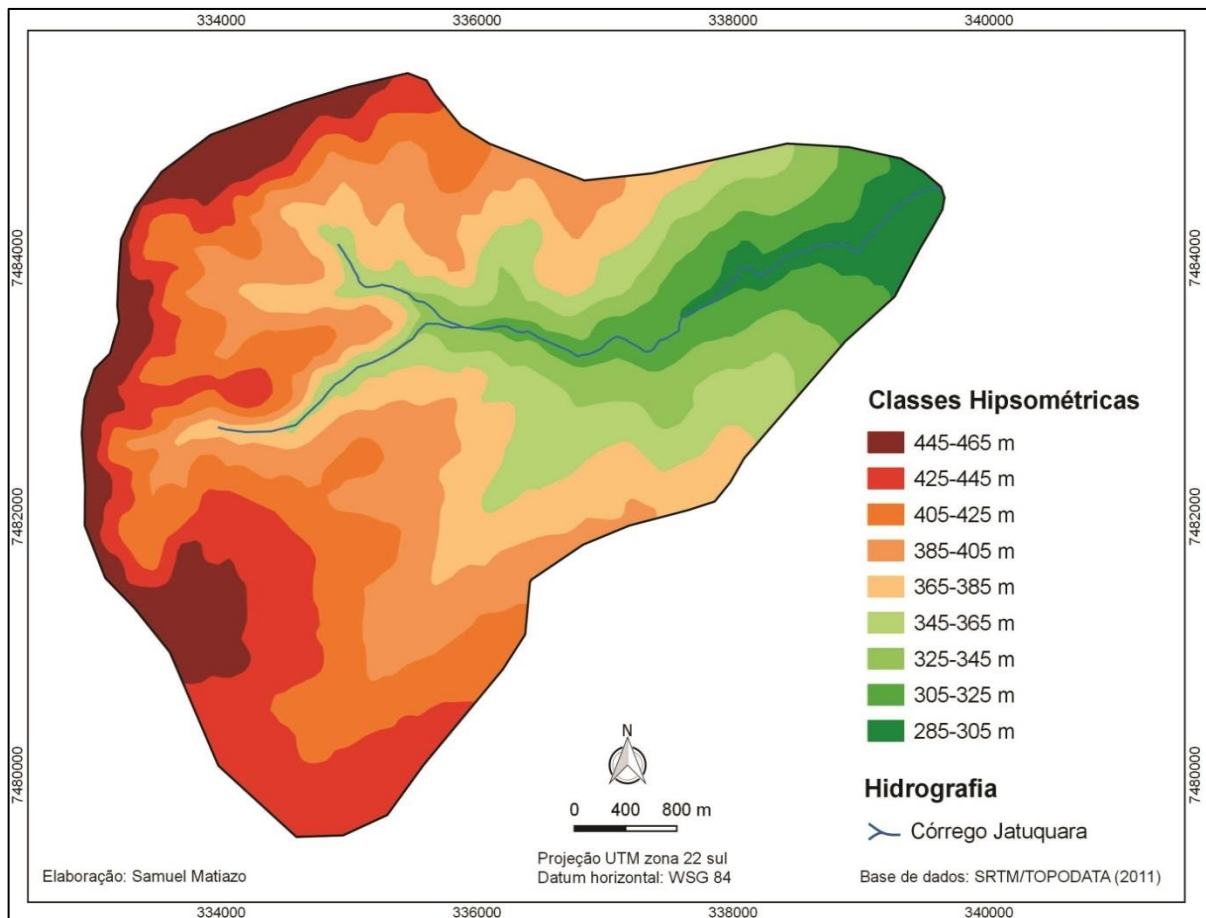


Figura 4 - Carta hipsométrica da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara



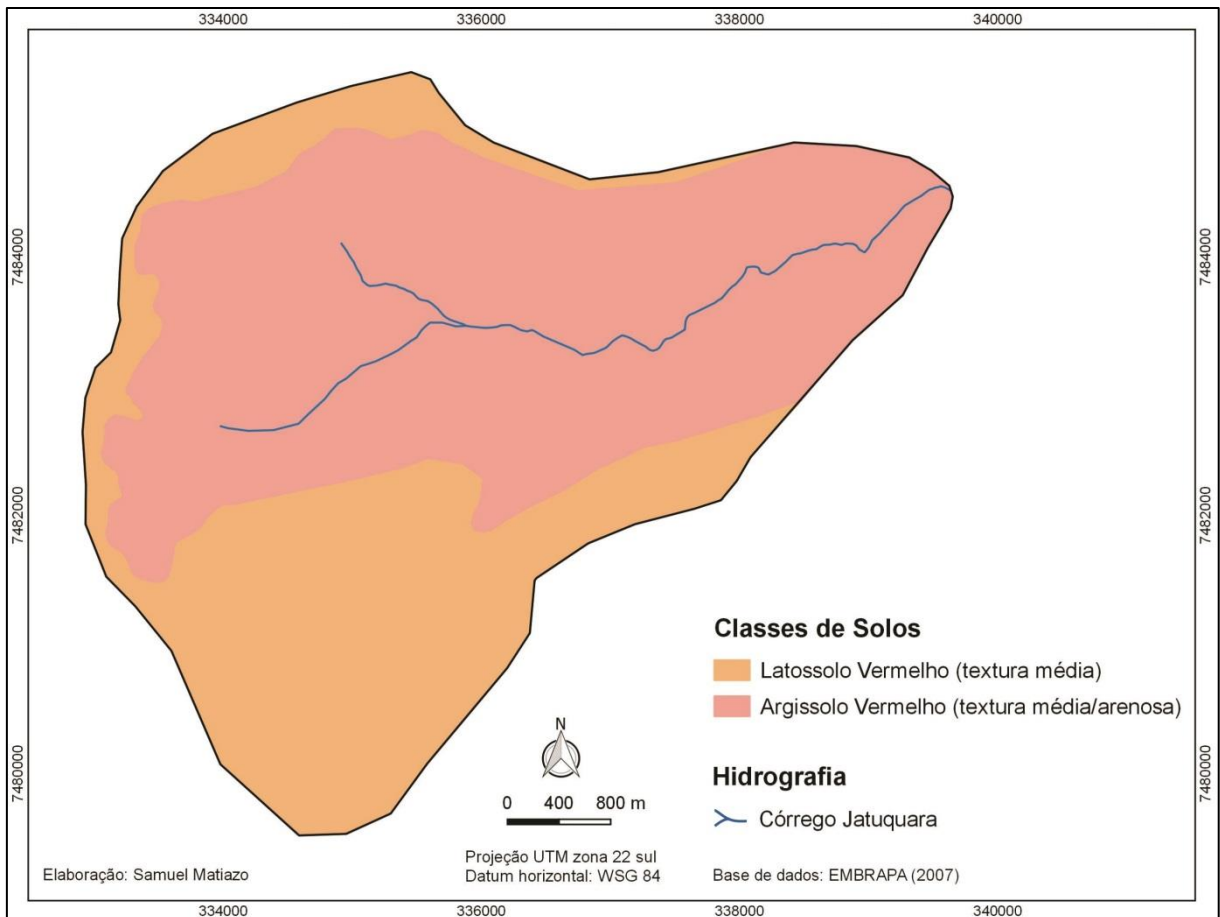
A bacia hidrográfica do córrego Jatuquara possui formato alongado na direção E-W, porém com forte assimetria no terço superior, onde apresenta uma largura de 5,8 km de comprimento. O relevo predominante em todo o terço inferior da bacia hidrográfica é de colinas baixas, com altitudes que variam de 285 a 385 m (Figura 4), apresentando vertentes convexas e retilíneas com declividades entre 0 a 10% (Figura 3).

No que concerne à hidrografia, a bacia hidrográfica do córrego Jatuquara abrange uma área territorial de 23 km², correspondendo ao córrego de segunda ordem denominado de Jatuquara e os seus dois afluentes de primeira ordem, o córrego Misto Brasil e o córrego da Corrida (IBGE, 1973). O córrego Jatuquara deságua a leste no Ribeirão da Coroa de Frade, que, por sua vez, é afluente do Rio Paranapanema.

Em relação aos solos, a bacia hidrográfica do córrego Jatuquara apresenta um sistema pedológico representado pela associação de Latossolos Vermelhos (LV)

de textura média e Argissolos Vermelhos (PV), de textura média e arenosa (Figura 5). São classes de solos que predominam em toda a região noroeste paranaense (FASOLO et al., 1988; GASPARETTO, 1999; NAKASHIMA, 1999; NAKASHIMA e NÓBREGA, 2003).

Figura 5 - Distribuição das classes de solos na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara



Nas porções planas e altas do relevo da bacia, ou seja, nas superfícies de cimeira e nos patamares de vertentes extensas suavemente onduladas, predomina o Latossolo Vermelho de textura média. Esta classe é constituída, segundo Fasolo et al. (1988, p. 7) “por solos muito profundos, com sequência de horizontes A, B, C, sendo a espessura de A + B superior a três metros. São solos de coloração vermelha-escura, de textura média ou argilosa, muito porosos e muito friáveis”.

Nos compartimentos onde o relevo é mais dissecado, nas médias e baixas vertentes, encontra-se o Argissolo Vermelho. Esta classe de solo apresenta uma coloração forte avermelhada, estando relacionada a teores mais elevados de

ferro (NAKASHIMA e NÓBREGA, 2003). Este solo segundo Fasolo et al., (p.10, 1988) “apresenta uma sequência de horizontes A, Bt, e C, facilmente identificáveis. [...] A característica marcante destes solos é a diferença de textura entre o horizonte superficial A, mais arenoso, e o subsuperficial Bt, mais argiloso”.

A cobertura pedológica da área de estudo apresenta sérias limitações ao uso, pois os solos apresentam suscetibilidade à erosão perante as condicionantes climáticas, como as chuvas torrenciais, que geram contínuos processos erosivos. As coberturas pedológicas mais arenosas, como é o caso da região noroeste paranaense, apresentam, segundo Muratori (p. 136, 1997) “como característica uma extrema fragilidade à ação dos agentes intempéricos, sofrendo intensamente a ação de processos erosivos”, como é o caso dos inúmeros processos de voçorocamentos identificados na presente área de estudo.

Em relação à vegetação, originalmente, na área de estudo, encontrava-se uma cobertura florestal homogênea em relação a sua fisionomia, denominada de Floresta Estacional Semidecidual. De acordo com Roderjan et al., (p. 7, 2002) essa floresta “compreende as formações florestais das regiões norte e oeste do Estado, entre 800 m e 200 m de altitude, com florística diferenciada e mais empobrecida em relação às formações ombrófilas”. A Floresta Estacional Semidecidual, de acordo com Leite (p. 123, 1994) “tem como principal característica fisionômica a queda parcial da folhagem na estação desfavorável”, ou seja, na estação mais seca, sendo o inverno para essa região (junho a setembro).

No final da década de 1940 e início da década de 1950, a vegetação nativa do noroeste paranaense foi praticamente dizimada pela ação antrópica predatória. Essa região, de acordo com Muratori (p. 134, 1997) “foi palco de um dos maiores reverses ecológicos brasileiros a partir do final da década de 40, relacionado à eliminação da Floresta Estacional Semidecidual e sua substituição pela agricultura”, na época, o cultivo do café. Posteriormente a erradicação dos cafezais na região, as áreas antes ocupadas por eles foram substituídas pelas pastagens plantadas e, posteriormente, na década de 1990, em extensas áreas, pelas lavouras de cana-de-açúcar (SERRA et al., 2012).

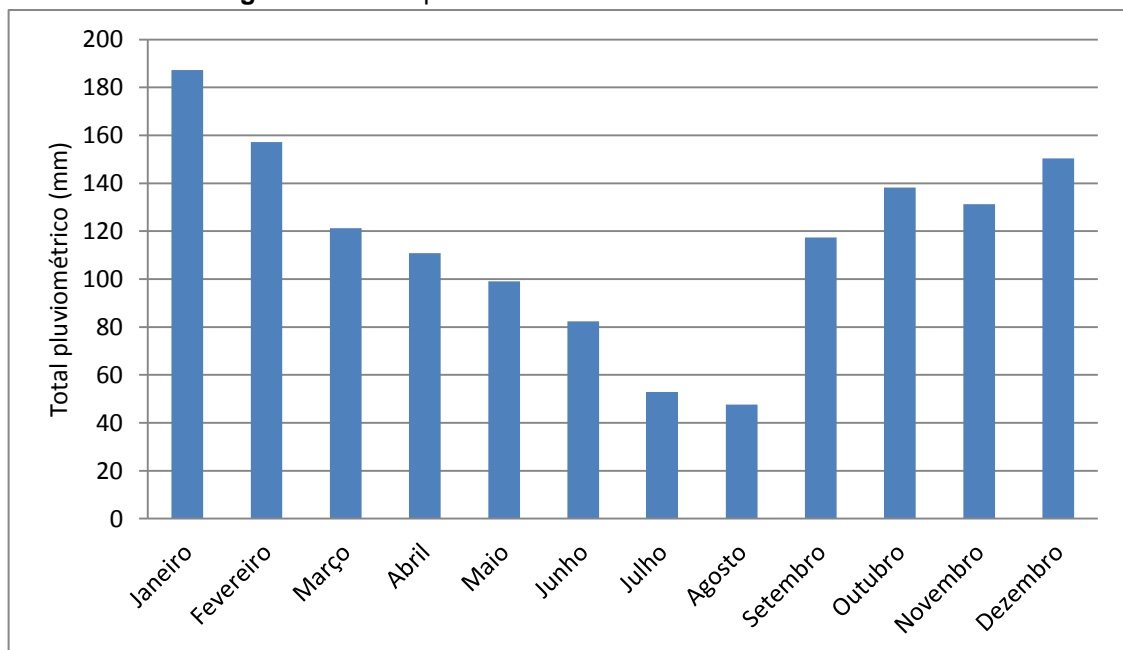
Atualmente, a vegetação nativa do Paraná encontra-se em pequenas áreas de proteção ambiental e em propriedades particulares, principalmente nos fundos de vales. A Floresta Estacional Semidecidual tem na sua constituição fisionômica três estratos característicos, sendo um de árvores, um de

estrato de arvoretas e outro de arbustos e ervas. Predominam na sua composição florística principal a peroba-rosa, o guatambu ou aguái, o carrapateiro, as lianas, os capixinguis, o louro-branco, o ingá-feijão, o ingá-ferradura e a canela-guaíça (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985; LEITE, 1994). No caso da área de estudo, os resquícios da imensa floresta outrora existente encontram-se nos fundos de vales, representada por matas ciliares.

O município de Terra Rica situa-se no domínio do Clima Subquente Úmido, segundo a classificação de Nimer (1972). De acordo com o mesmo autor, esse domínio climático compreende “o norte e oeste do Estado do Paraná, ou seja, os vales dos rios Paranapanema e Paraná e seus afluentes” (NIMER, p. 53, 1972). Neste clima, predominam temperaturas médias anuais superiores a 20°C, com 1 a 2 meses secos, julho e agosto (Figura 6), sendo que nos meses mais frios oscilam temperaturas entre 15°C e 18°C, e nos meses mais quentes, as temperaturas oscilam entre 24°C e 26°C.

Segundo os dados do Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná (SIH-2016), estação da cidade de Terra Rica, o resumo de precipitações dos últimos 36 anos apresentou médias anuais de: 1.395,5 mm, 76,7 dias de chuvas com máxima diária de 178 mm (Quadro 1).

Figura 6 - Totais pluviométricos mensais entre 1980 a 2016



Fonte: Instituto das Águas do Paraná (SIH, 2016)

Quadro 1 - Resumo anual de precipitações (1980 a 2016)

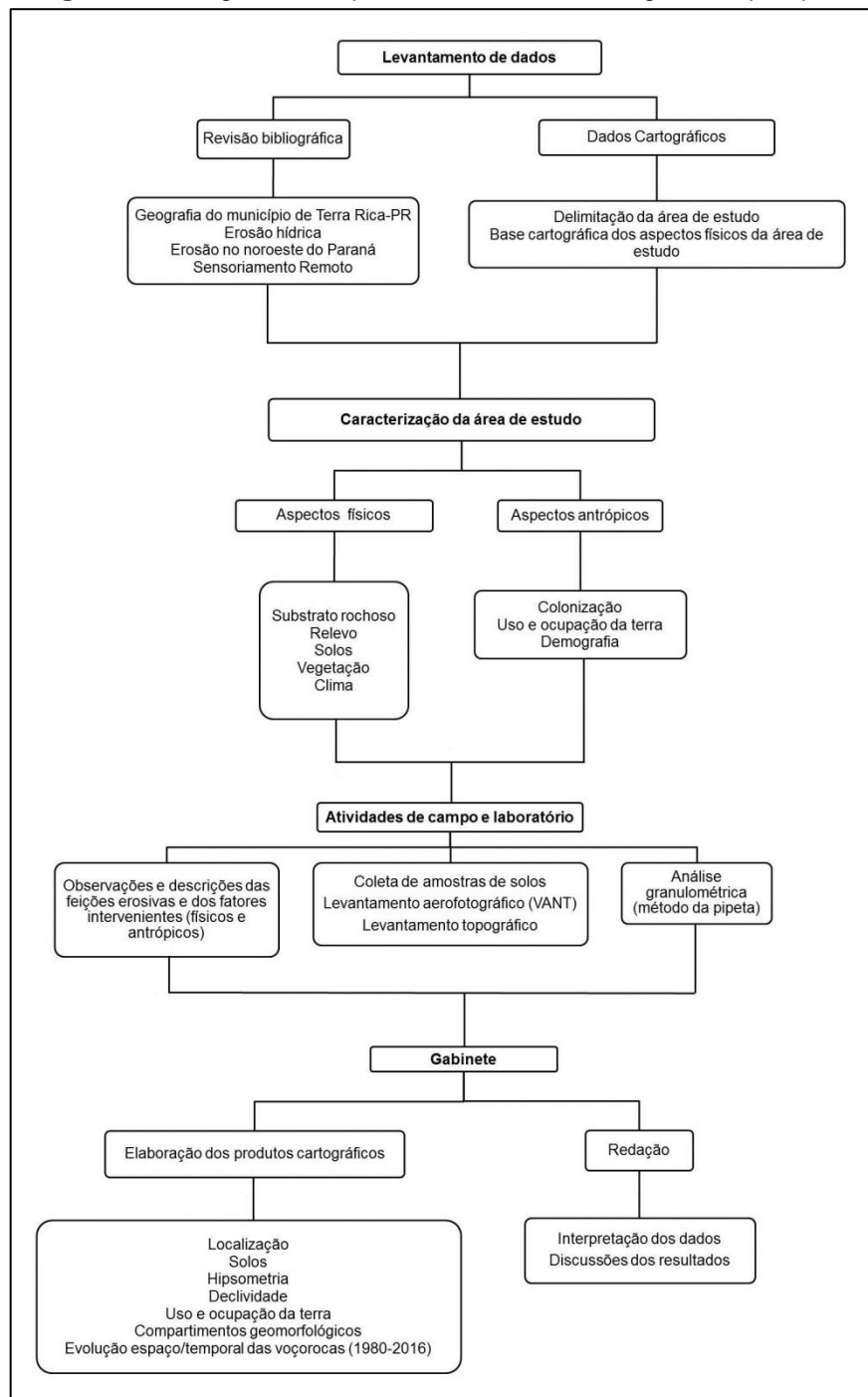
Ano	Dias de Chuva	Classes (mm) – Frequência Diária			
		0-50	50-100	100-150	150-200
1980	115	109	4	2	-
1981	93	90	3	-	-
1982	112	106	6	-	-
1983	109	107	2	-	-
1984	56	54	1	1	-
1985	41	38	3	-	-
1986	75	71	4	-	-
1987	78	77	1	-	-
1988	68	65	3	-	-
1989	87	84	3	-	-
1990	83	79	4	-	-
1991	77	73	4	-	-
1992	77	73	4	-	-
1993	64	61	2	1	-
1994	61	54	7	-	-
1995	57	53	2	2	-
1996	77	74	3	-	-
1997	80	72	8	-	-
1998	82	76	6	-	-
1999	61	56	5	-	-
2000	77	73	4	-	-
2001	91	86	4	-	1
2002	73	68	5	-	-
2003	75	71	4	-	-
2004	72	67	5	-	-
2005	65	59	6	-	-
2006	78	74	2	2	-
2007	65	60	5	-	-
2008	73	67	6	-	-
2009	93	85	8	-	-
2010	76	69	5	1	1
2011	69	64	5	-	-
2012	63	66	5	2	-
2013	69	65	2	2	-
2014	63	66	6	1	-
2015	63	59	3	1	-
2016	69	65	4	-	-

Fonte: Instituto das Águas do Paraná (SIH, 2016)

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para nortear a pesquisa, buscou-se sistematizar em etapas o processo de desenvolvimento, de acordo com as necessidades de dissertar e levantar dados em relação à problemática erosiva na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, conforme o fluxograma apresentado na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa



4.1. Levantamento de dados

Para o embasamento das variadas etapas desta pesquisa, buscaram-se referenciais teóricos para a compreensão dos processos erosivos e dos fatores intervenientes. O levantamento bibliográfico foi realizado a partir da busca de temas específicos que abrangem as características geográficas do município de Terra Rica-PR, bem como para a fundamentação dos métodos e técnicas utilizados. No que concerne à obtenção de dados pluviométricos do Município de Terra Rica, foi possível gerar relatórios com os índices pluviométricos históricos (diário, mensal e anual) entre os anos de 1980 a 2016 por meio do Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, do Instituto das Águas do Paraná (2016).

Para a geração de cartas temáticas visando à caracterização da área de estudo (atributos físicos e antrópicos), e para a representação cartográfica da evolução espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016, foram utilizados materiais cartográficos, fotografias aéreas e imagens de satélite resultantes do Sensoriamento Remoto. Para a obtenção de dados morfológicos (morfologia do terreno, limite da bacia, declividade e altitude), utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil (TOPODATA), elaborado a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), folha (22S54) com resolução espacial de 30 metros.

O mapa de localização da área do município de Terra Rica e do Estado do Paraná foi elaborado a partir do banco de dados de arquivos em formato *shapefile* obtidos pelo Mapa Índice Digital do IBGE (2011).

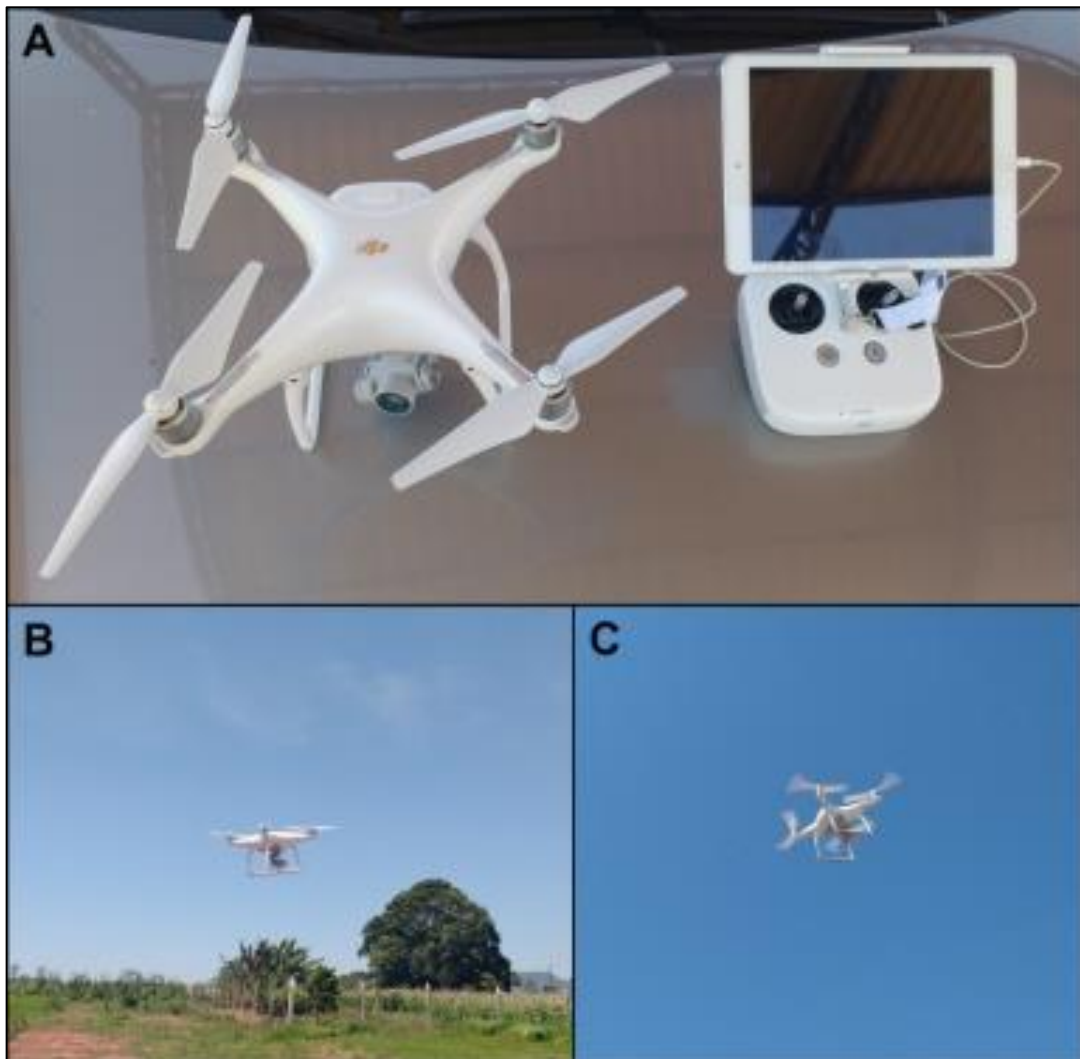
O reconhecimento dos solos da bacia do córrego Jatuquara, compreendeu uma etapa importante para a compreensão da estrutura superficial da paisagem e suas relações com os processos erosivos locais. Para tanto, foi elaborado um mapa de solos a partir de descrições de afloramentos e reconhecimento de suas propriedades texturais e estruturais. O levantamento e reconhecimento do solo do Estado do Paraná (EMBRAPA, 2007), folha (MI-484 - Noroeste do Paraná), na escala de 1.250.000, também foi utilizado como parâmetro para a identificação e registro desses solos.

Para a geração de cartas de uso e ocupação da terra, e para a realização do mapeamento de feições erosivas do tipo voçoroca, foram utilizados mosaicos de fotografias aéreas e imagens de satélite. Para o cenário de 1980, utilizou-se um

mosaico de fotografias aéreas digitalizadas na escala de 1:25.000, do aerolevanteamento realizado pela empresa Aerodata S.A e disponibilizadas no sítio eletrônico do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG). As faixas utilizadas foram: A-07I (fotos: 01695, 01696, 01697 e 01698) e A-08II (fotos: 01808, 01809, 01810, 01811 e 01812). Para os cenários de 2008 e 2016, utilizaram-se mosaicos de imagens de satélite da área da bacia na escala de 1:25.000 do satélite *QuickBird* disponibilizadas pelo *software* livre *Google Earth Pro*.

Para auxiliar na descrição da morfologia das voçorocas e descrições gerais da paisagem, utilizaram-se fotografias aéreas individuais obtidas a partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) *Phantom 3 Advanced* (Figura 8).

Figura 8 - Vistas gerais do VANT



Legenda: (A) VANT (*Phantom 3 Advanced*); (B) VANT em atividade; (C) captura de imagens em 90°. **Fotografias:** Samuel Matiazo (20/11/2016)

4.2. Atividades de campo e laboratório

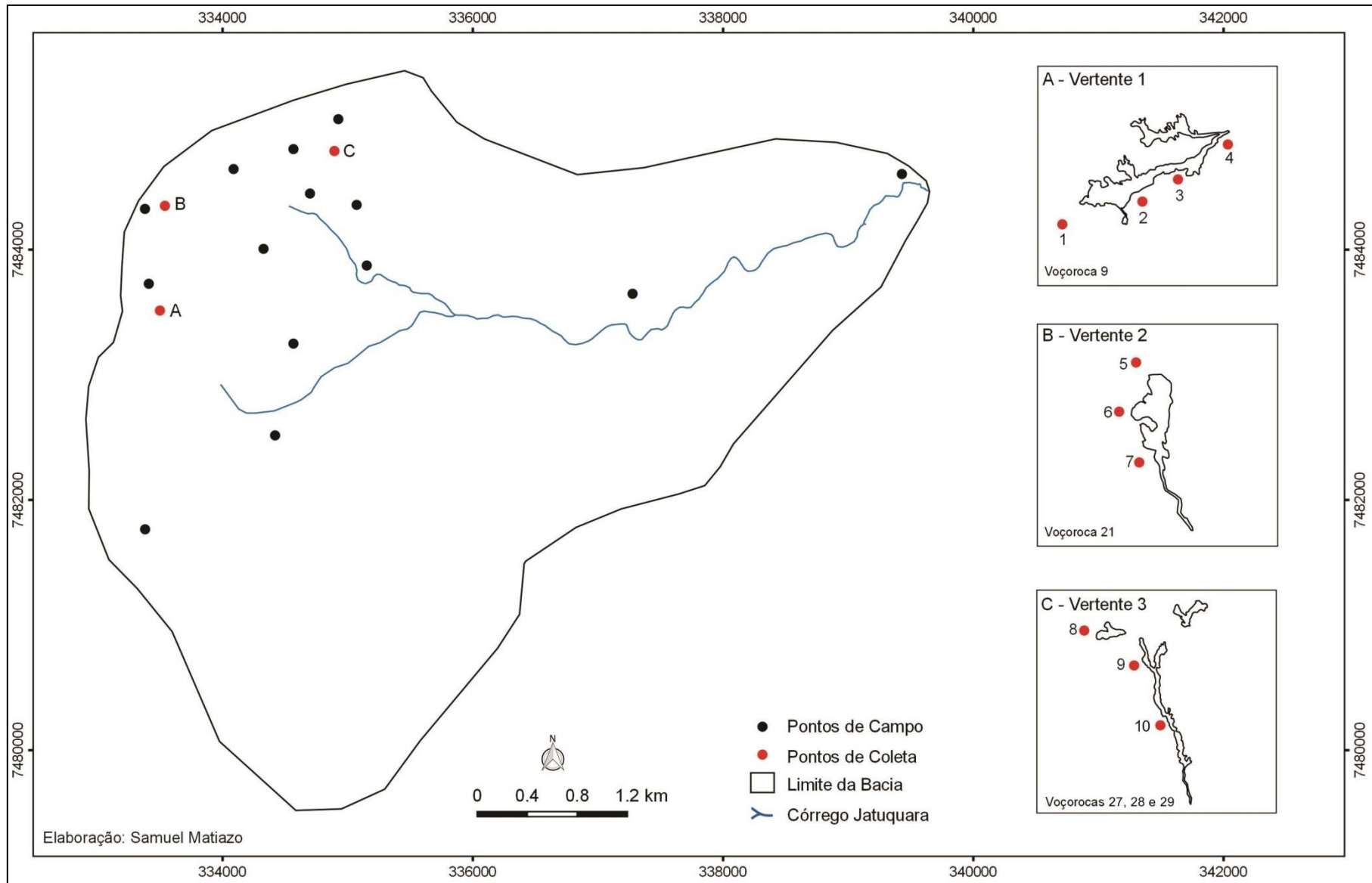
O trabalho de campo essencial nas pesquisas de âmbito geográfico foi realizado por meio de cinco campanhas com o objetivo de reconhecimento da área de estudo e para o levantamento e coleta de dados, a fim de validar e contribuir com o que foi apontado na literatura, bem como nas análises dos produtos cartográficos. As campanhas foram realizadas percorrendo-se toda a bacia hidrográfica, porém dando-se ênfase para as vertentes cujos processos erosivos se destacam na paisagem.

Uma etapa importante dos trabalhos de campo foi o levantamento de perfis topográficos transversais de três voçorocas (voçorocas 9, 21, e 29). Para a mensuração dos perfis topográficos transversais das voçorocas foram utilizadas estacas de vergalhão de 30 cm, barbante (para delimitar o perfil), trena *Bosh DLE 30 Laser Plus* e uma trena manual *HI-VIZ Lukfin* de 50 m. Esses perfis permitiram escolher os pontos de descrição dos solos, demonstrar a morfologia interna das feições erosivas, bem como suas relações pedológicas e biogeográficas. Cada perfil e ponto de descrição foi georreferenciado por meio do GPS *Garmin* portátil *touchscreen Dakota 10* com previsão de satélite *HotFix™*.

A etapa de campo foi complementada com observações da morfologia das vertentes e suas relações lito e morfoestratigráficas, bem como do uso da terra e cobertura vegetal. Todas essas informações foram georreferenciadas e registradas em campo com máquina fotográfica *Nikon D60* e editadas posteriormente.

As amostras de solos coletadas para posteriores análises em laboratório foram coletadas no perímetro dos taludes das voçorocas. Para tanto, foram selecionadas quatro voçorocas, cujos perfis foram distribuídos ao longo do compartimento superior, médio e baixo das vertentes. Para isso, foram coletadas amostras de 10 pontos distribuídos em três vertentes, conforme a Figura 9. As coletas foram realizadas por horizontes a cada 10 cm de profundidade, respeitando uma profundidade de 2 m, com o auxílio de um trado holandês.

Figura 9 - Localização dos pontos de campo (observação e descrição) e dos pontos de coleta (amostras de solos)



No Laboratório de Sedimentologia, Palinologia e Pedologia do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), as amostras de solos foram submetidas à análise granulométrica (método da pipeta) de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011). Para a determinação da granulometria de cada amostra, colocaram-se 20 g de solo em becker de 250 ml, adicionando-se 100 ml de água e 10 ml de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio.

Os frascos devidamente tampados contendo as amostras foram agitados por 21 horas em uma mesa agitadora SL 180/DT. Após o período de agitação, para a separação das frações areia, silte e argila, lavaram-se as amostras com água destilada sobre uma peneira de 20 cm de diâmetro com malha de 0,053 mm (n° 270) colocada sobre um funil de vidro apoiado em uma proveta de 1.000 ml. Após lavagem, a fração areia foi retornada ao becker e levada a uma estufa à 105°C para secagem.

As amostras contendo as frações de argila e silte foram agitadas com um bastão durante 20 segundos. Posteriormente, foram pipetadas, de acordo com a Lei de Stokes, a fração argila para 5 cm de profundidade com uma pipeta de 50 ml, colocando-as em beckers de 50 ml de peso conhecido e levadas a estufa. Após secas, as amostras das frações areia, silte e argila, foram transferidas para um dessecador e, posteriormente, foram pesadas em uma balança de precisão. Para a separação da areia grossa e fina utilizou-se uma peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,2 mm (n° 70). Agitou-se a peneira em um agitador mecânico por 20 minutos. Em seguida, as amostras de areia grossa e fina foram transferidas para beckers de pesos conhecidos e pesadas em uma balança de precisão.

Para a obtenção da porcentagem da fração de areia, silte e argila de cada amostra, utilizaram-se as seguintes equações:

$$\text{Teor de Argila: } [\text{argila (g)} - \text{dispersante (g)}] \times 250$$

$$\text{Teor de Silte: } 250 - [\text{argila (g)} + \text{areia (g)}]$$

$$\text{Teor de Areia: } [\text{areia (g)} \times 5]$$

4.3. Elaboração de produtos cartográficos

Os dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado pelo projeto TOPODATA a partir de dados SRTM foram importados para o *software Global Mapper 17.0*, que possibilitou, por meio da ferramenta *Watershed Generation*, a delimitação da área de drenagem da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara. Os limites da bacia foram exportados em arquivo no sistema de coordenadas Datum WSG84, UTM zona 22 sul no formato (.shp), para ser utilizado como base na elaboração dos mapas de caracterização da área de estudo.

As cartas clinográfica e hipsométrica foram elaboradas digitalmente por meio do *software QGIS 2.14*, tendo como base de dados SRTM. Para a obtenção da declividade, a imagem foi processada pela ferramenta *GDAL – Analysis Slope*, gerando um novo arquivo *raster* em formato (.tif). Em seguida, o *raster* foi reclassificado por meio da ferramenta (*r.reclass*), que possibilitou a introdução das classes de declividade em porcentagens desejadas. Assim, de maneira que garantisse uma nítida diferença da declividade do terreno, foram discriminadas seis classes com intervalos distintos: classe 1 (0-5%), classe 2 (5-10%), classe 3 (10-15%), classe 4 (15-20%), classe 5 (20-25%) e por fim, classe 6 (25-30%). Para a geração de curvas de nível com equidistância de 20 metros, utilizou-se a ferramenta (Extrair Contorno) do arquivo *raster*. Posteriormente, realizaram-se os fechamentos dos vetores das curvas para serem preenchidos com cores específicas, obedecendo às classes de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Classes hipsométricas

Classes	Altitude (metros)
9	445-465
8	425-445
7	405-425
6	385-405
5	365-385
4	345-365
3	325-345
2	305-325
1	285-305

Para a elaboração das cartas de uso e ocupação da terra nos cenários de (1980, 2008 e 2016); a carta de compartimentos geomorfológicos e para à análise da evolução espaço-temporal das voçorocas, realizaram-se interpretações de três mosaicos. O primeiro mosaico, a partir de fotografias aéreas do ano de 1980, e os outros dois mosaicos, de imagens de satélite dos anos de 2008 e 2016, foram devidamente georreferenciados. Para a criação dos mosaicos utilizou-se o *software Image Composite Editor*, onde por meio da ferramenta *stitch* o programa automaticamente possibilita a união de diversas imagens em uma única imagem mosaico. Esse processo foi realizado nos produtos de Sensoriamento Remoto referentes aos três cenários analisados (1980, 2008 e 2016). Após a finalização do processo, os mosaicos foram exportados em formato (.tif).

As imagens em mosaico foram submetidas a procedimento de georreferenciamento, adequando-as a uma projeção específica, no caso o Datum WSG 84, UTM zona 22 sul, com o intuito de corrigir possíveis distorções. Para tanto, utilizou-se o procedimento para correção geométrica de imagens de satélite proposta por Silva et al., (2012), adaptando a técnica para ser utilizada também na correção geométrica das fotografias aéreas por meio do *software QGIS 2.14*.

Para a realização da correção geométrica das fotografias aéreas e imagens de satélite, utilizou-se como base de referência uma imagem de satélite *Quickbird* extraída do *Bing Maps* por meio do *software SAS Planet* em formato (.tif) da área de estudo previamente registrada na escala de 1:25.000. O procedimento foi realizado por meio da ferramenta *Raster Georeferencing*, onde as imagens em mosaicos dos anos de 1980, 2008 e 2016 foram importadas e abertas no georreferenciador. Selecionou-se o sistema de coordenadas de referência (Datum WSG 84, UTM zona 22 sul) e determinaram-se os locais para serem adicionados os pontos de controle, como construções urbanas e rurais, cruzamentos de estradas, pontes, etc. Após os pontos de controle homólogos serem distribuídos nas imagens em mosaico e na imagem base, realizou-se o georreferenciamento. Para finalizar o procedimento, as coordenadas geográficas foram comparadas com as obtidas em campo por meio do GPS. Realizado a checagem, as imagens foram então exportadas em formato (.tif).

Com as imagens em mosaico dos anos de 1980, 2008 e 2016 devidamente georreferenciadas, as mesmas tornaram-se base de dados para a geração de cartas de uso e ocupação da terra de acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013), e para a identificação das feições erosivas do tipo voçoroca.

Por meio do *software* QGIS 2.14, as voçorocas foram identificadas e vetorizadas nos três cenários analisados (1980, 2008 e 2016), obedecendo aos contornos das feições erosivas. Assim, geraram-se planos de informações cartográficas em arquivo *shapefile*, possibilitando a obtenção de dados quantitativos da evolução das voçorocas. Após a delimitação das voçorocas, as dimensões das mesmas foram calculadas em área (m²), perímetro, largura e comprimento, cujos valores foram obtidos por intermédio da ferramenta “Calculadora de Campo” na própria tabela de atributos.

Com o intuito de validar e comparar as medidas obtidas digitalmente com as mensurações realizadas em campo, alguns pontos da área de estudo foram mensuradas, como o comprimento e a largura de 5 voçorocas e o comprimento de uma rua localizada no perímetro urbano sul da cidade de Terra Rica, onde obteve-se uma medida de 500 m. Essas medidas obtidas em campo foram comparadas com as imagens em mosaicos de 1980, 2008 e 2016 por meio da ferramenta “Régua” no *software* QGIS 2.14. Como pode-se observar na Figura 10, nas três imagens não foram registrados erros intoleráveis de coordenadas geográficas, demonstrando um produto final satisfatório e confiável para a extração de dados quantitativos das voçorocas.

Para a representação cartográfica da evolução espaço-temporal das voçorocas com o intuito de detalhar as feições erosivas individualmente, as voçorocas foram representadas e classificadas de acordo com a sua localização em dois dos três compartimentos geomorfológicos delimitados na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara com a presença de voçorocamento. Diante disso, o Compartimento de Cabeceiras de Drenagem e Vertentes Côncavas (CDVC) foi dividido em setores (sul, central, noroeste, norte e nordeste), e o Compartimento de Interflúvios e Vertentes Convexas (CIVC) foi dividido em dois setores (norte e sul). Nesses setores as voçorocas foram representadas por polígonos vermelhos em ordem numérica crescente (Figura 11).

Figura 10 - Mensuração extraída digitalmente no SIG



Figura 11 - Polígono em vermelho representando os perímetros das voçorocas



Fonte: Satélite QuickBird – Google Earth Pro (2016)

No que concerne o estágio de evolução das feições erosivas, estas foram categorizadas de acordo com a condição de atividade (ativa ou inativa), segundo estudo realizado por Salgado et al., (2008), conforme os critérios apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios estabelecidos para voçorocas ativas e inativas conforme Salgado et al., (2008)

Voçoroca Ativa	Voçoroca Inativa
Identificação de taludes (paredes) nos canais erosivos com declives acentuados e com exposição dos materiais (cicatrices expostas), assim como a exposição das suas calhas, como indicadores de condição de atividade.	Suavização do entalhe erosivo e o seu recobrimento pela vegetação como indicadores de condição de inatividade (ainda que temporária) dos processos que levam ao aumento da profundidade e largura da feição erosiva.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa da dissertação são apresentadas e discutidas a evolução do uso e ocupação da terra, as características geoambientais da bacia, e apresentado um modelo de evolução das voçorocas da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara. O trabalho é finalizado com a análise da evolução espacial e temporal das voçorocas e com apontamentos de práticas conservacionistas que visam conter o avanço e o surgimento de voçorocas na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

5.1. Mudanças do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara (1980, 2008 e 2016)

A bacia hidrográfica do córrego Jatuquara encontra-se inserida numa extensa área de domínio de solos de textura média e arenosa, suscetíveis a processos erosivos intensos, associados a arenitos da Formação Caiuá. Apesar da suscetibilidade erosiva, na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara a intensificação desse processo encontra-se fortemente vinculada às condições morfodinâmicas locais e ao uso da terra. Nesse contexto, o setor oeste da bacia, representado por vertentes côncavas e com declividades entre 15% a 30%, é a área mais propícia para o avanço de feições erosivas do tipo voçoroca.

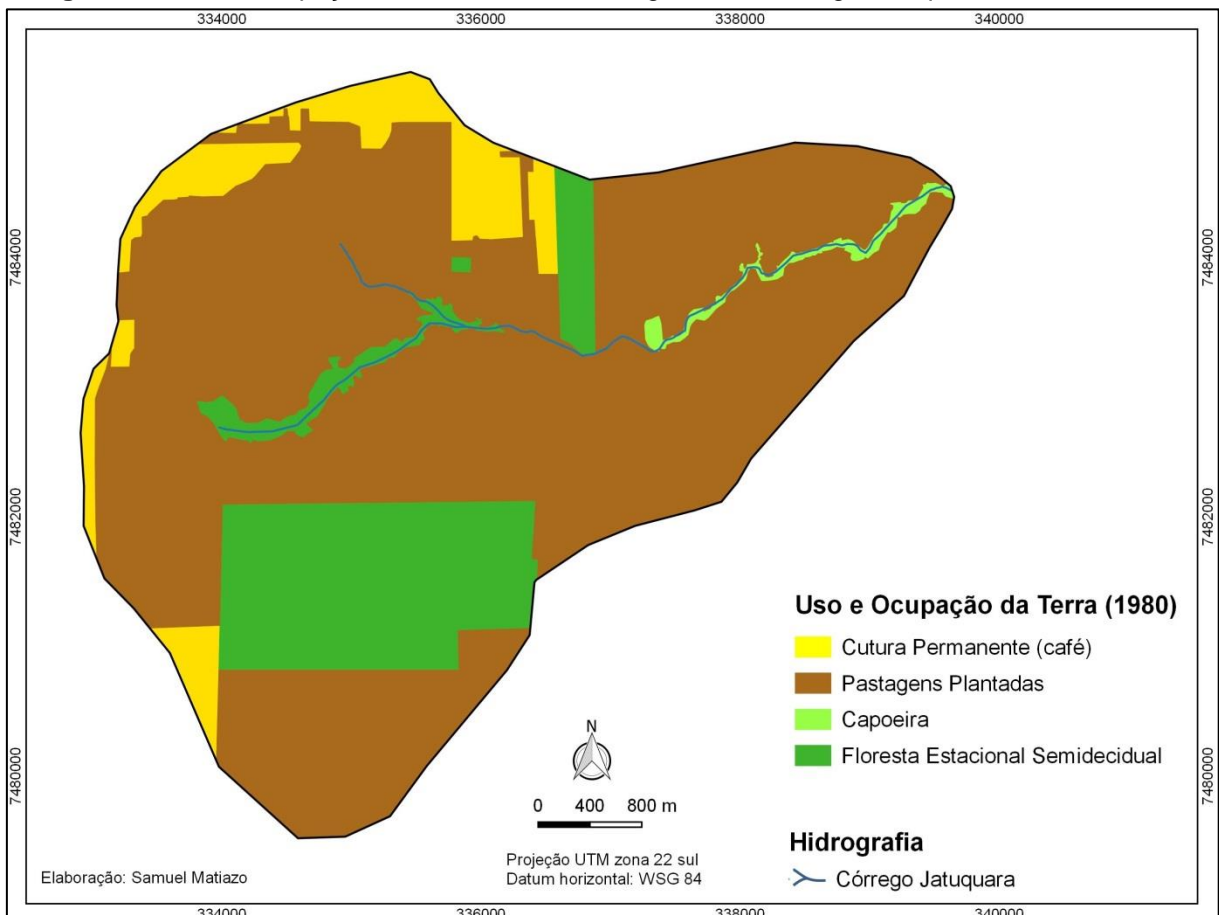
A influência humana modificou a estabilidade das condições de fluxo de energia e matéria com a extinção da vegetação primitiva, já que a cobertura vegetal é um importante agente de defesa natural dos solos contra a erosão acelerada. O espaço outrora ocupado pela Floresta Estacional Semidecidual foi dando lugar às plantações de café e posteriormente para as pastagens plantadas, ocasionando a quase total erradicação da floresta.

A retirada da cobertura vegetal e o uso inadequado do solo provocaram, ao longo da segunda metade do século XX e início do século XXI, o surgimento e a expansão da erosão. Nesse período, a expansão do sítio urbano de Terra Rica, situado na zona interfluvial, no setor montante da bacia, tem tornado essa área motivo de preocupação por parte dos moradores locais, considerando que as voçorocas ameaçam a infraestrutura local, como bairros, ruas, avenidas e residências, uma vez que, na legislação municipal, não há a restrição do uso da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

Conforme a Lei nº 184/2008 que dispõe sobre o uso e a ocupação da área urbana e rural do município de Terra Rica, a área na qual se localiza a bacia hidrográfica do córrego Jatuquara insere-se na Zona de Uso Predominantemente Rural (ZUPR). De acordo com as diretrizes, na ZUPR não há restrição quanto às práticas econômicas rurais na bacia (culturas temporárias e a pecuária), não se levando em consideração as condições ambientais que apresenta uma cobertura pedológica degradada por voçorocas em expansão desde a década de 1980.

Conforme a Figura 12, a carta de uso e ocupação da terra em 1980 demonstrava vastas áreas ocupadas pela cafeicultura e pastagens plantadas. Em 1980, ano que se iniciou a erradicação dos cafezais, cultura principal do período da colonização, as plantações de café ocupavam 7,9% da área total da bacia. As pastagens plantadas ocupavam 75% da bacia, dividindo espaço com a Floresta Estacional Semidecidual (16,1%) e a capoeira (1%). A capoeira é caracterizada por uma vegetação intermediária, com aspecto de transição, ou seja, um estágio sucessional para a floresta semidecídua (NETTO e SOBREIRA, 2006).

Figura 12 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara no ano de 1980

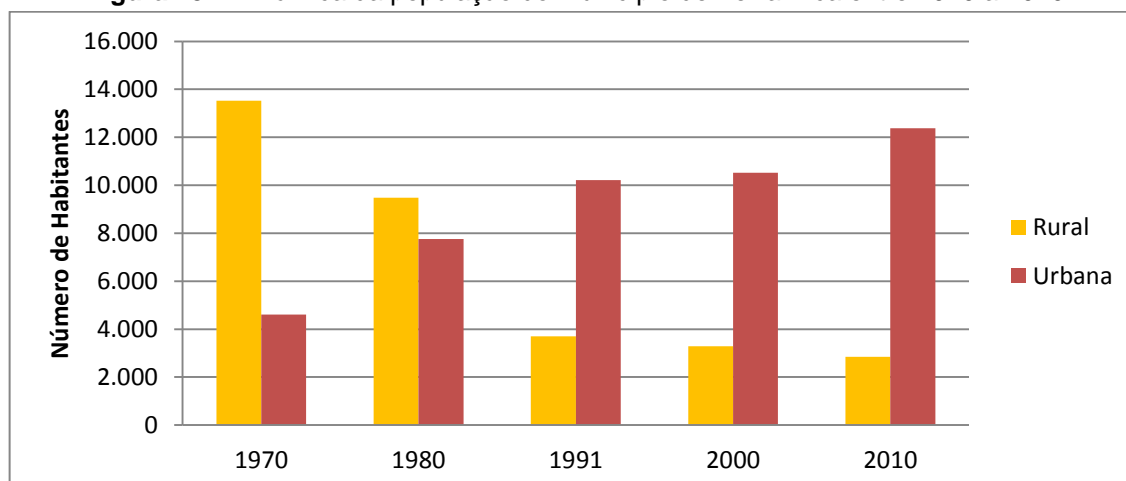


O período de tempo de 28 anos, compreendido entre a primeira e a segunda análise de imagens aéreas e orbitais, se caracterizou por uma intensa ocupação e mudança paisagística na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara. Em 2008, as pastagens plantadas ocupavam 53,5% da área total da bacia, um decréscimo de 21,5% em relação a 1980, conforme a Tabela 2. Observa-se também a expansão da malha urbana no divisor de águas principal da bacia, representando 1,2% da área total. Esse dado demonstrou uma rápida mudança no perfil populacional local, que passou de predominantemente rural para urbano, conforme a Figura 13. A mudança do perfil populacional do município de Terra Rica está relacionada ao êxodo rural na década de 1980 e início da década de 1990, reflexo de uma intensa mudança no campo onde a cultura do café deu espaço para a pecuária e para o cultivo da cana-de-açúcar em vastas áreas rurais do município.

Tabela 2 – Relação em (%) do uso e ocupação da terra nos anos de 1980 e 2008 na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

Uso e Ocupação da Terra	1980	2008
Cultura Permanente	7,9%	-
Cultura Temporária	-	22,7%
Pastagem	75%	53,5%
Floresta Estacional Semidecidual	16,1%	17,4%
Capoeira	1%	3,4%
Área Urbanizada	-	1,2%
Área Descoberta	-	1,8%

Figura 13 – Dinâmica da população do município de Terra Rica entre 1970 a 2010

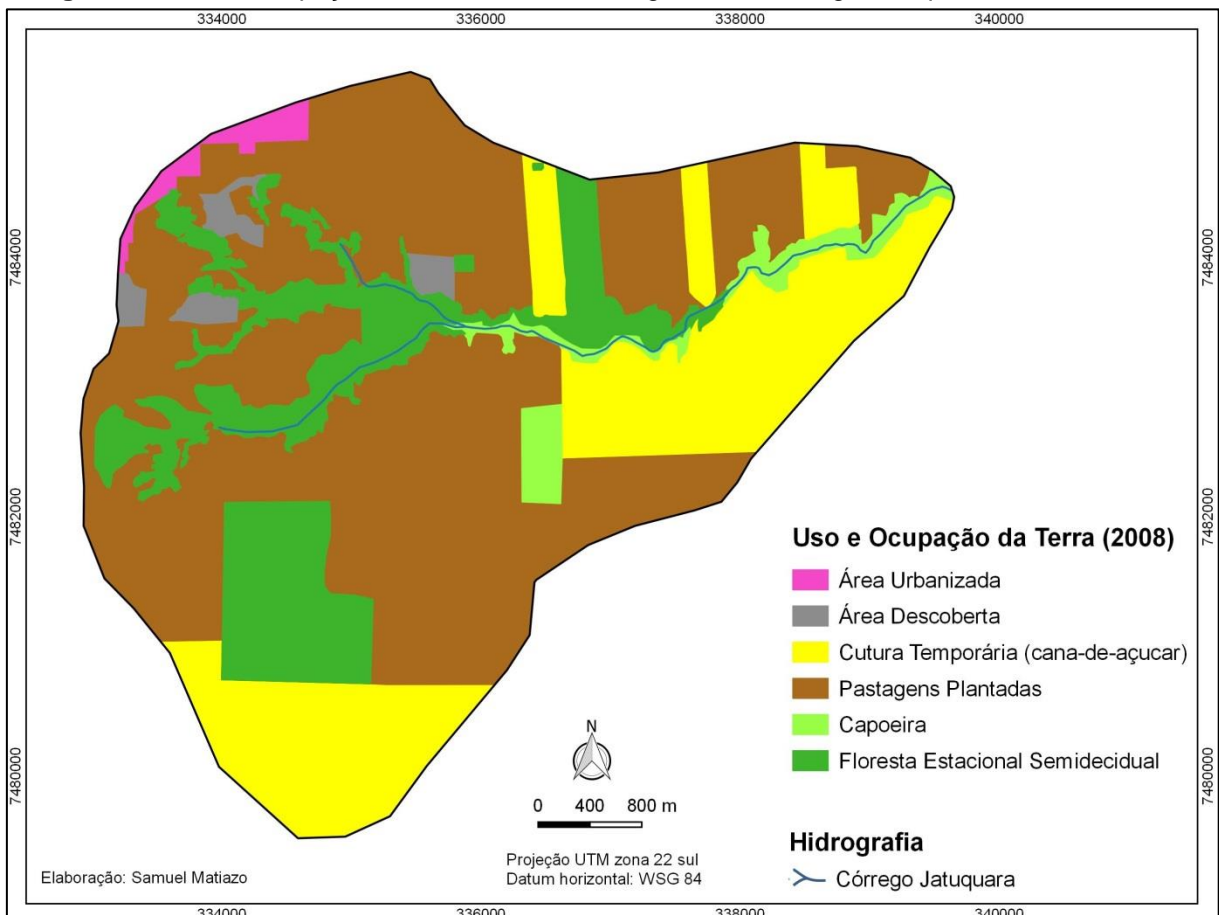


Fonte: Censos demográficos do IBGE (1970, 1980, 1991, 2000 e 2010).

Observa-se que em 1980 ao sul da bacia havia uma expressiva área retangular com a presença da floresta nativa (Floresta Estacional Semidecidual), cuja redução ocorreu ao longo dos anos posteriores. Porém, compensou-se por meio do reflorestamento dos fundos de vales com incentivo do Programa Paraná Biodiversidade (2001-2009), que difundiu técnicas com o objetivo de isolar as margens dos rios para recompor a mata ciliar e formar corredores da biodiversidade na ecorregião altamente ameaçada do corredor Caiuá – Ilha Grande, na qual a bacia se encontra. Diante disso, a Floresta Estacional Semidecidual representou em 2008, 17,4% da área total (Figura 14).

A cultura temporária representada pela cana-de-açúcar ganhou espaço nas áreas de vertentes longas de baixa declividade (0-10%), com um total de 22,5% da área da bacia. Com 1,8% da área total da bacia, os locais com superfícies descobertas referem-se aos solos expostos oriundos do revolvimento dos horizontes superficiais por meio do arado para a implantação de novas pastagens. A capoeira representou em 2008, cerca de 3,4% da área total da bacia.

Figura 14 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara no ano de 2008



Em relação a 2016, conforme a Figura 15, manteve-se a predominância das pastagens plantadas, compreendendo 43% da área total da bacia, um decréscimo de 10,5% em relação a 2008. Justifica-se essa diminuição pelo crescimento principalmente das áreas descobertas e pelo avanço da cultura temporária da cana-de-açúcar.

No que concerne à área urbanizada, houve um acréscimo da área ocupada na bacia, pois durante o período entre 2008 a 2016 surgiram novos bairros com empreendimentos imobiliários na zona sul da cidade de Terra Rica, ocupando 2% da área da bacia. O cultivo da cana-de-açúcar em 2016 representou 28,2% da área total da bacia, um aumento de 5,7% em relação a 2008 (Tabela 3). As outras áreas da bacia referem-se à capoeira (4,8%), a Floresta Estacional Semidecidual (17,5%) e as áreas descobertas (4,5%).

Figura 15 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara no ano de 2016

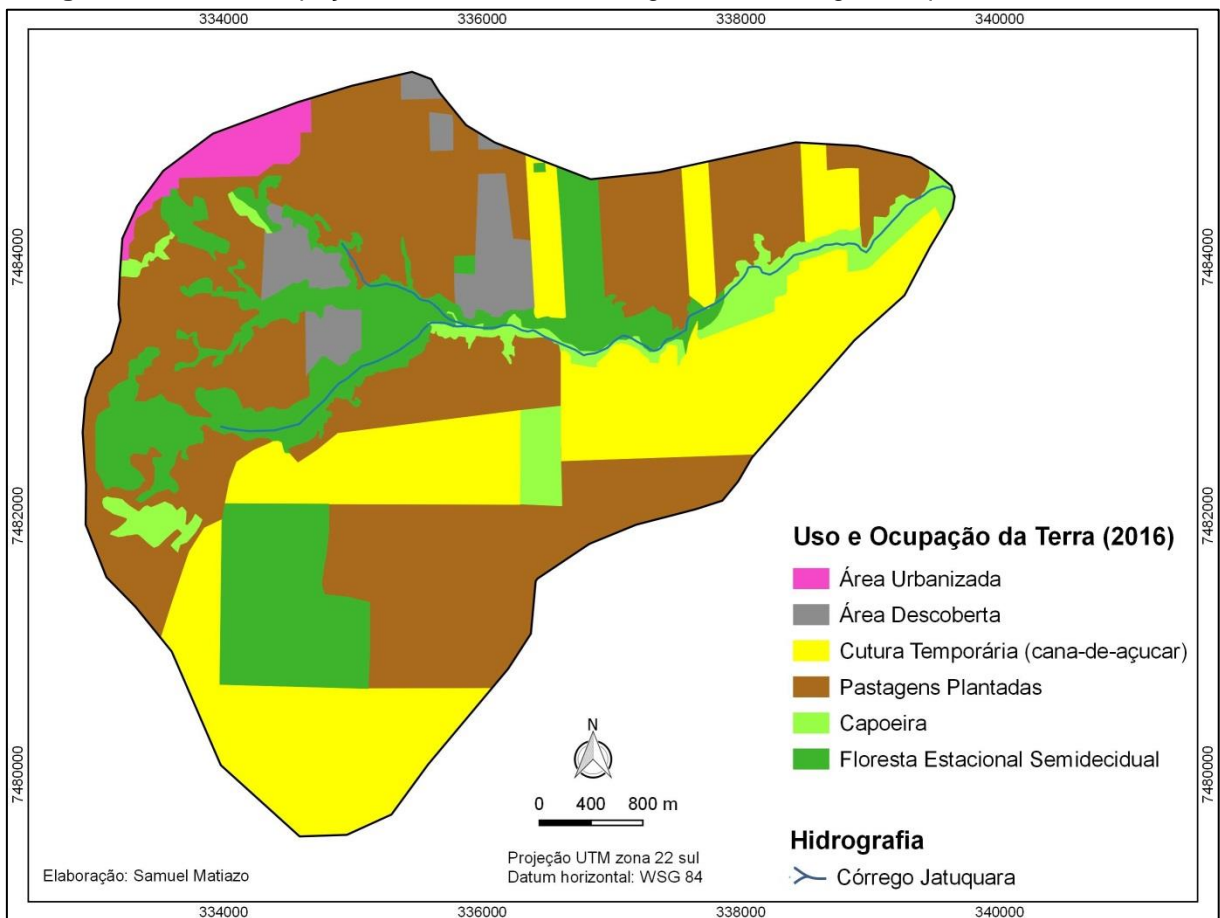


Tabela 3 – Relação em (%) do uso e ocupação da terra nos anos de 2008 e 2016 na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

Uso e Ocupação da Terra	2008	2016
Cultura Temporária	22,5%	28,2%
Pastagem	53,5%	43%
Floresta Estacional Semidecidual	17,4%	17,5%
Capoeira	3,4%	4,8%
Área Urbanizada	1,2%	2%
Área Descoberta	1,8%	4,5%

5.2. Características do relevo intervenientes na gênese e expansão da erosão na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

Os processos erosivos associados à formação de voçorocas situadas na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara estão relacionados, além das condições climáticas e uso das terras, aos atributos do relevo, como o desnível altimétrico, a declividade e as formas das vertentes. Os intervalos de maiores altitudes estão localizados na porção oeste da bacia, representado pelo divisor de águas das bacias do córrego Jatuquara (afluente do ribeirão Coroa de Frade), e do córrego Milagrosa (afluente do ribeirão Água Guairaça), sendo nesse divisor de águas que se situa a malha urbana do município de Terra Rica, a noroeste da bacia. As voçorocas estão distribuídas desde o cenário analisado de 1980 em sua grande maioria nos patamares de altitudes compreendidos entre 305-445 metros de altitude (Tabela 4).

Tabela 4 – Distribuição das voçorocas em relação à altitude

Altitude (m)	Voçorocas (1980)	Voçorocas (2008)	Voçorocas (2016)
445-465	-	-	-
405-445	2	20	20
405-425			
385-405	-	6	8
365-385			
345-365	2	3	2
325-345			
285-325	-	-	-
Total	4	29	30

A posição das voçorocas nesses compartimentos de altitude é o reflexo do fator relevo nesses locais, já que apresenta suscetibilidade à erosão em referência as declividades expressivas, as formas e o comprimento das vertentes. Os maiores valores de declividade encontram-se distribuídos na cabeceira de drenagem com o predomínio de vertentes côncavas, sendo nesse compartimento geomorfológico da bacia que se concentram os processos erosivos. As declividades expressivas, que alcançam os 30%, implicam em maiores desnivelamentos dos terrenos, resultando em escoamentos superficiais com maior energia potencial de arranque e arraste de sedimentos inconsolidados das vertentes.

No período entre 1980 e 2016, todas as voçorocas estavam distribuídas em áreas compreendidas entre 0-25% de declividade. Em 1980, 3 voçorocas se localizavam em áreas com declividades entre 10-25%, e 1 em área com declividades entre 0-10%. Em 2008, 20 voçorocas se localizavam em áreas com declividades entre 10-25%, e 9 em áreas com declividades entre 0-10%. No ano de 2016, observou-se que 30 voçorocas se localizavam em áreas com declividades entre 10-25%, e 9 em áreas com declividades entre 0-10% (Tabela 5).

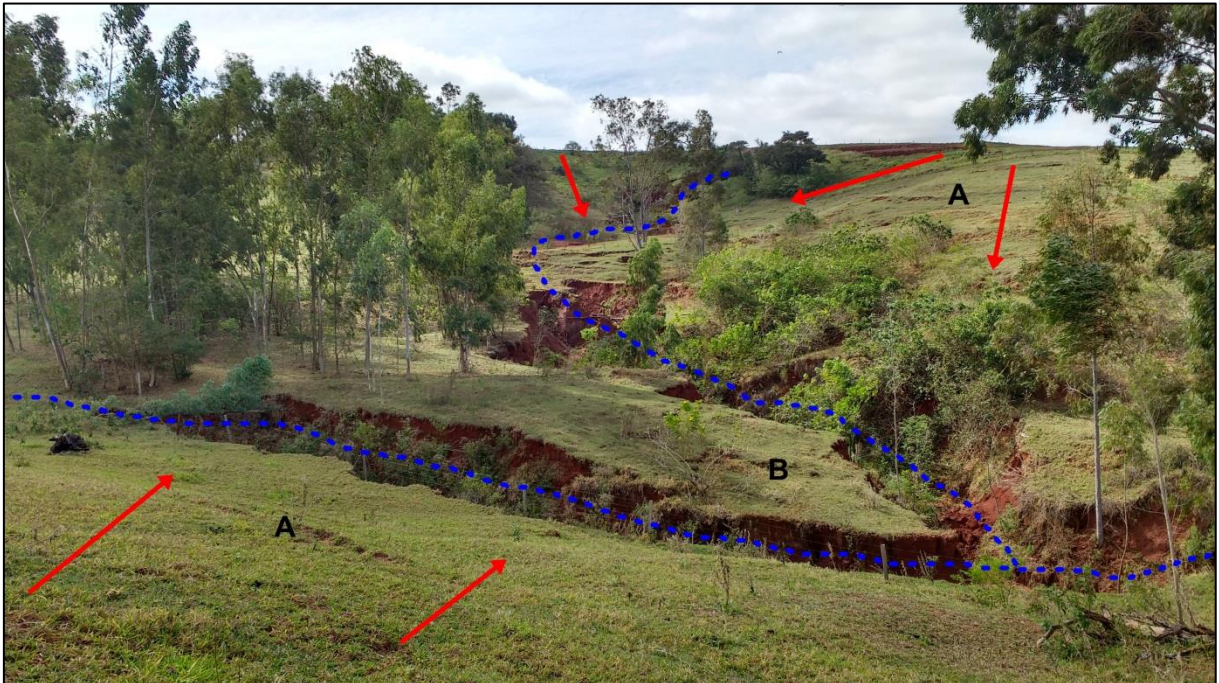
Tabela 5 – Distribuição das voçorocas em relação à declividade

Classes de declividade	Voçorocas 1980	Voçorocas 2008	Voçorocas 2016
0-5%	1	9	9
5-10%			
10-15%	3	20	21
15-20%			
20-25%			
25-30%	-	-	-

Nota-se que tanto em 2008 como em 2016, 9 voçorocas localizavam-se em setores do relevo com baixa declividade (0-10%), porém, em locais onde as águas pluviais se concentram e formam-se cursos d'água intermitentes em períodos de precipitações. Nesses locais, os escoamentos superficiais oriundos de eventos pluviais convergem-se, acarretando no aumento do volume e da turbulência da água sobre o solo. Esse processo favorece na potencialização de cisalhamento da água corrente, ou seja, os sedimentos inconsolidados são facilmente erodidos, formando-

se assim, as voçorocas registradas em baixos patamares de declividade na área de estudo (Figura 16).

Figura 16 - Voçoroca localizada em superfície com declividade de 0-10%



Legenda: (A) vertentes côncavas captadoras e direcionadoras das águas pluviais; (B) superfície rebaixada onde as águas pluviais direcionadas pelas vertentes adjacentes convergem-se.

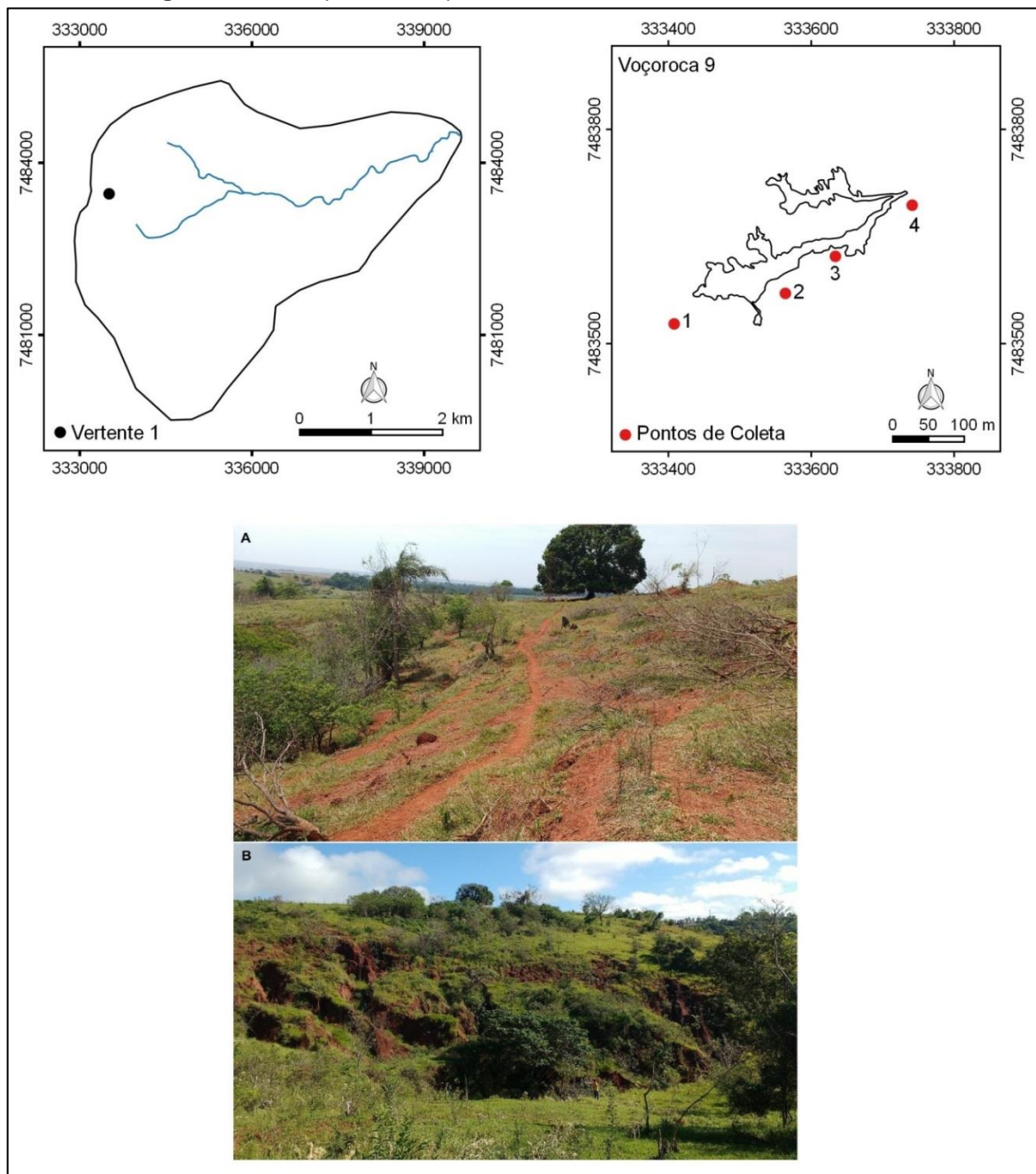
Fotografia: Samuel Matiazo (16/07/2016)

5.3. A suscetibilidade dos solos à erosão acelerada na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

A área de estudo apresenta um sistema pedológico identificado pela associação de duas classes de solos, o Latossolo Vermelho de textura média nas cimeiras e altas vertentes, e o Argissolo Vermelho com horizontes de textura média e arenosa nas médias e baixas vertentes. Os solos locais apresentam condições físicas friáveis perante os agentes climáticos quando desnudos de vegetação e manejo do solo sem a adoção de práticas conservacionistas, uma vez que as altas porcentagens da fração areia e baixas porcentagens da fração argila identificadas em seus horizontes os tornam suscetíveis à erosão acelerada, como é possível observar na expressiva quantidade de processos erosivos presentes na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

A textura do solo da primeira área analisada corresponde a uma vertente com cerca de 400 metros de comprimento afetada por intensos processos erosivos. No setor próximo à cimeira, ocorre uma forte degradação superficial do solo, onde há um intenso pisoteio do gado, que resultou na exposição da superfície do solo as intempéries. A jusante localiza-se a voçoroca de número 9 com cerca de 333 metros de comprimento (Figura 17).

Figura 17 - Vista parcial dos processos erosivos instalados na vertente 1



Legenda: (A) Superfície com solos exposto pelo pisoteio do gado; (B) Feições associadas à cabeceira da voçoroca 9 que demonstram o caráter remontante do processo erosivo.

Fotografias: Samuel Matiazó (22/04/2016)

As análises texturais realizadas no ponto 1 (Figura 17), no Argissolo Vermelho, demonstram processos de degradação dos horizontes A e E, deixando exposto o horizonte Bt. Com aproximadamente 30 cm de espessura encontra-se o horizonte Bt¹, de textura franco arenosa. De transição abrupta, o horizonte Bt² é identificado abaixo dos 30 cm de profundidade, com expressivo ganho de argila, de textura franco argilo arenosa (Tabela 6).

Tabela 6 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 1)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 1					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
	cm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Bt ¹	0-30	3	77	2	18
Bt ²	30-200 ⁺	3	65	2	30

No Argissolo Vermelho analisado no ponto 2 (Figura 17), diferente do ponto 1, foram identificados os seus horizontes característicos, sendo o horizonte A com 20 cm de espessura de textura arenosa. Verticalmente, destaca-se a diferenciação de horizontes, marcada por um horizonte mais claro correspondente ao E com 20 cm de espessura e de textura arenosa. De mudança textural abrupta, abaixo dos 40 cm, destaca-se o horizonte Bt de textura franco argilo arenosa (Tabela 7)

Tabela 7 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 2)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 2					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
	cm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
A	0-20	5	85	3	7
E	20-40	5	88	2	5
Bt	40-200 ⁺	4	69	3	24

O Argissolo Vermelho analisado no ponto 3 (Figura 17) apresenta um horizonte superficial A com 20 cm de espessura de textura arenosa. Com 20 cm de

espessura, o horizonte E de cor mais clara, apresenta uma textura arenosa. O horizonte EB localiza-se abaixo do horizonte E, com espessura de 40 cm, apresentando textura areia franca. De mudança textural abrupta, o horizonte Bt é identificado a uma profundidade de 80 cm, de textura franco argilo arenosa, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 3)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 3					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
A	0-20	3	89	3	5
E	20-40	5	87	2	6
EB	40-80	4	79	3	14
Bt	80-200 ⁺	3	66	3	28

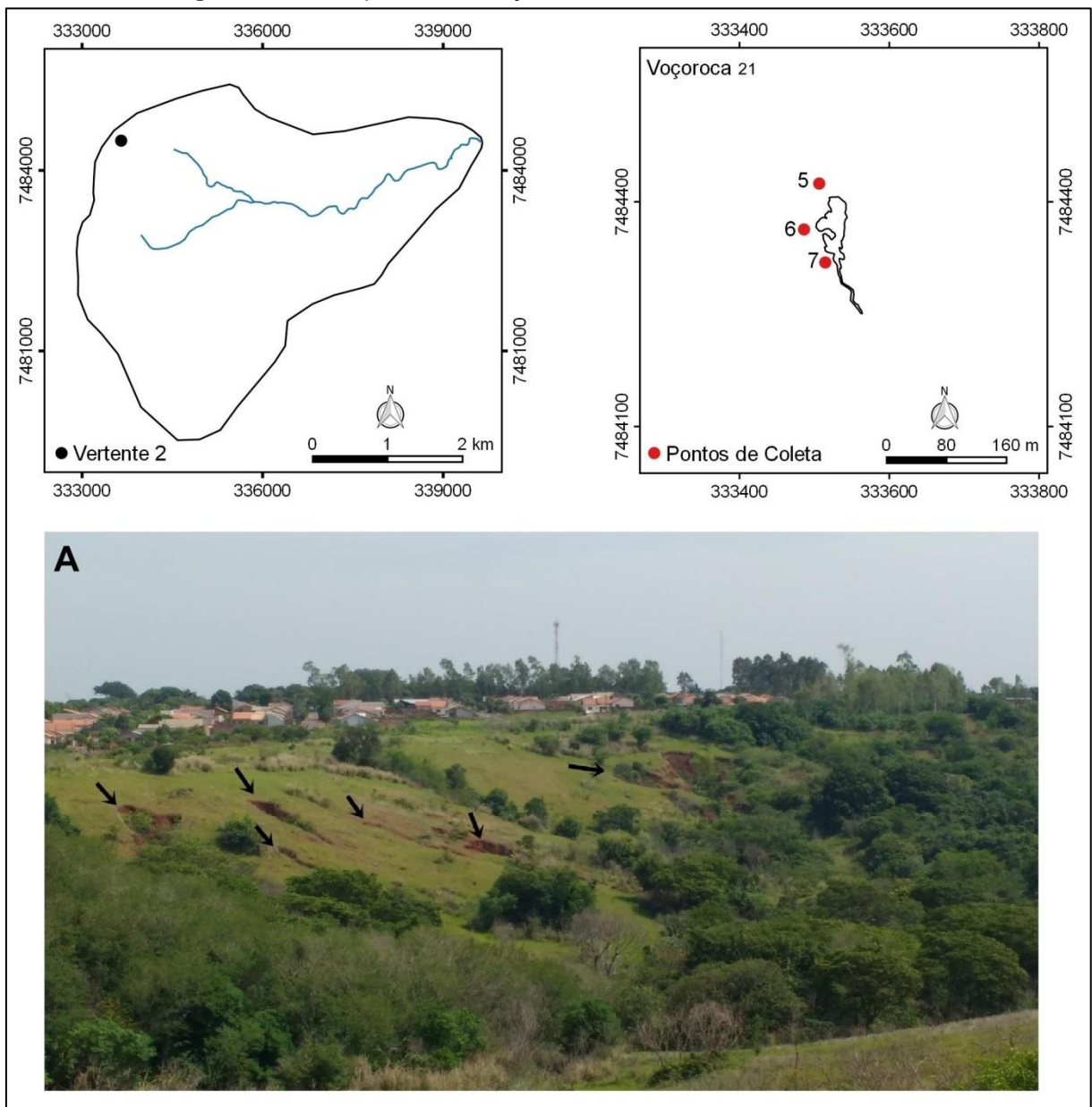
O último ponto analisado situa-se no sopé da vertente 1 (ponto 4), também correspondente ao Argissolo Vermelho, apresentando um horizonte superficial A de 40 cm de espessura de textura arenosa (Tabela 9). O horizonte A é sucedido pelo horizonte E, com espessura de 30 cm, de textura arenosa com o predomínio de processos de eluviação. De transição abrupta, o horizonte Bt encontra-se a 70 cm de profundidade, sendo de textura franco arenosa com predomínio de iluviação, com ganho de argila.

Tabela 9 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 4)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 4					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
A	0-40	10	80	3	7
E	40-70	16	80	2	2
Bt	70-200 ⁺	8	69	3	20

As texturas dos horizontes dos solos localizados na segunda vertente correspondem à associação de Latossolo Vermelho na alta vertente e Argissolo Vermelho na média e baixa vertente. A vertente localizada no perímetro urbano sul da cidade de Terra Rica é caracterizada pela rápida degradação da cobertura pedológica constatada pelas inúmeras feições erosivas instaladas, como pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 – Vista parcial das feições erosivas instaladas na vertente 2



Legenda: Vertente localizada no perímetro urbano sul da cidade de Terra Rica-PR.

Fotografia: Samuel Matiazo (25/11/2016)

A área da coleta de solo do ponto 5 (Figura 18) é caracterizada pela presença de gramíneas do tipo (*brachiaria*), onde a erosão remontante alcançou a alta vertente com a presença do Latossolo Vermelho de textura média. O horizonte superficial A tem uma espessura de 30 cm, sendo ele de textura areia franca. O horizonte característico subsuperficial do Latossolo (Bw) encontra-se abaixo dos 30 cm de profundidade, de textura franco arenosa (Tabela 10).

O ponto 6 e o ponto 7 (Figura 18) de coleta e análise textural do solo estão localizados na média e baixa vertente respectivamente, identificados como Argissolo Vermelho. Identificou-se a perda dos horizontes superficiais do Argissolo Vermelho presente na vertente, resultado do processo erosivo intenso. O solo do ponto 6 foi caracterizado por um horizonte superficial Bt¹ com 20 cm de espessura, sendo de textura franco argilo arenosa. Abaixo dos 30 cm, identificou-se o horizonte Bt² de textura franco argilo arenosa, conforme a Tabela 11.

Tabela 10 – Textura dos horizontes do Latossolo Vermelho (ponto 5)

LATOSSOLO VERMELHO - PONTO 5					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
A	0-30	8	75	2	15
Bw	30-200 ⁺	7	72	2	19

Tabela 11 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 6)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 6					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
Bt ¹	0-20	7	66	3	24
Bt ²	30-200 ⁺	6	64	2	28

O Argissolo Vermelho analisado no ponto 7 (Figura 18) foi caracterizado também pela perda dos seus horizontes mais superficiais (A e E). Diante disso, identificou-se que o horizonte Bt¹ situa-se exposto na superfície, com uma

profundidade de 40 cm, sendo ele de textura franco argilo arenosa. Abaixo dos 40 cm de profundidade encontra-se o Bt², também de textura franco argilo arenosa (Tabela 12).

Tabela 12 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 7)

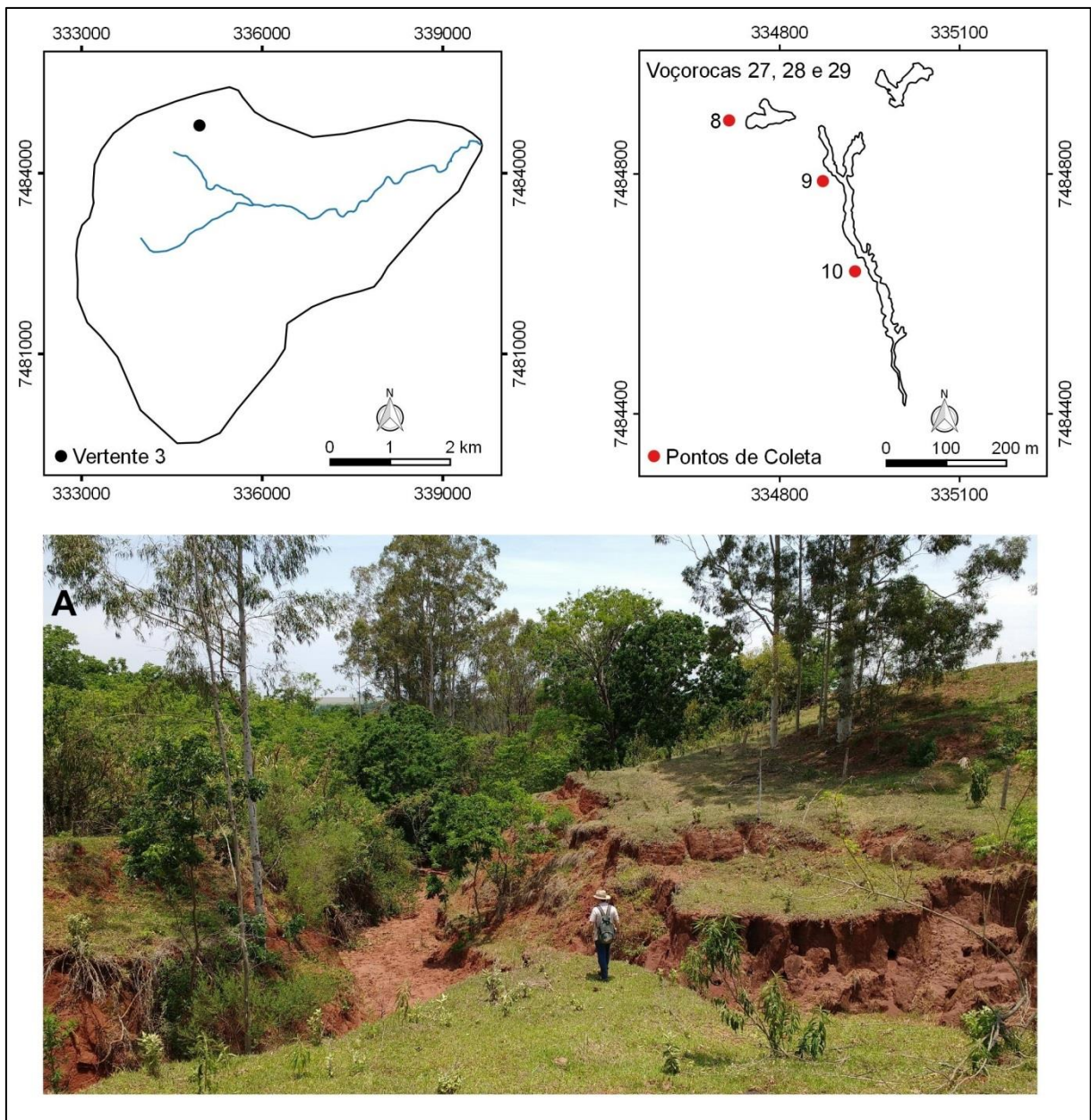
ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 7					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
Bt ¹	0-40	4	72	3	21
Bt ²	40-200 ⁺	4	69	3	24

Os solos analisados na terceira vertente correspondem à associação do Latossolo Vermelho e o Argissolo Vermelho com horizontes de textura média e arenosa. Na vertente estão localizadas três voçorocas identificadas pelos números (27, 28 e 29), situada próximo à malha urbana do município de Terra Rica (Figura 19).

A área da coleta de solo do ponto 8 (Figura 19) é caracterizada pela presença de gramíneas da espécie (*Paspalum Notatum Fluegge*), conhecida como Grama Mato Grosso. Nesse local o voçorocamento remontante alcançou a alta vertente com a presença do Latossolo Vermelho. O horizonte superficial é representado pelo A com 30 cm de espessura, de textura arenosa. O horizonte subsuperficial característico do Latossolo (Bw) encontra-se a 30 cm de profundidade, de textura franco arenosa (Tabela 13).

Os solos analisados no ponto 9 e no ponto 10 (Figura 19) estão localizados na média e baixa vertente respectivamente, com a presença do Argissolo Vermelho. O Argissolo Vermelho do ponto 9 é caracterizado pelo horizonte superficial A de 20 cm de espessura de textura arenosa. O horizonte E de 20-40 cm de profundidade também apresentou uma textura arenosa. De mudança textural abrupta, o horizonte Bt inicia-se a 40 cm de profundidade, sendo ele de textura franco argilo arenosa (Tabela 14)

Figura 19 – Vista parcial da voçoroca 29 presente na vertente 3



Legenda: (A) Vista parcial da voçoroca 29 instalada na vertente analisada.

Fotografia: Samuel Matiazo (25/11/2016)

Tabela 13 – Textura dos horizontes do Latossolo Vermelho (ponto 8)

LATOSSOLO VERMELHO - PONTO 8					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
A	0-30	10	77	3	10
Bw	30-200 ⁺	8	73	2	17

Tabela 14 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 9)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 9					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
A	0-20	12	78	2	8
E	20-40	12	81	1	6
Bt	40-200 ⁺	10	61	2	27

O Argissolo Vermelho do ponto 10 (Figura 19), foi caracterizado com um horizonte superficial A com 20 cm de espessura de textura arenosa. O horizonte eluvial E, situado entre 20-40 cm de profundidade, apresentou uma textura arenosa. De mudança textural abrupta encontra-se o horizonte EB, com 10 cm de espessura e de textura areia franca. A uma profundidade de 50 cm situa-se o horizonte Bt, sendo ele de textura franco argilo arenosa (Tabela 15).

Tabela 15 – Textura dos horizontes do Argissolo Vermelho (ponto 10)

ARGISSOLO VERMELHO – PONTO 10					
Horizonte (Profundidade)		Granulometria (100%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
A	0-20	10	78	2	10
E	20-40	12	81	1	6
EB	40-50	11	72	3	14
Bt	50-200 ⁺	11	65	2	22

Os resultados gerais dos ensaios granulométricos realizados com amostras de solos coletados em dez pontos próximos ao perímetro de quatro voçorocas, confirmaram as texturas observadas em campo, e permitiram constatar que os elevados teores de areia e baixos teores de argila nos horizontes superficiais A e E são caracterizados como horizontes suscetíveis à remoção dos seus constituintes, quando expostos aos eventos pluviais. Identificou-se que as voçorocas têm a sua gênese e evolução intrinsecamente relacionadas aos Argissolos da área estudada, onde, por meio das análises texturais supracitadas, foi possível caracterizar como

um solo marcado pela diferenciação textural abrupta entre os horizontes mais arenosos A e E, e o horizonte subsuperficial mais argiloso (Bt).

Pelo fato de haver uma mudança textural abrupta no Argissolo, e com a ocorrência de eventos de alta precipitação, a água infiltra-se rapidamente no horizonte A e E por apresentarem textura mais arenosa, e mais lentamente no horizonte Bt, representando um bloqueio natural para a circulação vertical da água, ocasionando assim, a rápida saturação dos horizontes arenosos superficiais e o surgimento da erosão por meio do escoamento superficial e subsuperficial lateral, sendo, portanto, o solo mais suscetível à erosão no noroeste paranaense (FASOLO, 1988).

O Latossolo localizado nas cimeiras apresenta uma suscetibilidade menor aos processos erosivos quando comparados aos Argissolos, já que localizam-se em baixos gradientes topográficos (0-5% de declividade), e por ser um solo que favorece o fluxo hídrico vertical. Porém, as duas amostras analisadas dos horizontes do Latossolo presente nas altas vertentes encontram-se em declividades mais acentuadas (15-20%), e pelos altos teores de areias em seus horizontes (A e Bw), os caracterizam também, como os Argissolos, muito suscetíveis à erosão acelerada quando desnudos de vegetação na superfície.

5.4. Síntese dos processos de formação e expansão das voçorocas na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara

Ficou constatado, a partir de observações de campo e análises cartográficas e sedimentológicas, que a formação das voçorocas da área de estudo apresenta-se associada a dois elementos distintos, porém intrinsecamente associados. O primeiro de ordem natural e o segundo de ordem antrópica.

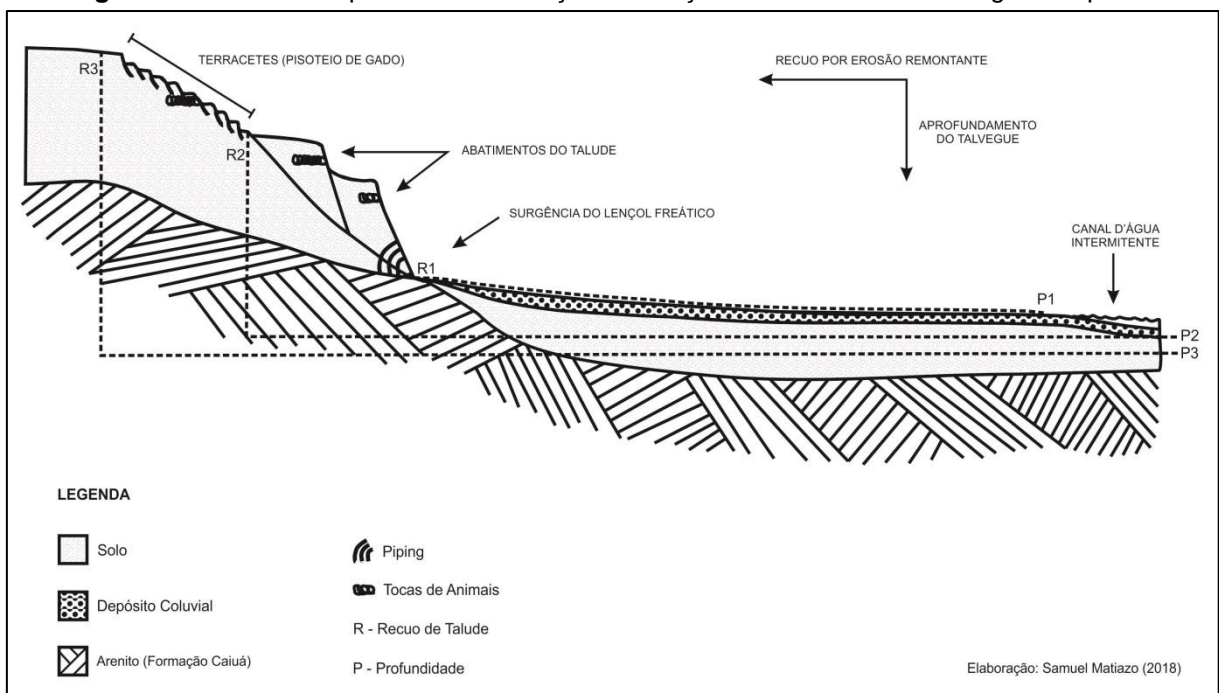
O primeiro encontra-se relacionado às características morfopedológicas e bioclimáticas. A presença de Argissolos de textura arenosa com baixa coesão entre os grãos e pobre em agregados torna a cobertura pedológica altamente suscetível à expulsão do material vertente a baixo, originando cavidades em forma de ravinas, constituindo assim a primeira etapa da formação das voçorocas. À medida que os sulcos se tornam profundos, alcançando o nível freático, podem ocorrer, colapsamento dos taludes junto às vertentes. A oscilação do lençol freático, marcado

pela alternância entre os períodos de estiagem nos meses de julho e agosto, favorece o surgimento de canais intermitentes em cabeceiras de drenagem de primeira ordem. A formação de feições de *piping*, que correspondem a pequenas cavidades junto aos locais de ressurgência das águas do lençol freático, torna os taludes frágeis e sujeitos a colapsamento por ação gravitacional.

O pisoteio do gado na superfície, nas margens das voçorocas e fluxos mais volumosos de água do lençol freático favorecem o abatimento dessas coberturas ao longo das margens das voçorocas, onde esse processo é favorecido pela formação de dutos de águas junto aos taludes. O recuo sucessivo das nascentes é acompanhado do recuo remontante, bem como do aprofundamento da voçoroca. Neste caso, o aprofundamento da voçoroca também decorre do balanço entre as taxas de incorporação de material sedimentar provindo do colapso dos taludes e da taxa de remoção pelas águas de escoamento superficial.

A influência dos fatores de ordem antrópica encontram-se mais associados ao modelo de uso da terra, voltado para a pecuária extensiva sem cuidados com a proteção dos setores mais declivosos das vertentes côncavas. O deslocamento do gado junto a essas vertentes promovem a formação de terracetes, que marcam pequenos colapsos dos solos, desencadeados em séries (Figura 20).

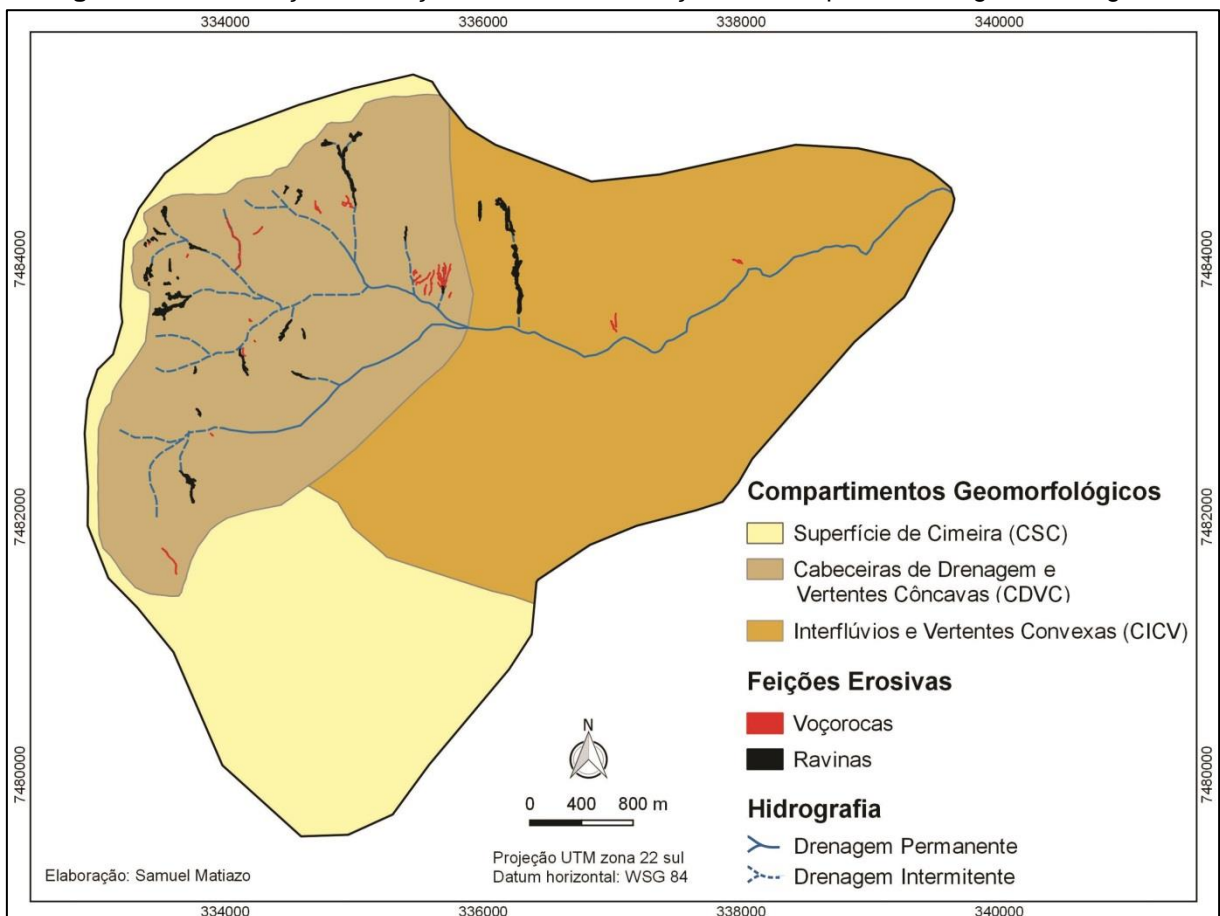
Figura 20 - Modelo simplificado da evolução das voçorocas na bacia do córrego Jatuquara



5.5. Evolução morfométrica das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016

Como produto da abordagem geomorfológica, a bacia hidrográfica do córrego Jatuquara foi setorizada em três compartimentos geomorfológicos com características físicas que os diferenciam em relação à ocorrência de processos erosivos (Figura 21).

Figura 21 - Distribuição das feições erosivas em relação aos compartimentos geomorfológicos



5.5.1. Compartimento da Superfície de Cimeira (CSC)

O Compartimento da Superfície de Cimeira corresponde a 25,6% (5,9 km²) da área de estudo, situada nos principais divisores de águas da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, com declividades que variam de 0% a 5%. Nesse compartimento não foram identificados processos erosivos, uma vez que a superfície suavemente plana e o predomínio do Latossolo Vermelho na cobertura pedológica possibilitam uma boa drenagem das águas pluviais.

A respeito desse compartimento apresentar uma cobertura pedológica razoavelmente estável, este setor da bacia vem sofrendo pressão nos seus atributos naturais e antropizados, considerando que, esses topos aplanados, na parte noroeste da bacia, são ocupados pelo sítio urbano de Terra Rica.

5.5.2. Compartimento de Cabeceiras de Drenagem e das Vertentes Côncavas (CDVC)

O Compartimento de Cabeceiras de Drenagem e das Vertentes Côncavas representa 30% (6,2 Km²) da área de estudo, correspondendo a um relevo mais dissecado em relação ao CSC. A feição mais conspícua desse compartimento é a ruptura de declive negativa, que limita os compartimentos CSC e CDVC (Figura 22). Essa ruptura é sucedida por vertentes côncavas, com declividades entre 10% e 30%, com coberturas de Argissolo Vermelho de textura abrupta, podendo aflorar arenitos da Formação Caiuá, junto ao fundo dos vales em voçorocas.

A rede de drenagem é representada por canais de primeira e segunda ordem que fluem da zona limítrofe dos compartimentos CSC e CDVC em direção jusante. Esses canais podem se apresentar secos nos períodos de estiagem, voltando à atividade nos períodos de pluviosidade, quando o lençol freático alcança a superfície e promove a retirada intensa das partículas constituintes do solo, gerando forte atividade erosiva linear, representada por voçorocas.

O uso da terra é representado por pastagens na maior parte da área e coberturas arbóreas e arbustivas, principalmente junto ao fundo dos vales. O pisoteio do gado, junto a essas vertentes, promove o abatimento de parcelas do solo junto aos taludes das voçorocas, acentuando assim os processos de expansão das feições erosivas. Diante disso, o CDVC constitui o compartimento mais crítico em relação aos seus atributos naturais e de uso da terra, em virtude do grande número de voçorocas e ravinas presentes.

Figura 22 - Imagem aérea dos compartimentos geomorfológicos CSC e CDVC



Legenda: A linha pontilhada representa a ruptura de declividade entre os dois compartimentos. Observa-se ao fundo o sítio urbano de Terra Rica e a proximidade com o compartimento CDVC.

Fotografia: Samuel Matiazo (20/11/2016)

5.5.2.1. Setor sul (CDVC)

De acordo com o proposto na metodologia, o compartimento CDVC foi setorizado para melhor descrever e representar os parâmetros morfométricos das voçorocas, conforme a Figura 23. Como pode ser observado na Figura 24, no setor sul do CDVC no ano de 1980 não foram identificadas voçorocas, apenas uma ravina que evoluiu para o estágio de voçoroca em 2008. Em 2008 foram identificadas três voçorocas, a voçoroca de número 1 abrangia 540 m^2 , com 174 m de perímetro, 79 m de comprimento, com largura máxima de 11 m, sendo que em 2016 o local de instalação dessa voçoroca se encontrava recuperado com aterro e colonizada por vegetação de porte arbóreo.

Figura 23 - Setores dos compartimentos geomorfológicos CDVC e CIVC

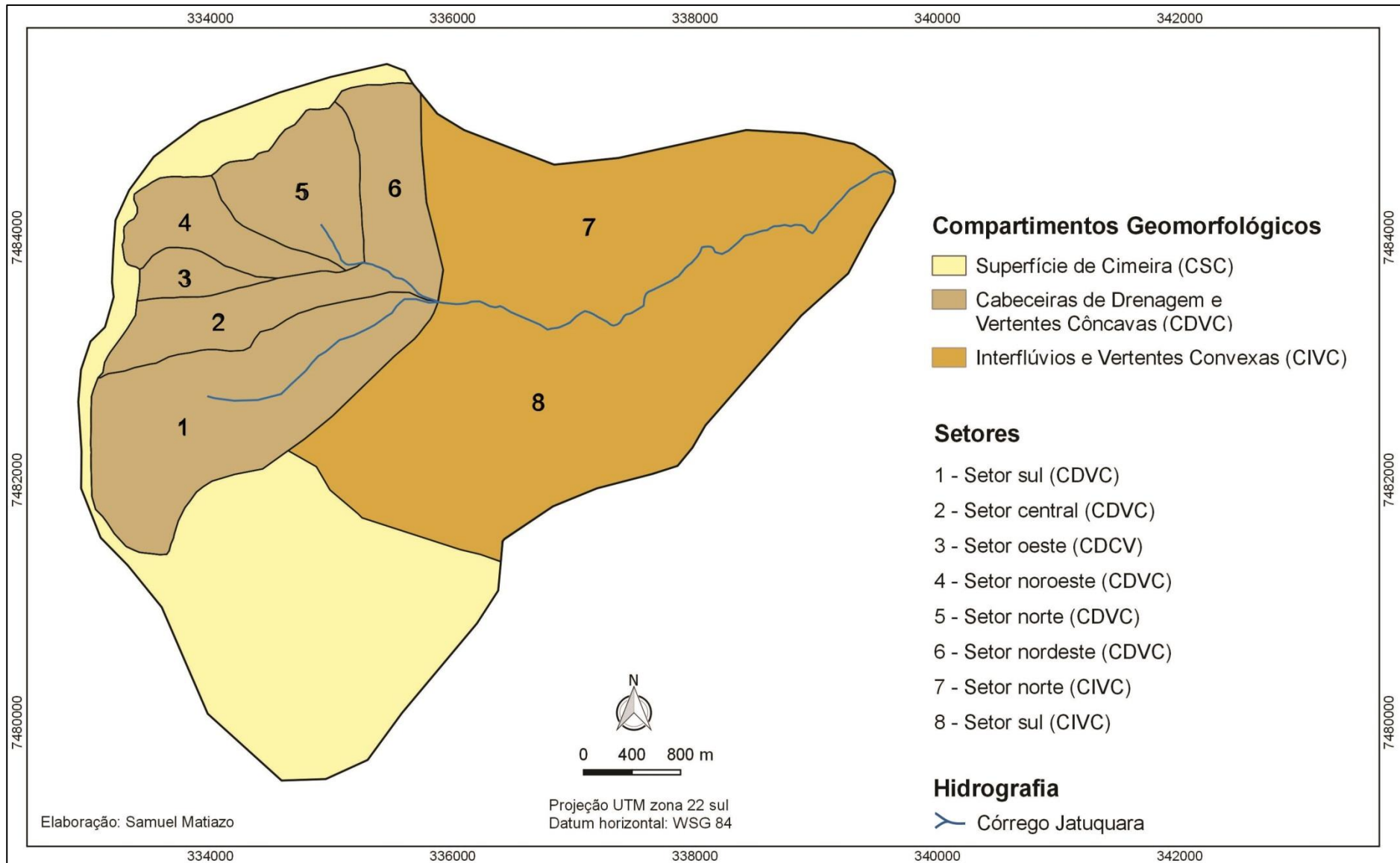
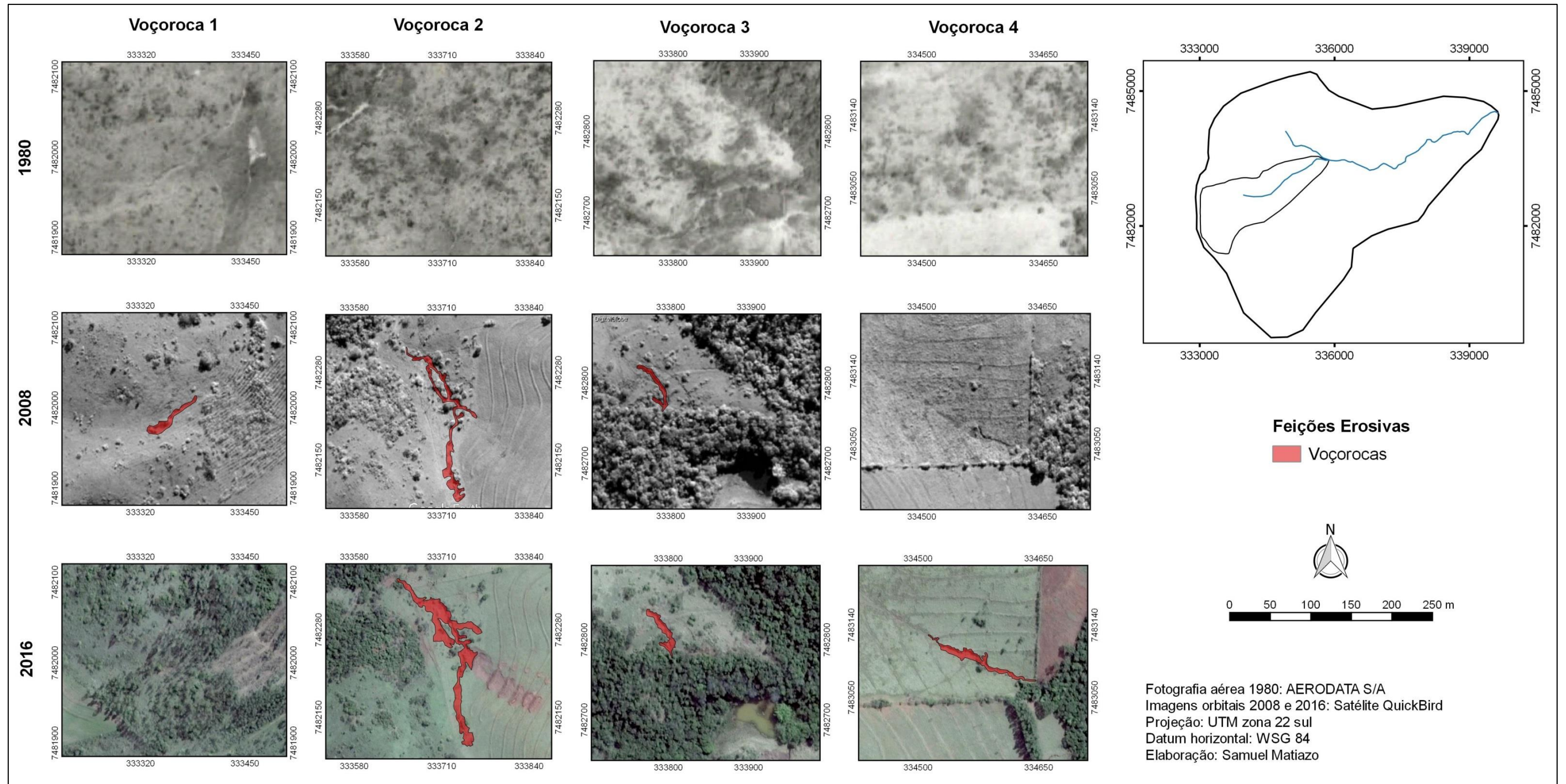


Figura 24 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor sul do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016



A voçoroca de número 2 ocupava uma área de 2.213 m², com 916 m de perímetro, 288 m de comprimento, com largura máxima de 18 m em 2008. Entre os anos de 2008 a 2016, essa voçoroca expandiu-se 50,7% (2.282 m²), praticamente dobrando de tamanho, ocupando uma área então de 4.495 m², com 1.025 m de perímetro, 305 m de comprimento e largura máxima de 28 m no ano de 2016.

A voçoroca de número 3 em 2008 ocupava uma área de 399 m², com 192 m de perímetro, 68 m de comprimento, com largura máxima de 7 m. Com um crescimento registrado de 25,1% (134 m²) em oito anos, em 2016 o espaço ocupado pela mesma voçoroca foi de 533 m², com 186 m de perímetro, 72 m de comprimento com largura máxima de 10 m (Tabela 16).

A voçoroca de número 4 não fora registrada em 2008, no local havia uma ravina que entre 2008 a 2016 evoluiu de estágio e cedeu lugar a uma voçoroca de 856 m², com 373 m de perímetro e 150 m de comprimento, com largura máxima de 14 m. As três voçorocas registradas em 2016 encontram-se ativas.

Tabela 16 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 2008 e 2016 (CDVC - setor sul)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
2008				
1	540m ²	174 m	79 m	11 m
2	2.213 m ²	916 m	288 m	18 m
3	399 m ²	192 m	68 m	7 m
4	-	-	-	-
2016				
1	-	-	-	-
2	4.495 m ²	1.025 m	305 m	28 m
3	533 m ²	186 m	72 m	10 m
4	856 m ²	373 m	150 m	14 m

5.5.2.2. Setor central (CDVC)

De acordo com a Tabela 17 e a Figura 25, no setor central do CDVC no ano de 1980 não foram identificadas voçorocas, apenas alguns sulcos erosivos formados em trilhas a partir do pisoteio do gado. Em 2008, a voçoroca de número 5 não fora registrada, havendo no seu lugar uma ravina. Essa ravina evoluiu para o estágio de

voçoroca, que em 2016 abrangia 384 m², com 157 m de perímetro, 62 m de comprimento, com largura máxima de 14 m.

Em 2008, a área da voçoroca de número 6 compreendia 782 m², com 320 m de perímetro, 123 m de comprimento, com largura máxima de 8 m. Em oito anos (2008-2016), a voçoroca expandiu-se 1.050 m², o que representa um crescimento de 57,3%, ocupando uma área total em 2016 de 1.832 m², com 604 m de perímetro, 225 m de comprimento e com largura máxima de 20 m.

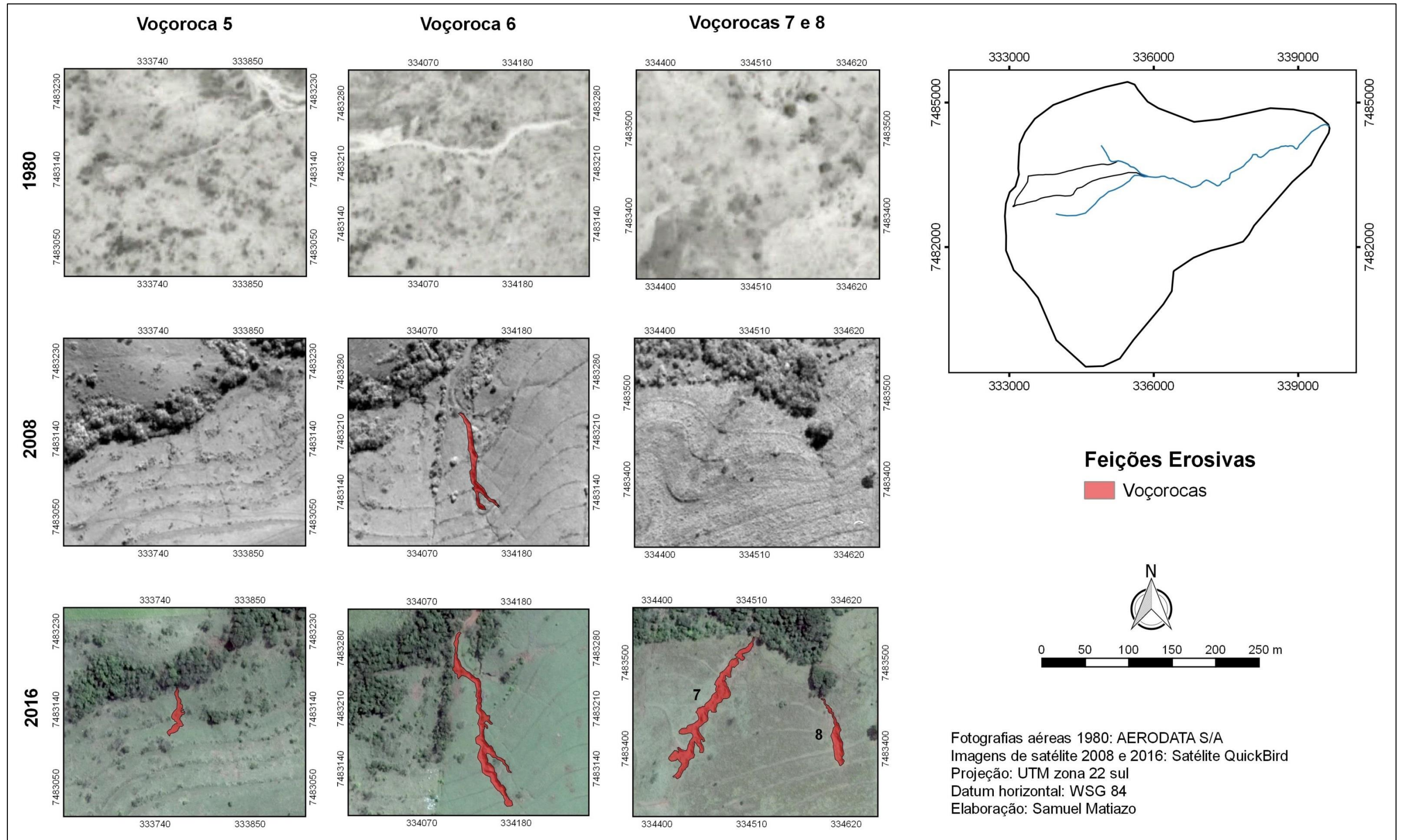
A voçoroca de número 7 não foi identificada em 2008, sendo possível observar que no local onde se formou a feição erosiva haviam três terraços do tipo camalhão (diques), com o objetivo de represar e diminuir a velocidade do escoamento superficial concentrado. Porém, essa prática não surtiu efeito, uma vez que a construção inadequada de terraços, ou seja, com intervalos de distâncias expressivas entre os camalhões, podem gerar represamento da água em períodos de chuvas superior a sua capacidade de contenção. O seu rompimento pode gerar erosão acelerada, como pode ser observada na Figura 25, onde fora registrada em 2016 no local a voçoroca 7, ocupando uma área de 2.159 m², com 574 m de perímetro, 192 m de comprimento e com largura máxima de 22 m.

Paralela à voçoroca 7, a voçoroca de número 8 (Figura 25) em 2016 compreendia uma área de 538 m², com 187 m de perímetro, 84 m de comprimento com largura máxima de 11 m. As quatro voçorocas registradas no setor central do CDVC em 2016 encontram-se ativas.

Tabela 17 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 2008 e 2016 (CDVC - setor central)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
2008				
5	-	-	-	-
6	782 m ²	320 m	123 m	8 m
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
2016				
5	384 m ²	157 m	62 m	14 m
6	1.832 m ²	604 m	225 m	20 m
7	2.159 m ²	574 m	192 m	22 m
8	538 m ²	187 m	84 m	11 m

Figura 25 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor central do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016



5.5.2.3. Setor oeste (CDVC)

No setor oeste do CDVC, como pode ser observado na Figura 26, estão localizadas três voçorocas ativas, sendo que a voçoroca de número 9 representa, em relação a profundidade e extensão, uma das incisões erosivas mais graves da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

No ano de 1980 não foram identificadas voçorocas no setor oeste do CDVC, sendo apenas observados sulcos erosivos oriundos de solo exposto por meio do pisoteio do gado. Em 2008, conforme a Tabela 18, a voçoroca 9 ocupava uma área de 8.320 m², com 1.994 m de perímetro, 322 m de comprimento e com largura máxima de 27 m.

A evolução da voçoroca 9 no período de oito anos compreendido entre 2008 a 2016 demonstrou um rápido avanço da degradação da cobertura pedológica, expandindo-se cerca de 4.680 m², o que representa um crescimento de 36%. Assim, em 2016 a voçoroca ocupava uma área total de 13.000 m², com 1.620 m de perímetro, 333 m de comprimento e com largura máxima de 56 m, sendo identificada como a segunda maior voçoroca da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

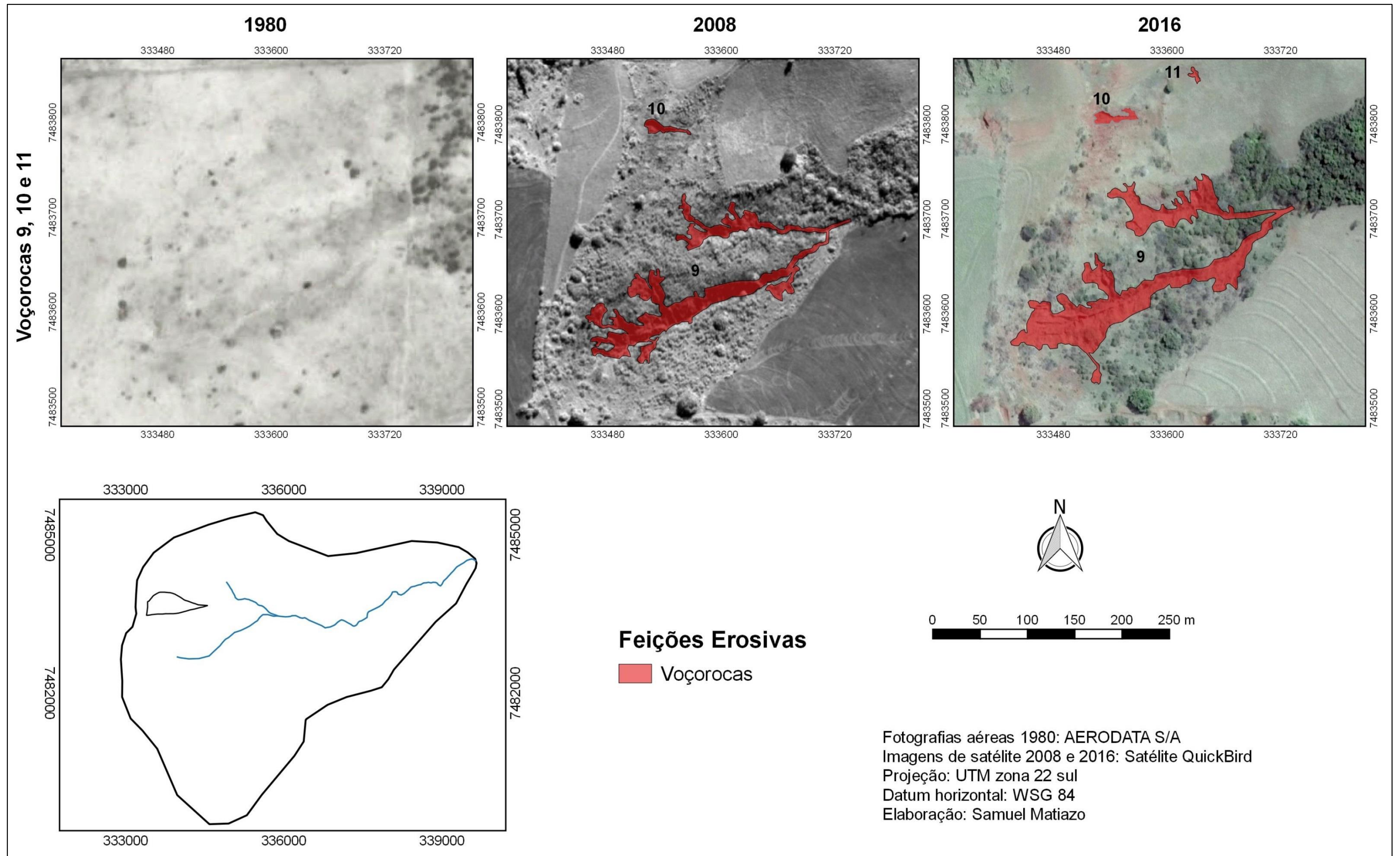
Tabela 18 – Dimensões espaço-temporal da voçoroca 9 nos cenários de 2008 e 2016 (CDVC - setor oeste)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
2008				
9	8.320 m ²	1.994 m	322 m	27 m
2016				
9	13.000 m ²	1.602 m	333 m	56 m

A voçoroca de número 9 apresenta dois segmentos (Figura 26): um menor com eixo longitudinal de 189 m de comprimento, situado ao norte, que se conecta com outro segmento, a jusante. Esse segundo segmento, ao sul, apresenta eixo longitudinal com 320 m de comprimento.

No segmento sul, foram feitos 3 perfis transversais distribuídos nos terços superior, médio e inferior da voçoroca. A voçoroca de número 9 apresenta no seu terço superior largura de 30 metros e profundidade máxima de 15 metros (Figura 27).

Figura 26 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor oeste do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016



Nesse local foram identificados elementos envolvidos na gênese e expansão da incisão erosiva, como os dutos de *pipes* em suas paredes, as alcovas de regressão e os solapamentos de grandes massas de solos, que comprometem os taludes da voçoroca, tornando-os altamente colapsíveis (Figura 28).

Figura 27 - Representação do perfil topográfico transversal (A-B) da voçoroca 9

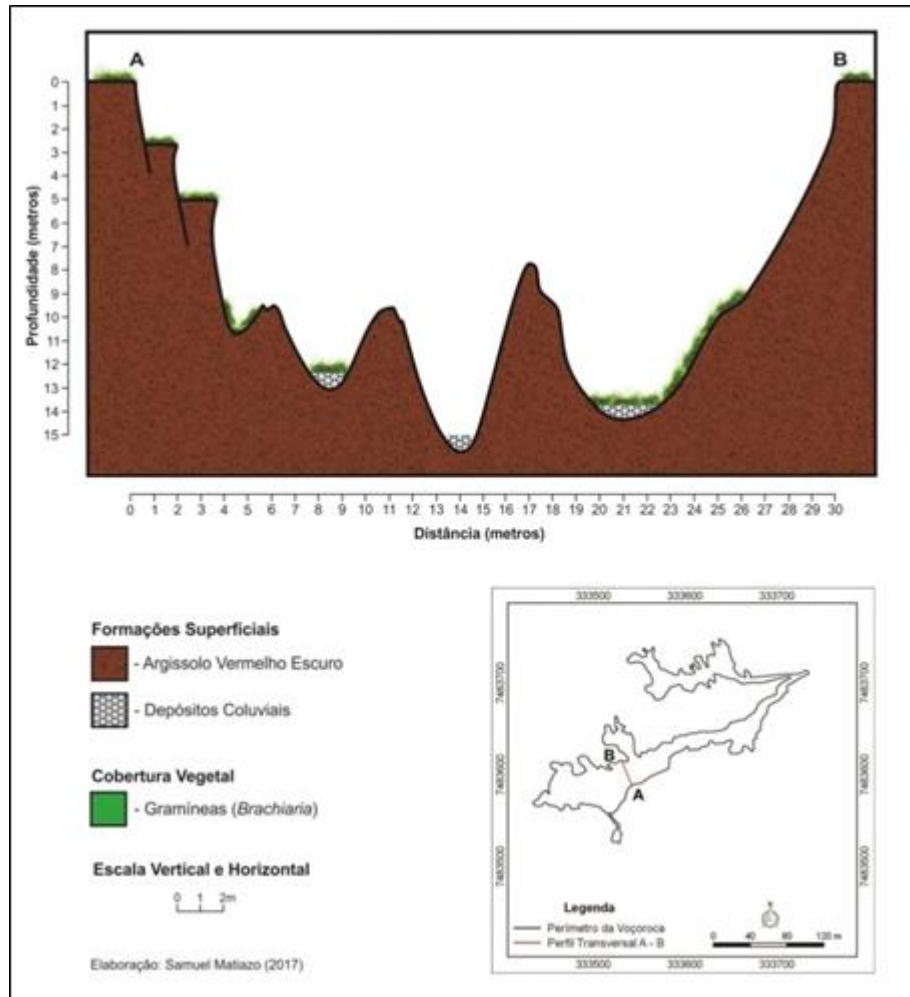


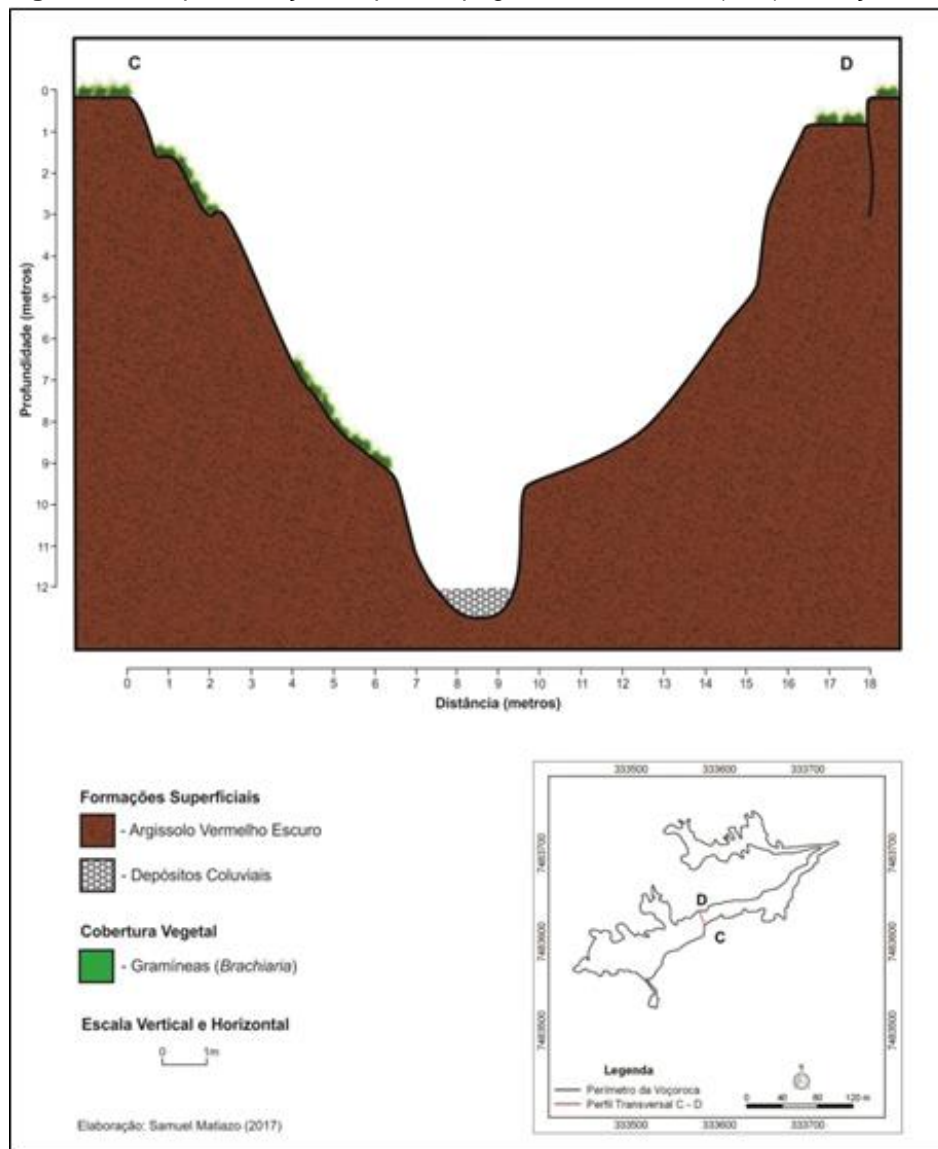
Figura 28 - Mecanismos que atuam na evolução da voçoroca 9



Legenda: (A) Dutos de *pipe*; (B) Alcovas de regressão e solapamento do solo.
Fotografias: Samuel Matiazo (12/10/2017)

O perfil transversal da porção média da voçoroca 9 apresenta uma largura de 18 m com profundidade máxima de 12 m. É possível observar que na porção média da voçoroca há apenas um canal principal entulhado com material coluvial, onde em suas bordas é possível observar movimentos gravitacionais de abatimento do solo, que comprometem as áreas marginais, fazendo com que ocorra paulatinamente o alargamento do canal da voçoroca, como pode ser observado na Figura 29.

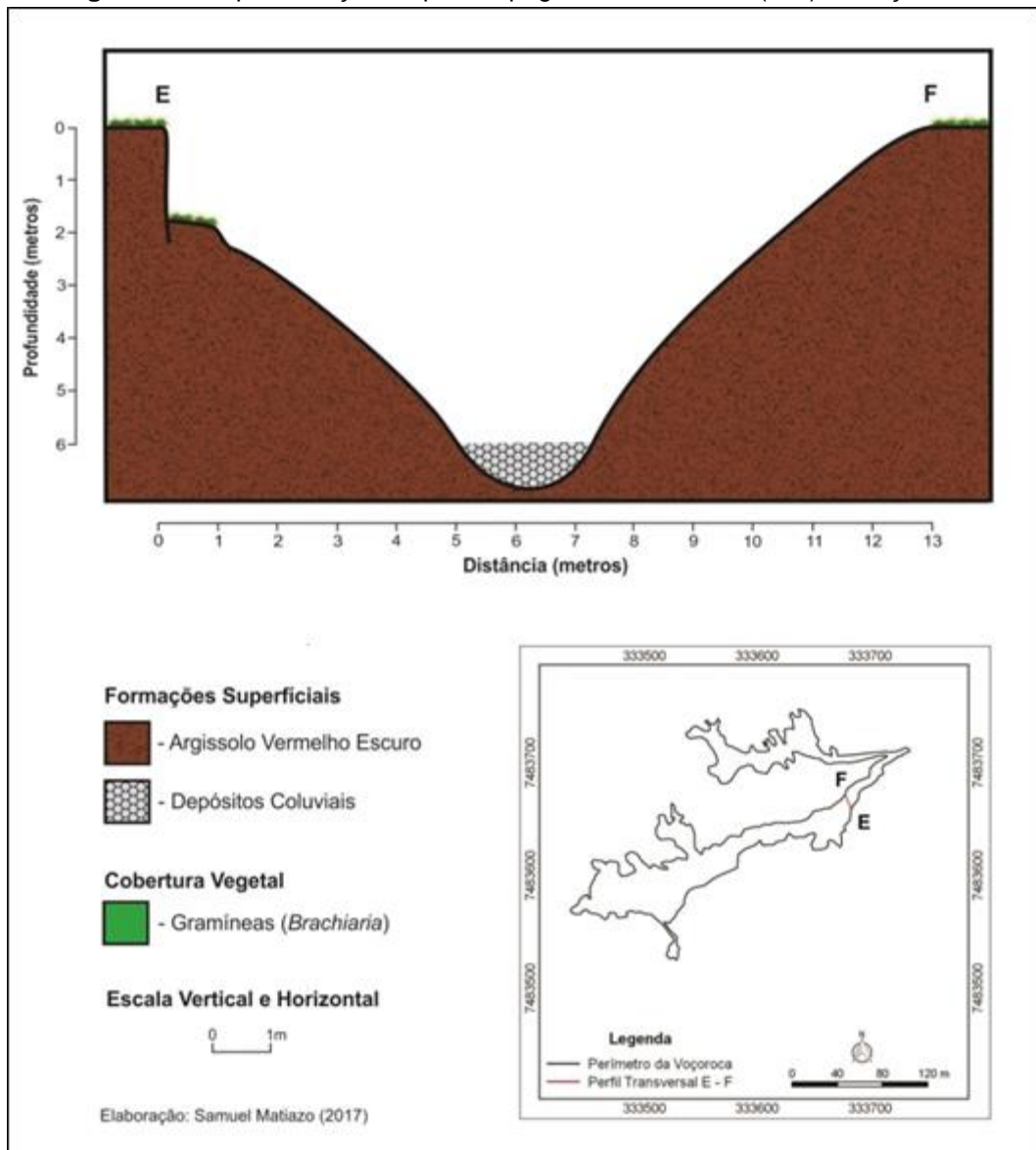
Figura 29 - Representação do perfil topográfico transversal (C-D) da voçoroca 9



O perfil transversal da porção inferior da voçoroca 9 apresenta uma largura de 13 m com profundidade máxima de 6 m. É possível observar na porção inferior do canal principal da voçoroca que o talvegue é menos entalhado em relação às porções superiores localizadas em maiores declives, apresentando um canal com

largura de 3 m entulhado de material coluvial. A menor declividade, associada a esse trecho jusante da voçoroca, permite a redução da energia erosiva com o retardamento do fluxo de escoamento das águas superficiais. Desse processo, resulta o predomínio de processos deposicionais com formação de depósitos coluviais (Figura 30).

Figura 30 - Representação do perfil topográfico transversal (E-F) da voçoroca 9



Outras duas voçorocas de menor porte localizam-se próximas à voçoroca 9 (Figura 26). A voçoroca de número 10, no ano de 2008 ocupava uma área 305 m^2 , com 122 m de perímetro, 52 m de comprimento, com largura máxima de 15 m. Em 2016, a voçoroca 10 ocupava uma área de 504 m^2 , 172 m de perímetro, 56 m de

comprimento e com largura máxima de 16 m, o que representa um crescimento de 39,4% (199 m²), registrado entre o período de 2008 a 2016.

A voçoroca de número 11 teve a sua formação iniciada após 2008, em virtude da mesma não ter sido observada nas imagens de 1980 e 2008. Em relação a 2016, a voçoroca 9 ocupava uma área de 219 m², com 56 m de perímetro, 18 m de comprimento e com largura máxima de 10 m (Tabela 19).

Tabela 19 – Dimensões espaço-temporal das voçorocas 10 e 11 nos cenários de 2008 e 2016 (CDVC - setor oeste)

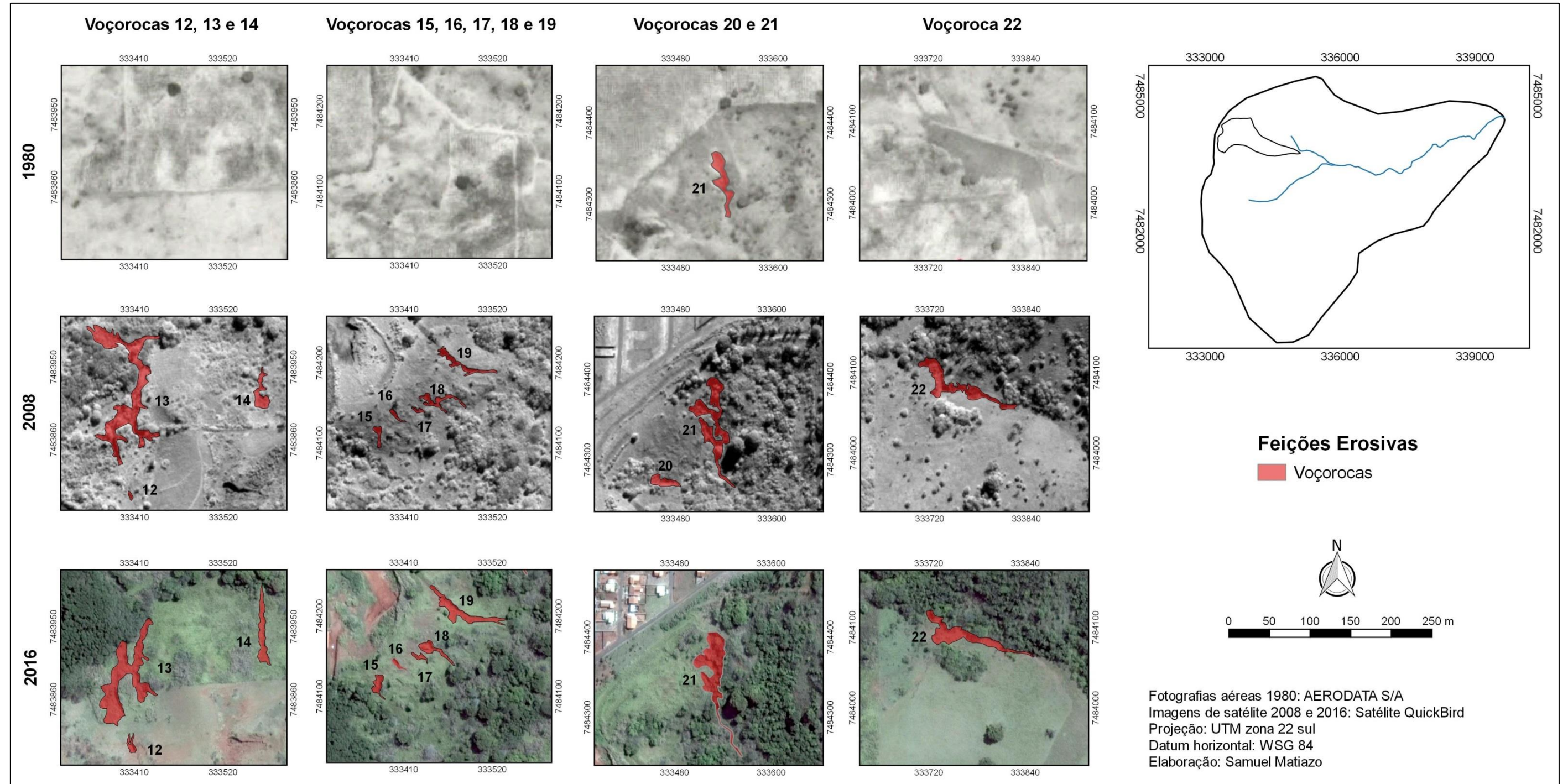
Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
2008				
10	305 m ²	122 m	52 m	15 m
11	-	-	-	-
2016				
10	504 m ²	172 m	56 m	16 m
11	219 m ²	56 m	18 m	10 m

5.5.2.4. Setor noroeste (CDVC)

O setor noroeste do CDVC, como pode ser observado na Figura 31, é a área da bacia em que foi registrada 1/3 das feições erosivas do tipo voçoroca em 2016, num total de onze voçorocas ocupando uma área total de 9.180 m².

Em 1980, foi identificada apenas uma voçoroca, sendo que as demais surgiram e se expandiram durante o período de 28 anos entre 1980 a 2008. Em 2008, a voçoroca de número 12 abrangia uma área de 39 m², com 27 m de perímetro, 12 m de comprimento e com largura máxima de 4 m (Tabela 20). Em 2016, a mesma voçoroca ocupava uma área de 320 m², com 95 m de perímetro, 26 m de comprimento e com largura máxima de 9 m. Em oito anos, a voçoroca expandiu-se 281 m², o que representa um crescimento de 87,8%. Atualmente, essa voçoroca ainda encontrando-se em processo de atividade.

Figura 30 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor noroeste do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016



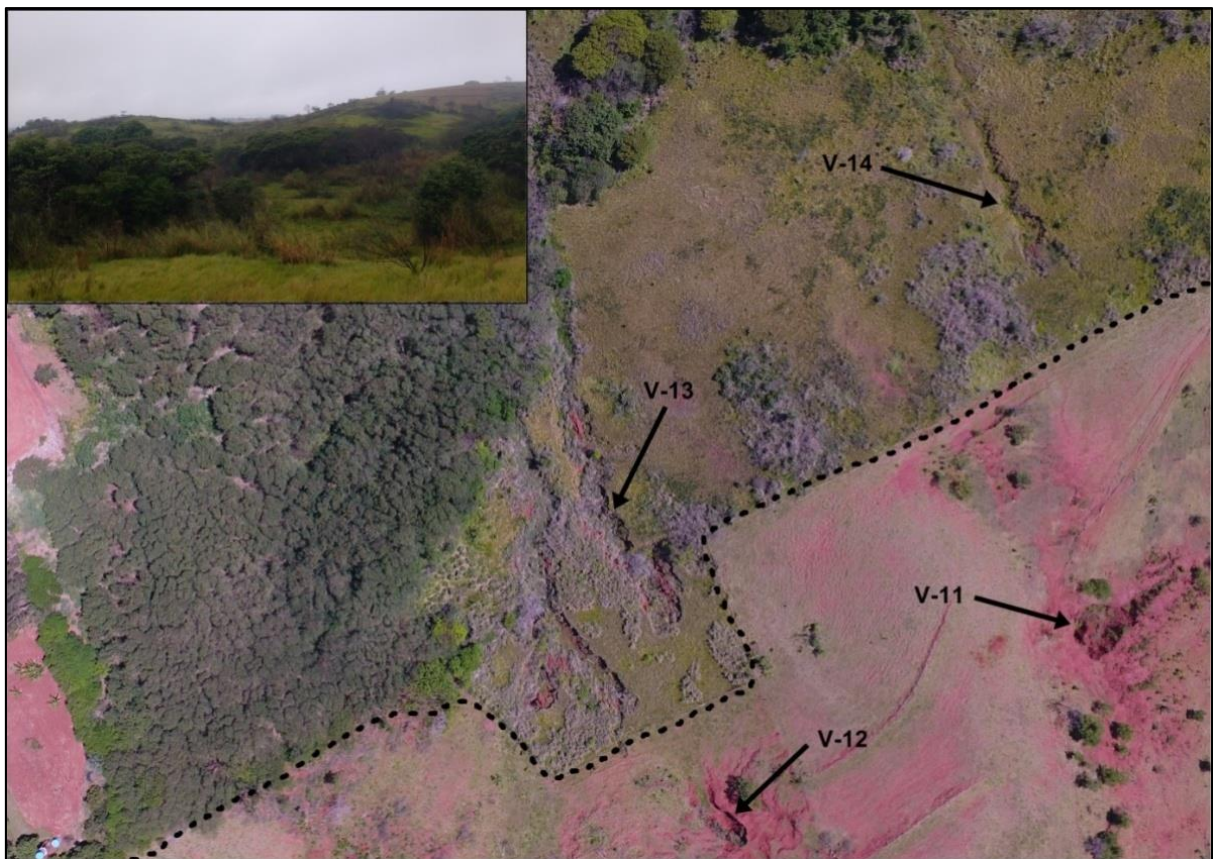
A voçoroca de número 13, em 2008, abrangia uma área de 3.578 m², com 827 m de perímetro, 200 m de comprimento e com largura máxima de 30 m. Em 2016, essa voçoroca encontrava-se completamente ocupada por vegetação arbórea e por gramíneas, sendo possível delimitar apenas os locais ocupados pela *brachiaria*. É possível observar que entre 2008 a 2016 a voçoroca encontrava-se em expansão, já que foi identificada uma nova ramificação a oeste do canal principal (Figura 31). Assim, em 2016, a área ocupada pela voçoroca 13 era de 2.907 m², com 562 m de perímetro e 152 m de comprimento e com largura máxima de 28 m, o que representou um decréscimo de 18,7% (671 m²).

Tabela 20 - Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (CDVC - setor noroeste)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
1980				
21	817 m ²	209 m	83 m	19 m
2008				
12	39 m ²	27 m	12 m	4 m
13	3.578 m ²	827 m	200 m	30 m
14	450 m ²	157 m	57 m	19 m
15	133 m ²	69 m	28 m	10 m
16	77 m ²	56 m	25 m	5 m
17	54 m ²	47 m	20 m	5 m
18	342 m ²	217 m	70 m	12 m
19	418 m ²	226 m	80 m	10 m
20	330 m ²	97 m	40 m	14 m
21	1.909 m ²	551 m	157 m	23 m
22	1.462 m ²	392 m	152 m	18 m
2016				
12	320 m ²	95 m	26 m	9 m
13	2.907 m ²	562 m	152 m	28 m
14	665 m ²	229 m	104 m	14 m
15	231 m ²	95 m	33 m	12 m
16	117 m ²	68 m	31 m	7 m
17	92 m ²	61 m	27 m	9 m
18	315 m ²	125 m	53 m	16 m
19	865 m ²	286 m	109 m	17 m
20	-	-	-	-
21	2.194 m ²	462 m	174 m	40m
22	1.474 m ²	362 m	132 m	23 m

A voçoroca de número 14 em 2008 abrangia uma área de 450 m², com 157 m de perímetro e 57 m de comprimento, com largura máxima de 19 m. No decorrer de oito anos, a voçoroca teve um crescimento de 32,3% (215 m²), ocupando em 2016 uma área de 665 m², com 229 m de perímetro e 104 m de comprimento, com largura máxima de 14 m, sendo identificada como uma voçoroca inativa ocupada por gramíneas. A inatividade das voçorocas e a sua ocupação por vegetação rasteira estão diretamente ligadas à conservação das vertentes no local, uma vez que a área foi cercada para evitar o acesso do gado, influenciando assim, no surgimento de uma densa cobertura de gramíneas nas feições erosivas, conforme a Figura 32.

Figura 32 – Imagem aérea do setor noroeste do CDVC com a presença de voçorocas



Legenda: Imagem aérea do setor noroeste do CDVC em processo de regeneração da vegetação em relação ao setor oeste do CDVC com degradação acelerada da cobertura pedológica por meio de processos erosivos em lençol e lineares. **V - 11, 12, 13 e 14:** voçorocas.

Fotografias: Samuel Matiazio (20/11/2016)

As voçorocas identificadas pelos números (15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21) localizam-se paralelamente em uma vertente próxima à malha urbana da cidade de Terra Rica, sendo que todas se encontram em processo de estabilidade por meio da

ocupação da vegetação rasteira, e também pelo decréscimo da erodibilidade dos solos nas feições erosivas.

A voçoroca de número 15 em 2008 ocupava uma área de 133 m², com 69 m de perímetro, 28 m de comprimento e com largura máxima de 10 m. No decorrer de oito anos, em 2016, a voçoroca representou uma expansão de 42,2% (98 m²), abrangendo uma área de 231 m², com 95 m de perímetro, 33 m de comprimento e com largura máxima de 12 m.

A voçoroca de número 16 em 2008 ocupava uma área de 77 m², com 56 m de perímetro, 25 m de comprimento e com largura máxima de 5 m. Em 2016, a mesma feição erosiva abrangia uma área de 117 m², com 68 m de perímetro, 31 m de comprimento e com largura máxima de 7 m, representando um crescimento de 34,1% (40 m²). Embora as voçorocas localizadas nessa vertente não retratem expressiva abrangência espacial, apresentam profundidades consideráveis, como a voçoroca 16, com cerca de cinco metros de profundidade em sua cabeceira. Observa-se também a presença de agentes de expansão da feição erosiva (Figura 33).

Figura 33 - Vista parcial da voçoroca 16



Legenda: (A) duto de escoamento da água subsuperficial; (B) cone de dejeção de areia originado pela liquefação do solo por meio da erosão interna "piping"; (C) filetes de escoamento superficial ao longo da parede da voçoroca. **Fotografia:** Samuel Matiazó (06/06/2016)

A voçoroca de número 17 em 2008 ocupava uma área de 54 m², com 47 m de perímetro, 20 m de comprimento e com largura máxima de 5 m. No período entre 2008 a 2016, a voçoroca apresentou um crescimento de 41,3% (38 m²), abrangendo em 2016 uma área de 92 m², com 61 m de perímetro, 27 m de comprimento e com largura máxima de 9 m.

A voçoroca de número 18, ao contrário das voçorocas que se encontram paralelas, perdeu espaço entre 2008 a 2016, tendo parte dela ocupada pela vegetação. Em 2008 abrangia 342 m², com 217 m de perímetro, 70 m de comprimento e com largura máxima de 12 m. Em 2016, com uma redução de 7,8% (27 m²), ocupava uma área de 315 m², com 125 m de perímetro, 53 m de comprimento e com largura máxima de 16 m.

No ano de 1980, conforme pode-se observar na Figura 31, no local que se formou a voçoroca de número 19 havia uma trilha com solo exposto oriundo do pisoteio do gado. No ano de 2008 a voçoroca abrangia uma área de 418 m², com 226 m de perímetro, 80 m de comprimento e com largura máxima de 10 m. Em 2016, a mesma voçoroca ocupava uma área de 865 m², com 286 m de perímetro, 109 m de comprimento e com largura máxima de 17 m, o que representa um crescimento de 51,6% (447 m²).

A voçoroca de número 20 não foi identificada no ano de 1980. No ano de 2008 ocupava uma área de 330 m², com 97 m de perímetro, 40 m de comprimento e com largura máxima de 14 m. Observa-se que entre 2008 a 2016 a retomada da vegetação estabilizou a incisão erosiva, sendo que em 2016 a área na qual se encontrava a voçoroca 20 estava totalmente ocupada pela vegetação arbórea (Figura 31)

Dentre as quatro voçorocas identificadas no ano de 1980 na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, a voçoroca de número 21 ocupava uma área de 817 m², com 209 m de perímetro, 83 m de comprimento e com largura máxima de 19 m. Em 2008, a voçoroca 20 abrangia uma área de 1.909 m², com 551 m de perímetro, 157 m de comprimento e com largura máxima de 23 m, o que representa um crescimento de 57,2% (1.092 m²). Entre 2008 a 2016, o avanço da erosão foi menor, registrando uma expansão de 12,9% (285 m²), abrangendo uma área total no ano de 2016 de 2.194 m², com 462 m de perímetro, 174 m de comprimento e com largura máxima de 40 m.

Em 2016, observou-se que a voçoroca 21 encontra-se em processo de estabilização, reflexo da recuperação da vegetação e da introdução de práticas conservacionistas, como pode ser observado na implantação de um terraço à montante da incisão erosiva (Figura 34).

Figura 34 - Vista parcial do terraço a montante da voçoroca 21

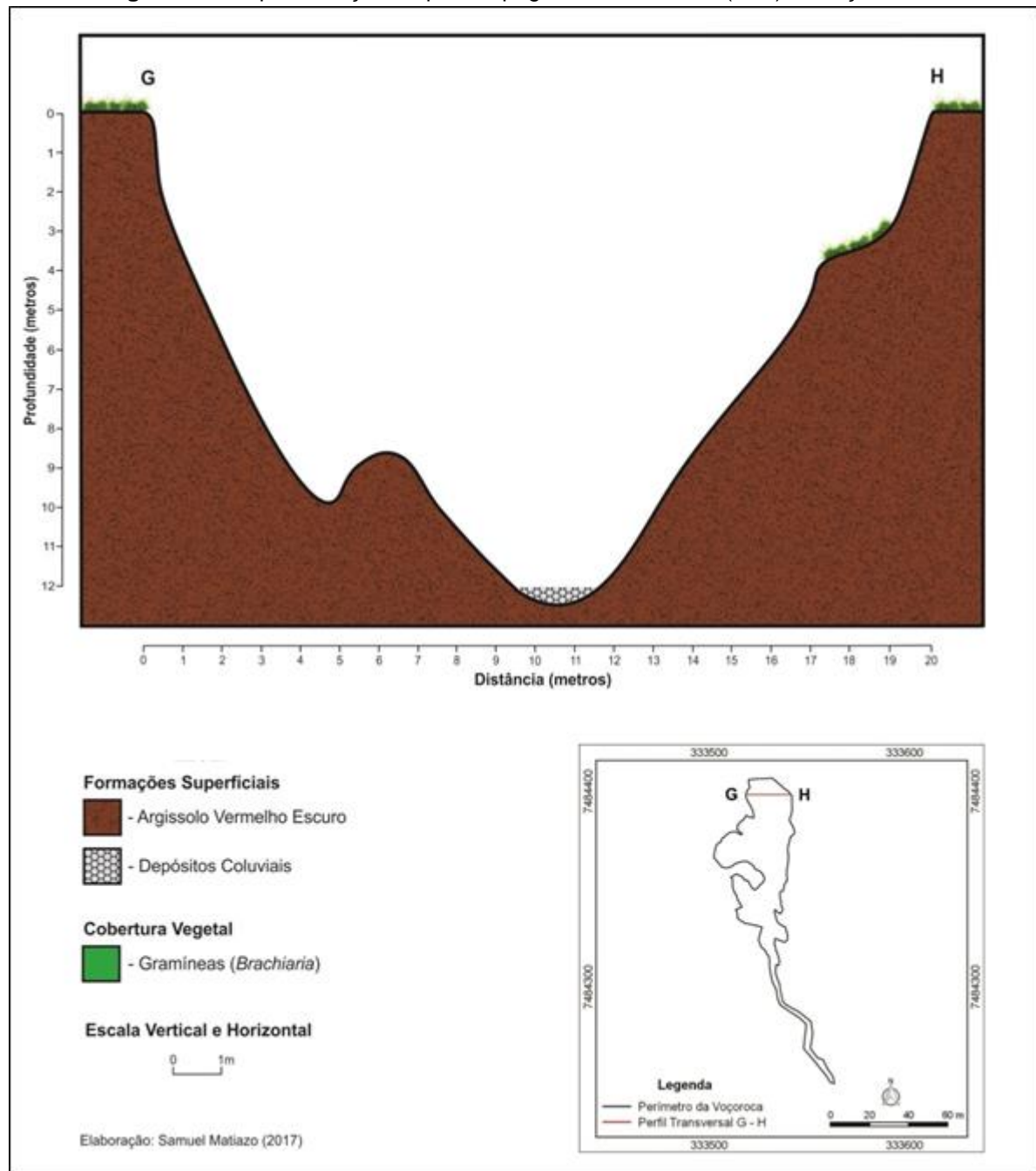


Fotografia: Samuel Matiazo (22/08/2016)

A voçoroca de número 21 apresenta uma disposição longitudinal de norte para o sul e se configura num único seguimento, mais largo a montante e mais estreito a jusante. Nessa voçoroca foram elaborados dois perfis transversais, um no extremo montante e outro no terço médio. O perfil a montante apresentou uma largura de 20 metros com profundidade máxima de 12 metros (Figura 35).

Na porção superior da voçoroca observou-se que não há elementos ativos envolvidos na expansão da erosão, como os sulcos secundários em suas paredes e o solapamento de massas de solo nas laterais. Diante disso, a retomada da vegetação nos taludes e no talvegue da voçoroca confirmam o processo de estabilização.

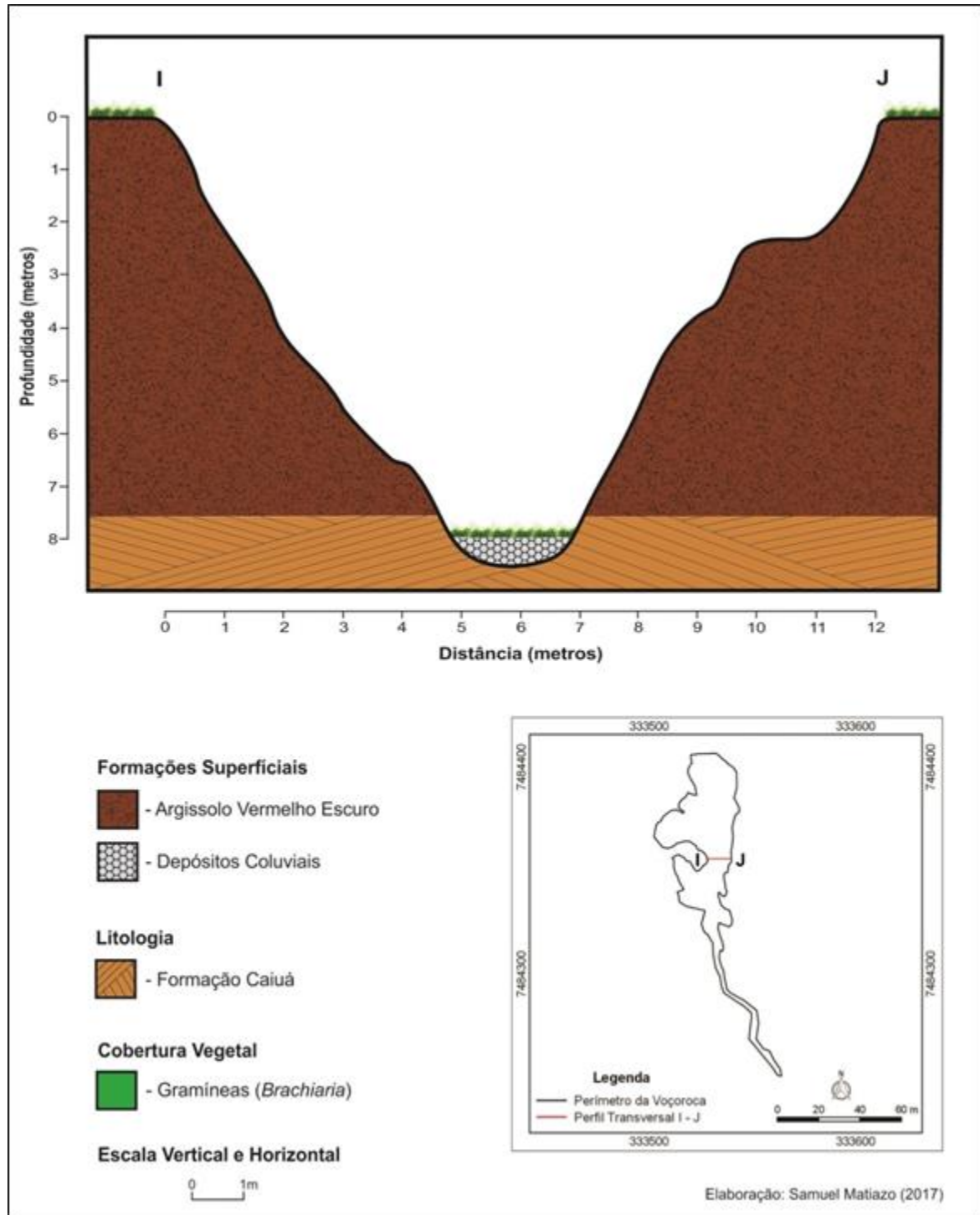
Figura 35 - Representação do perfil topográfico transversal (G-H) da voçoroca 21



A jusante do perfil (G-H), no terço médio da voçoroca, o perfil topográfico transversal (I-J) apresentou 12 m de largura e profundidade máxima de 8 m (Figura 36). Nessa porção da voçoroca foi identificado que o solo é menos desenvolvido, e o aprofundamento do entalhe do canal principal alcançou o substrato rochoso, composto por arenitos da Formação Caiuá.

Observou-se também no terço médio da voçoroca 21 o processo de estabilização da feição erosiva, por meio da retomada da vegetação sobre os sedimentos coluviais depositados no talvegue do canal principal.

Figura 36 - Representação do perfil topográfico transversal (I-J) da voçoroca 21



A voçoroca de número 22 localiza-se no fundo do vale com declividades que variam de 0-5%. A sua gênese está relacionada com o escoamento superficial pluvial intermitente, uma vez que as águas das chuvas oriundas das vertentes a montante convergem-se na porção mais baixa do relevo. Em 2008, a voçoroca 22 ocupava uma área de 1.462 m², com 392 m de perímetro, 152 m de comprimento e com largura máxima de 18 m. Entre os anos de 2008 a 2016, houve pouco avanço da incisão erosiva, uma vez que, no setor noroeste do CDVC entre esse período, foi possível observar a recuperação da vegetação, com o avanço da mata e da densa vegetação rasteira nas vertentes.

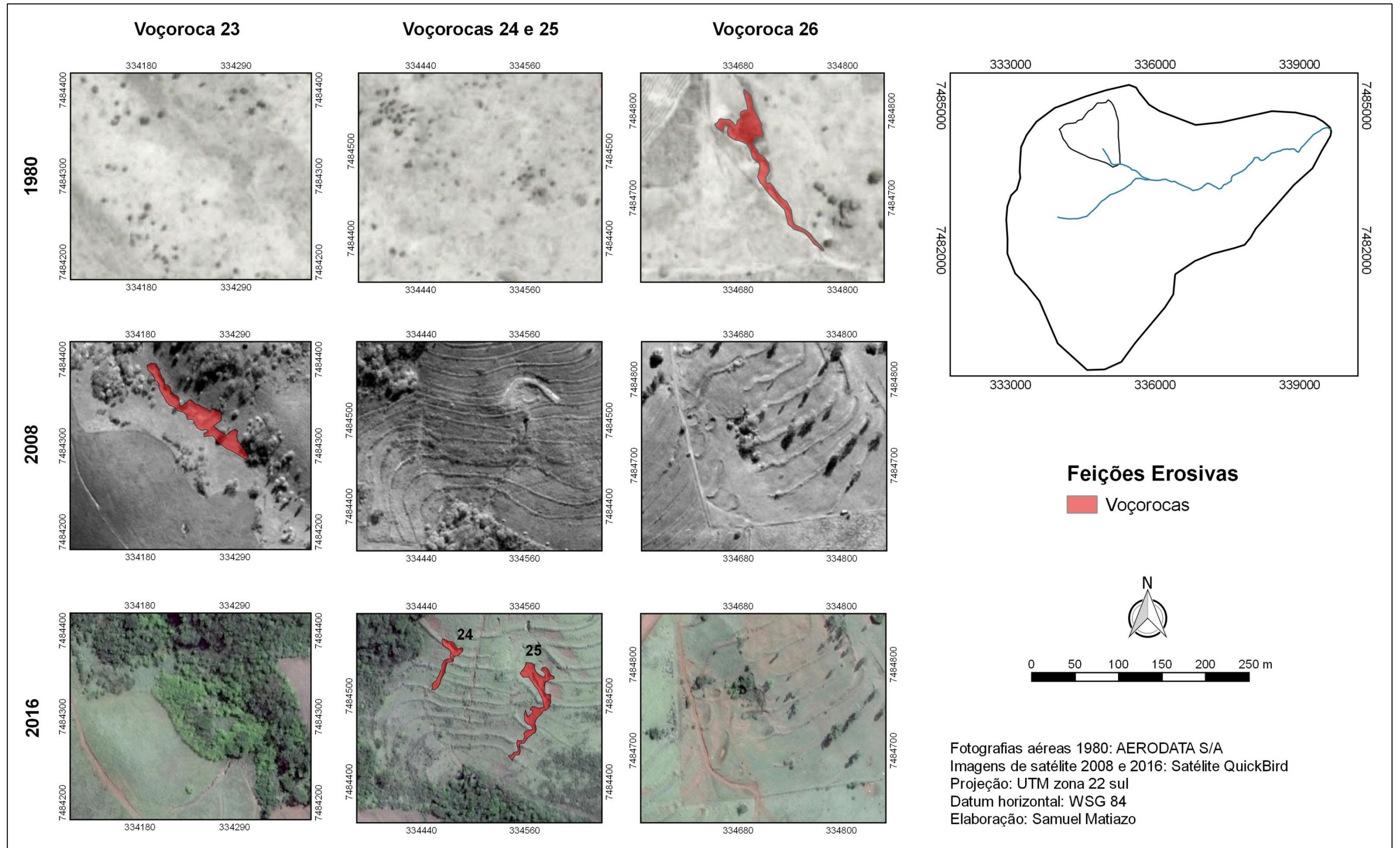
A influência da retomada da vegetação tornou-se um agente natural interceptador das águas pluviais, aumentando a capacidade de infiltração da água no solo e diminuindo o escoamento superficial e o avanço da erosão. Assim, em processo de estabilização, no ano de 2016 a voçoroca 22 abrangia uma área de 1.474 m², com 362 m de perímetro, 132 m de comprimento e com largura máxima de 23 m, o que representa um crescimento de 0,8% (12 m²).

5.5.2.5. Setor norte (CDVC)

O setor norte do CDVC, bem como o setor noroeste, são as áreas da bacia mais afetadas por feições erosivas aceleradas, periféricas à malha urbana da cidade de Terra Rica. Conforme a Figura 37 no ano de 1980 foi identificada apenas uma voçoroca.

A voçoroca de número 23 não fora registrada em 1980, e em 2008 ocupava uma área de 2.313 m², com 407 m de perímetro, 160 m de comprimento e com largura máxima de 30 m (Tabela 21). O período de oito anos entre os cenários de 2008 a 2016 marcou a retomada da vegetação capoeira e arbórea na área que se localizava a voçoroca 23, assim, em 2016 não foi possível delimitar o seu perímetro, portanto, foi considerada uma voçoroca inativa.

Figura 37 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor norte do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016



As voçorocas de números 24 e 25 não foram identificadas nos cenários de 1980 e 2008. Em 2016, a voçoroca 24 abrangia uma área de 464 m², com 171 m de perímetro, 75 m de comprimento e com largura máxima de 11 m. Paralelamente a ela, a voçoroca 25 ocupava uma área de 1.266 m², com 394 m de perímetro, 141 m de comprimento e com largura máxima de 19 m, ambas em processo de atividade. Nota-se que na vertente no ano 2016 haviam terraços incapazes de evitar o escoamento acelerado, uma vez que foi possível observar o desgaste dos camalhões, ou seja, o rebaixamento do volume de terra em comparação a 2008, e com a influência de declives de 15% a 20% com a presença de uma vegetação rasteira degradada pelo pisoteio do gado, foram elementos suficientes para o surgimento e expansão das voçorocas paralelas 24 e 25.

Tabela 21 - Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (CDVC - setor norte)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
1980				
26	2.410 m ²	537 m	215 m	40 m
2008				
23	2.313 m ²	407 m	160 m	30 m
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
2016				
23	-	-	-	-
24	464 m ²	171 m	75 m	11 m
25	1.266 m ²	394 m	141 m	19 m
26	-	-	-	-

A voçoroca de número 26 foi o único processo de voçorocamento registrado no ano de 1980 no setor norte do CDVC. Naquele ano a voçoroca ocupava uma área de 2.410 m², com 537 m de perímetro, 215 m de comprimento e com largura máxima de 40 m. Observou-se *in loco*, que a recuperação da voçoroca 26, anterior ao cenário de 2008, foi por meio do entulhamento da incisão erosiva com uma mistura de terra, resíduos da construção civil, resíduos sólidos domésticos e, posteriormente, pela construção de terraços. Observou-se também a retomada da vegetação e a inatividade da feição erosiva.

A voçoroca de número 27, no ano de 2008, ocupava uma área de 1.218 m², com 251 m de perímetro, 68 m de comprimento e com largura máxima de 16 m. Entre 2008 a 2016, o solapamento de massas de solo no perímetro da voçoroca e a evolução remontante da erosão, expandiram a voçoroca em 638 m², representando um crescimento de 34,3% (Tabela 22). Diante disso, em 2016, a voçoroca 27 ocupava uma área de 1.856 m², com 242 m de perímetro, 98 metros de comprimento, com largura máxima de 35 m, como pode ser observado na Figura 38.

A voçoroca de número 29, sendo a terceira maior feição erosiva da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, ocupa uma área de 7.058 m². Conforme a Figura 39, não foram registradas voçorocas no cenário de 1980, sendo identificadas apenas ravinas.

Tabela 22 - Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 2008 e 2016 (CDVC – setor norte)

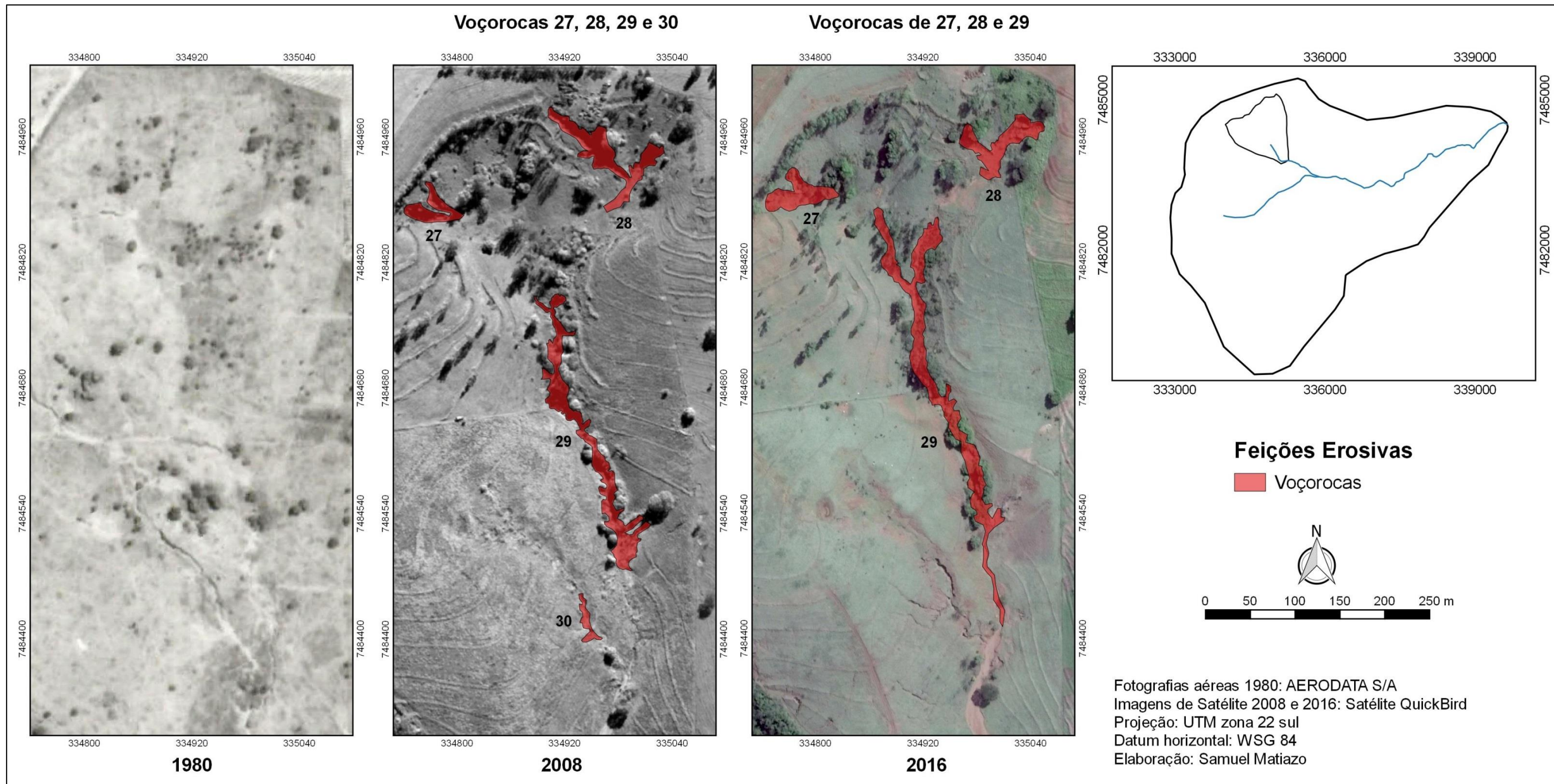
Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
2008				
27	1.218 m ²	251 m	68 m	16 m
28	3.232 m ²	564 m	162 m	38 m
29	5.044 m ²	1.089 m	334 m	30 m
30	437 m ²	163 m	58 m	11 m
2016				
27	1.856 m ²	242 m	98 m	35 m
28	2.352 m ²	363 m	95 m	31 m
29	7.058 m ²	1.386 m	494 m	23 m
30	-	-	-	-

Figura 38 - Vista parcial da voçoroca 27



Legenda: A flecha e a linha pontilhada indicam a localização da ruptura negativa de declive entre o CSC e o CDVC. **Fotografia:** Samuel Matiazo (25/11/2016)

Figura 39 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor norte do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016



A voçoroca de número 28, não identificada no cenário de 1980, no ano de 2008 abrangia uma área de 3.232 m², com 564 m de perímetro, 162 m de comprimento e com largura máxima de 38 m. Entre os anos de 2008 a 2016, parte da voçoroca foi soterrada, porém não impediu o avanço da erosão, já que no ano de 2016, com 27,2% (880 m²) de área recuperada, a voçoroca ocupava ainda uma área de 2.352 m², com 363 m de perímetro, 95 m de comprimento e com largura máxima de 31 m.

A voçoroca de número 29 foi considerada a terceira maior incisão erosiva identificada na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara. Em 2008, a voçoroca supracitada abrangia uma área de 5.044 m², com 1.089 m de perímetro, 334 m de comprimento e com largura máxima de 30 m. No decorrer de oito anos (2008 a 2016), a incisão erosiva expandiu-se 28,5% (2.014 m²), totalizando uma área ocupada no ano de 2016 de 7.058 m², com 1.386 m de perímetro e quase meio quilômetro de comprimento (494 m), com largura máxima de 23 m (Figura 40).

Figura 40 - Vista parcial do canal de escoamento principal da voçoroca 29

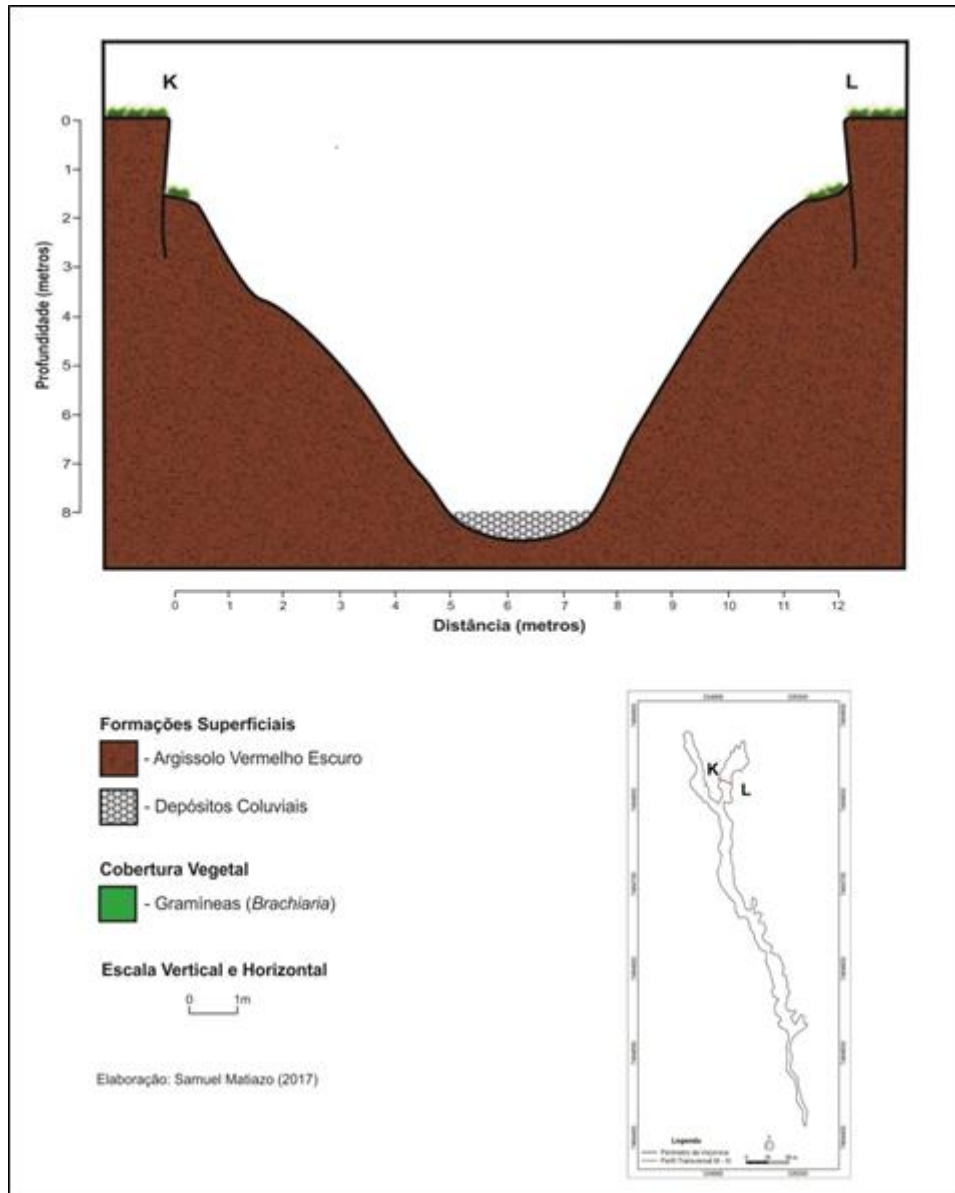


Fotografia: Samuel Matiazó (25/11/2016)

A voçoroca de número 29 apresenta uma morfologia longilínea, com disposição norte-sul, com variações menores de largura, quando comparadas as demais descritas. Foram elaborados dois perfis transversais dispostos no terço superior da voçoroca. O primeiro perfil, na porção montante da voçoroca, apresentou

uma largura de 12 m com profundidade máxima de 8 m. Como pode ser observado na Figura 41, o solapamento de grandes massas de solos comprometem as áreas marginais da feição erosiva.

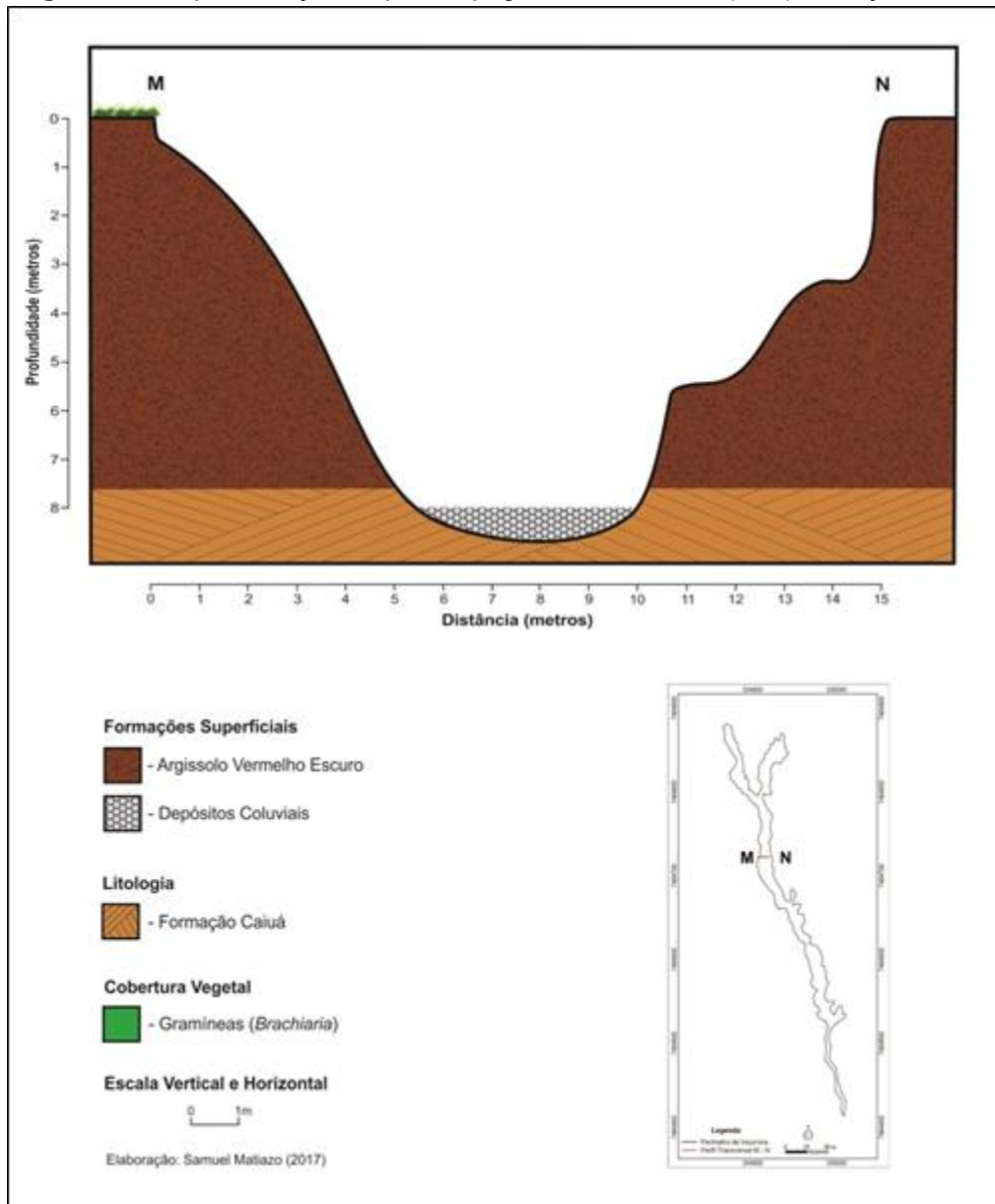
Figura 41 - Representação do perfil topográfico transversal (K-L) da voçoroca 29



O segundo perfil apresentou uma largura de 15 m com profundidade máxima de 8 m. Nessa porção da voçoroca observa-se o alargamento do canal de escoamento principal, uma vez que o entalhamento vertical alcançou o substrato rochoso, onde o mesmo apresenta propriedades cimentantes superiores ao material inconsolidado sobreposto. Assim, há a tendência de diminuir a capacidade erosiva vertical (Figura 42). A partir da média porção, a largura da voçoroca se mantém,

havendo apenas mudanças na diminuição da profundidade até a porção inferior da incisão erosiva.

Figura 42 - Representação do perfil topográfico transversal (M-N) da voçoroca 29



Por último, a voçoroca de número 30 ocupava uma área de 437 m², com 163 m de perímetro, 58 m de comprimento e com largura máxima de 11 m. Entre 2008 a 2016, a área da voçoroca foi recuperada por meio de soterramento. Essa prática não impediu que em 2016 fosse registrada uma ravina com três ramificações, e por meio da observação em campo, em curto prazo poderá evoluir para uma voçoroca.

5.5.2.6. Setor nordeste (CDVC)

O setor nordeste do CDVC, em relação aos demais setores desse compartimento, é o que apresenta a menor quantidade de processos de voçorocamento, destacando-se nessa, processos de ravinamento. No ano de 1980, no fundo do vale de um curso d'água intermitente, localizava-se a voçoroca de número 31, que ocupava uma área de 3.131 m², com 622 m de perímetro, 290 m de comprimento e com largura máxima de 21 m (Tabela 23).

O período de 28 anos entre 1980 a 2008 foi marcado pela recuperação da mata nos fundos de vales da bacia, como pode ser observado na Figura 43. Diante disso, em 2008, com grande parte da voçoroca vegetada, a mesma abrangia uma área de 1.304 m², com 1.420 m de perímetro, 124 m de comprimento e com largura máxima de 24 m, localizada em uma área com a ausência da vegetação arbórea. Entre os anos de 2008 a 2016, parte da voçoroca foi recuperada, com uma redução de 49,9% (651 m²) da feição erosiva, abrangendo em 2016 uma área de 653 m² com 239 m de perímetro, 108 m de comprimento e com largura máxima de 8 m, sendo considerada inativa, uma vez que a incisão erosiva encontra-se tomada pela vegetação rasteira.

Observa-se na Figura 43 que, no ano de 2008, em um setor da área foi realizado o arado do solo com o objetivo de renovar a pastagem, porém, em locais com declividades entre 10% a 20% e com os terraços rebaixados pela erosão dos camalhões não foram suficientes para evitar o surgimento de novos processos erosivos. Assim, no ano de 2016, é possível observar que os terraços encontram-se rebaixados por meio da erosão em lençol, e cortados por nove ravinas com inúmeras bifurcações de canais paralelos.

A voçoroca de número 32 próxima ao fundo do vale abrangia uma área de 487 m², com 153 m de perímetro, 60 m de comprimento, com largura máxima de 8 m no cenário de 2016. Infere-se que a erosão remontante da voçoroca em alguns anos alcançará os canais de ravinas a montante, formando assim um único processo erosivo, caso a área não seja recuperada.

Figura 43 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor nordeste do CDVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016

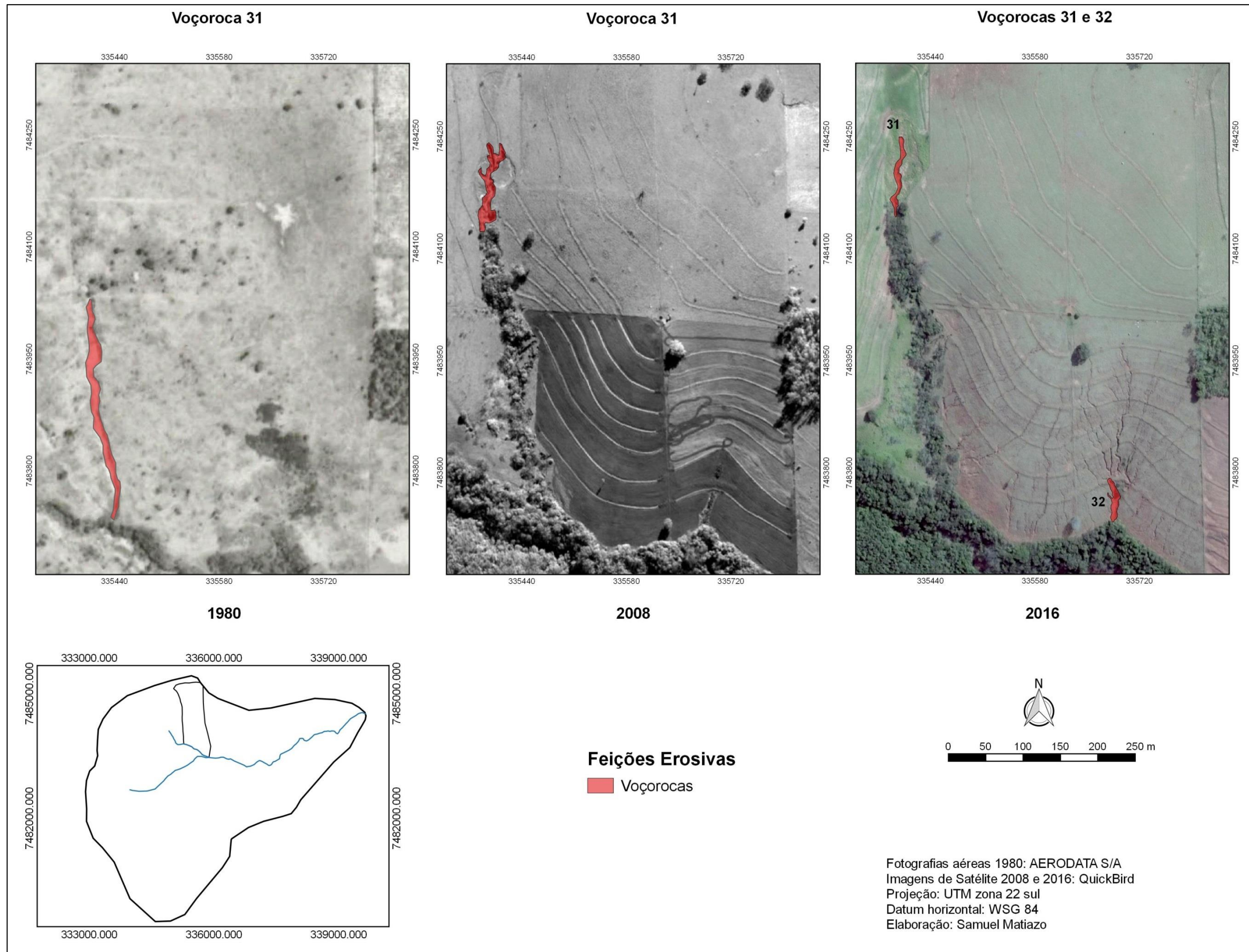


Tabela 23 - Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (CDVC – setor nordeste)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
1980				
31	3.131 m ²	622 m	290 m	21 m
2008				
31	1.304 m ²	1.420 m	124 m	24 m
2016				
31	653 m ²	239 m	108 m	8 m
32	487 m ²	153 m	60 m	8 m

5.5.3. Compartimento dos Interflúvios e das Vertentes Convexas (CIVC)

O Compartimento dos Interflúvios e das Vertentes Convexas representa 44,4% (10,9 Km²) da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara. Esse compartimento corresponde a um relevo com vertentes suave onduladas, com o predomínio de declives entre 0-10%. O CIVC divide-se em dois setores com características diferenciadas em relação à erosão. O setor norte é a única área do CIVC em que voçorocas foram identificadas, sendo que no setor sul foram identificadas apenas ravinas nos três cenários analisados (1980, 2008 e 2016).

5.5.3.1. Setor norte (CIVC)

Observa-se na Figura 44 que, no ano de 1980, haviam duas ravinas e uma voçoroca. A voçoroca de número 33 foi identificada como a maior incisão erosiva da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, estando ela em evolução anterior à década de 1980. No cenário de 1980, a voçoroca supracitada ocupava uma área de 3.663 m², com 733 m de perímetro, 314 m de comprimento e com largura máxima de 22 m. No ano de 2008, a voçoroca 33 abrangia uma área de 12.758 m², com 1.568 m de perímetro, 520 m de comprimento e com largura máxima de 35 m, o que representa um crescimento de 71,2% (9,095 m²). Em 2016, observou-se que na porção inferior da voçoroca ocorreu a retomada da vegetação, ou seja, houve um processo de estabilização. Em contrapartida, na porção superior, a erosão remontante expande-se rapidamente. Assim, no ano de 2016, a área ocupada pela

voçoroca 33 expandiu-se 7,8% (1.087 m²), ocupando uma área de 13.845 m², com 1.649 m de perímetro, 525 m de comprimento e com largura máxima de 40 m.

As voçorocas de números 34 e 35 localizavam-se paralelamente a voçoroca 33. No ano de 2008, a voçoroca 34 ocupava uma área de 1.369 m², com 265 m de perímetro, 116 m de comprimento e com largura máxima de 16 m e, a voçoroca 35 com 1.453 m², com 263 m de perímetro, 111 m de comprimento e com largura máxima de 20 m. Em 2016, o proprietário do sítio no qual as voçorocas estavam localizadas recuperou parte da vertente aterrando ambas, como pode ser observada na Figura 44. No cenário de 1980 identificou-se uma ravina que entre 1980 a 2008 evoluiu dando lugar à voçoroca de número 36. A voçoroca 36 no ano de 2008 ocupava uma área de 6.810 m², com 1.646 m de perímetro, 350 m de comprimento e com largura máxima de 23 m. Após o período de oito anos, a voçoroca expandiu-se 3,2% (230 m²), abrangendo em 2016 uma área de 7.040 m², com 1.534 m de perímetro, 382 m de comprimento e com largura máxima de 28 m (Tabela 24). Uma porção da cabeceira da voçoroca 36 também foi aterrada, com o objetivo de recuperar parte da área degradada.

Paralela à voçoroca 36, a voçoroca de número 37 em 2008 ocupava uma área de 1.769 m², com 298 m de perímetro, 140 m de comprimento e com largura máxima de 17 m. No cenário de 2016, a voçoroca abrangia uma área de 2.084 m², com 406 m de perímetro, 151 m de comprimento e com largura máxima de 20 m. Assim, no período de oito anos, a voçoroca expandiu-se 15,1% (315 m²).

A montante da voçoroca 37, a voçoroca de número 38 em 2008 ocupava uma área de 575 m², com 185 m de perímetro, 64 m de comprimento e com largura máxima de 15 m. Em 2016, a área na qual situava-se a voçoroca 38 foi recuperada, o que resultou na extinção da mesma (Figura 44).

Figura 44 - Evolução espaço-temporal das voçorocas localizadas no setor norte do CIVC, nos cenários de 1980, 2008 e 2016

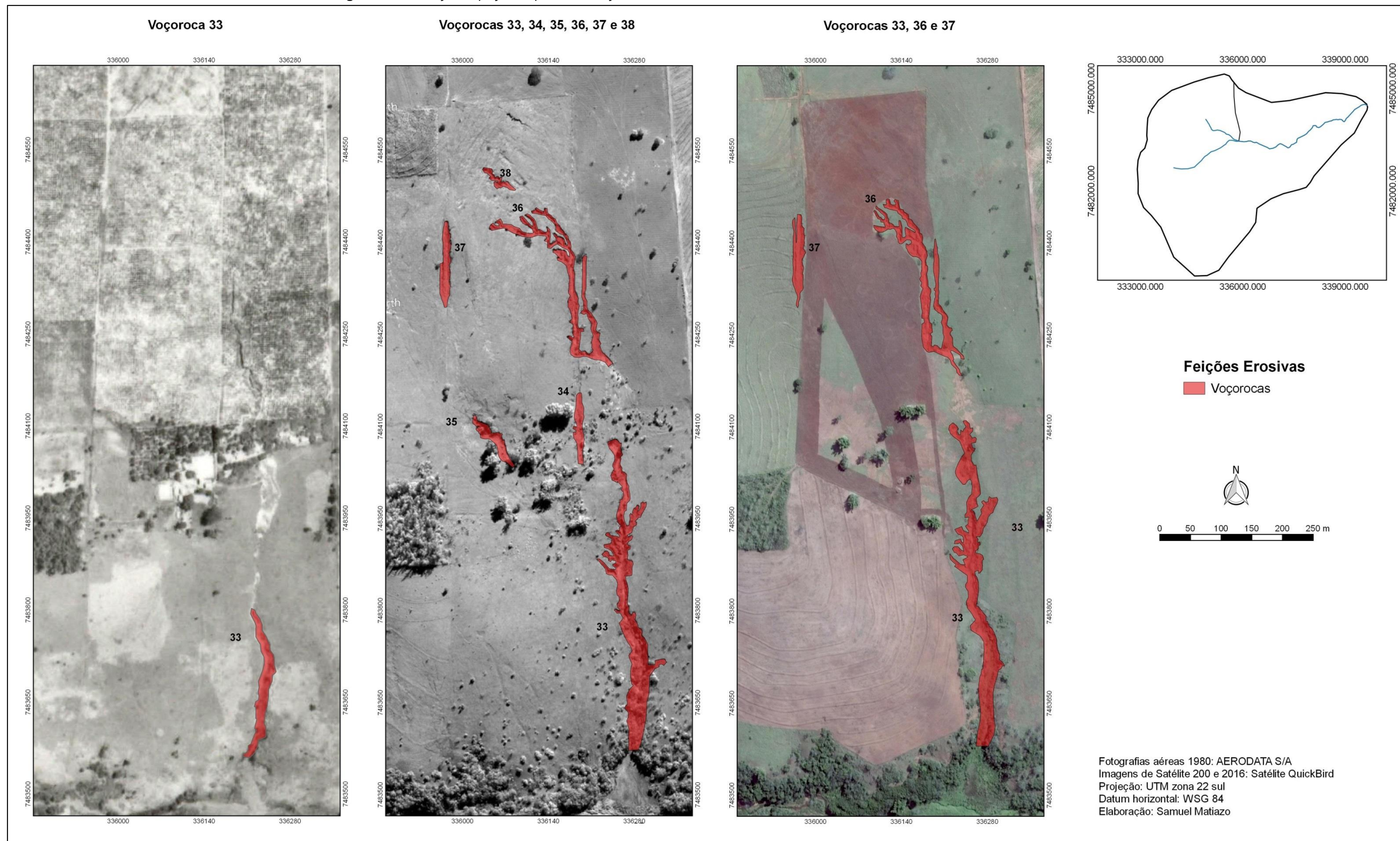


Tabela 24 - Dimensões espaço-temporal das voçorocas nos cenários de 1980, 2008 e 2016 (CIVC - setor norte)

Voçoroca	Área	Perímetro	Comprimento	Largura máxima
1980				
33	3.663 m ²	733 m	314 m	22 m
2008				
33	12.758 m ²	1.568 m	520 m	35 m
34	1.369 m ²	265 m	116 m	16 m
35	1.453 m ²	263 m	111 m	20 m
36	6.810 m ²	1.646 m	350 m	23 m
37	1.769 m ²	298 m	140 m	17 m
38	575 m ²	185 m	64 m	15 m
2016				
33	13.845 m ²	1.649 m	525 m	40 m
34	-	-	-	-
35	-	-	-	-
36	7.040 m ²	1.534 m	382 m	28 m
37	2.084 m ²	406 m	151 m	20 m
38	-	-	-	-

5.6. Proposta de recuperação das áreas afetadas pelas voçorocas

Os compartimentos geomorfológicos analisados apresentaram características distintas concernentes à ocorrência da erosão acelerada, sendo o Compartimento de Cabeceiras de Drenagem e das Vertentes Côncavas (CDVC) a área da bacia mais afetada por feições erosivas lineares.

Observou-se que no ano de 1980, na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, quatro feições erosivas do tipo voçoroca ocupavam uma área total de 10.021 m². No período de 28 anos entre o primeiro cenário analisado (1980) e o segundo cenário (2008), constatou-se que a área ocupada por uma das quatro voçorocas identificadas no ano de 1980 fora recuperada, porém, nesse período, observou-se também, o surgimento de outras vinte e seis voçorocas e o avanço de outras três voçorocas já instaladas no ano de 1980. Diante disso, com a rápida expansão dos processos de voçorocamentos na bacia, em 2008 a área ocupada por essas feições correspondiam a uma área total de 59.633 m², o que representa um crescimento de 83,1% em relação a 1980.

No período de oito anos, compreendido entre os cenários de 2008 a 2016, observou-se que as áreas ocupadas por sete voçorocas foram recuperadas,

porém, constatou-se o surgimento de outras oito voçorocas e o avanço de outras vinte e duas já instaladas no ano de 2008. Assim, no ano de 2016, as voçorocas ocupavam uma área total de 70.805 m², correspondendo a um crescimento de 15,7% em relação a 2008.

Diante do exposto, há a necessidade de apontar práticas conservacionistas que visam conter o avanço e o surgimento de novas voçorocas na bacia, conforme as práticas de conservação do solo apontadas por Lepsch (2010). As áreas da bacia que correspondem ao CIVC, com a predominância de Argissolos Vermelhos de textura abrupta em vertentes suave onduladas convexas com a predominância de declives que variam de 5% a 15% e identificadas pelo uso da terra por meio de pastagens com intenso pisoteio do gado e a cultura temporária da cana-de-açúcar, a suscetibilidade de desenvolvimento de voçorocas podem ser induzidos em função da não adoção de práticas conservacionistas, como as de caráter mecânico (plantio em curva de nível e terraços do tipo camalhão), além das práticas vegetativas, como o sistema de plantio direto na palha.

Observa-se na Figura 45 que, no setor sul do CIVC há o manejo correto do solo por meio dos terraços do tipo camalhão, porém, a não manutenção dos terraços podem gerar rebaixamento das estruturas, tanto pelo pisoteio do gado, como pela ação de desgaste frente às intempéries, possibilitando, assim, a geração de escoamento pluvial concentrado e conseqüentemente o surgimento de incisões erosivas.

As áreas da bacia que há a predominância de voçorocas em rápido avanço espaço-temporal localizam-se principalmente no CDVC e no setor norte do CIVC (Figura 46). Diante disso, a cobertura pedológica encontra-se em um rápido processo de degradação por meio de intensos processos erosivos, reflexo da ação antrópica por meio da pecuária e da não adoção de práticas de manejo do solo em vertentes que predominam declividades que variam de 10% a 30%, com a presença de uma cobertura pedológica marcada pela mudança textural abrupta dos Argissolos Vermelhos.

Figura 45 - Vista parcial da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara



Legenda: (A) superfície de cimeira pouco suscetível à erosão acelerada; (B) vertentes suave onduladas muito suscetível à erosão acelerada quando há ausência do manejo adequado. Observam-se os terraços que impossibilitam o surgimento de enxurradas. **Fotografia:** Samuel Matiazo (20/11/2016)

Figura 46 - Vista parcial da porção noroeste da bacia hidrográfica do Córrego Jatuquara



Legenda: (A) vista parcial do CDVC e CIVC com a presença de voçorocas; (B) superfícies de cimeira onde se localiza a malha urbana da cidade de Terra Rica-PR. **Fotografia:** Samuel Matiazo (20/11/2016)

O manejo adequado do solo nos setores mais problemáticos das cabeceiras de drenagem da bacia, com a inserção de práticas de caráter mecânico (terraços do tipo camalhão) e práticas de caráter vegetativo (formação e manejo adequado de pastagens e o reflorestamento) os riscos e os problemas erosivos já instalados são minimizados ou eliminados.

Para a recuperação das vertentes com voçorocas instaladas, o controle da drenagem superficial é de suma importância, e para tal, a implantação de terraços do tipo camalhão e de sistemas de barragens é o mais indicado, uma vez que objetiva desacelerar e armazenar o escoamento das águas pluviais. Em trabalho de campo em 2017, observou-se que essa prática já está presente em uma das propriedades afetadas pelo voçorocamento, onde se implantou o sistema de barragens com o intuito de recuperar a vertente degradada pela voçoroca 29, conforme pode ser observado na Figura 47.

Figura 47. Implantação do sistema de barragens na voçoroca 29



Fotografia: Samuel Matiazo (12/10/2017)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento das características físicas e antrópicas da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, constatou-se que as feições erosivas presentes na bacia são o reflexo do uso e manejo inadequado do solo nas últimas quatro décadas em um ambiente que apresenta fragilidade e condições naturais para o desenvolvimento de processos erosivos.

O uso e ocupação da terra na bacia foram marcados no início da colonização do município de Terra Rica, na década de 1950, pela retirada indiscriminada do revestimento florestal primitivo que recobria e protegia os solos das intempéries. Sua substituição pelo café e pelas pastagens plantadas gerou ao longo da segunda metade do século XX e início do século XXI, a depauperação dos solos por meio da erosão acelerada, originando conseqüentemente, problemáticas socioambientais.

A partir da década de 1980, na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara, foi constatada a intensificação dos processos erosivos associados a voçorocas. O predomínio de pastagens em áreas suscetíveis à erosão sem a adoção de práticas conservacionistas nesse período influenciou na rápida degradação da cobertura pedológica.

O sistema pedológico é representado pela associação de Latossolos Vermelhos de textura média e Argissolos Vermelhos de textura média e arenosa, de transição textural abrupta. Os resultados das análises granulométricas das amostras de solos confirmaram as texturas observadas em campo com o predomínio acima de 60% da fração areia em todos os horizontes.

Em relação às características do relevo, foram identificados na bacia três compartimentos geomorfológicos com atributos físicos que os diferenciam em unidades. O Compartimento da Superfície de Cimeira refere-se a superfícies com declividades baixas que variam de 0-5%, setor que compreende o espigão principal da bacia. O segundo compartimento identificado refere-se ao Compartimento das Cabeceiras de Drenagem e Vertentes Côncavas que apresenta um relevo ondulado com declives que variam de 10-30%. Por fim, o Compartimento dos Interflúvios e das Vertentes Convexas é caracterizado pelo domínio de vertentes suave onduladas com declividades que variam de 5-15%.

Por meio da análise de fotografias aéreas do ano de 1980 e imagens de satélite dos anos de 2008 e 2016, foi possível quantificar as feições erosivas do tipo

voçoroca nos três cenários distintos, permitindo acompanhar a gênese e evolução das voçorocas ao longo do tempo histórico. No cenário de 1980, as feições erosivas ocupavam uma área total de 10.021 m².

No período de tempo de 28 anos, compreendido entre o primeiro cenário analisado (1980) e o segundo (2008), foi possível observar o rápido surgimento de novas feições erosivas na bacia, onde em 2008 as voçorocas ocupavam uma área total de 59.633 m², o que representa um crescimento de 83,1% em relação ao ano de 1980. Já entre 2008 a 2016, observou-se a recuperação de algumas áreas com a presença de voçorocas, porém, identificaram-se também, o surgimento de novas feições e a expansão das voçorocas identificadas no cenário de 2008, sendo que em 2016 as voçorocas ocupavam uma área de 70.805 m², o que representa um crescimento de 15,7%.

As fotos aéreas e as imagens de satélite se mostraram como ferramentas importantes para o estudo de ocorrência de feições erosivas em diferentes cenários do tempo histórico. Ressalta-se, ainda, que a utilização desses produtos de Sensoriamento Remoto proporcionou conhecer em nível de detalhe as características físicas e antrópicas da bacia, e juntamente com os estudos em campo, possibilitou identificar áreas que são sujeitas a gênese de voçorocas bem como indicar propostas de recuperação das áreas com processos de voçorocamentos instalados, com o intuito de minimizar os impactos ao ambiente físico natural.

As áreas da bacia que correspondem ao Compartimento de Interflúvios e das Vertentes Convexas o uso da terra por meio das pastagens com intenso pisoteio do gado e pela cultura temporária da cana-de-açúcar podem induzir o desenvolvimento de voçorocas quando da não adoção de práticas de conservação do solo, como as de caráter mecânico (terraços do tipo camalhão e plantio em curva de nível), bem como as de caráter vegetativo (sistema de plantio direto na palha).

No que concerne às áreas com a predominância de voçorocas localizadas principalmente no Compartimento de Cabeceiras de Drenagem e Vertentes Côncavas o manejo adequado do solo por meio de práticas de caráter mecânico (terraços do tipo camalhão) e práticas de caráter vegetativos (formação e manejo adequado de pastagens e reflorestamento) nos setores mais problemáticos do compartimento os riscos e os problemas erosivos já instalados são minimizados ou eliminados. Para a recuperação das vertentes com a presença de voçorocas, o

controle da drenagem superficial é de suma importância. Para tal, a implantação de terraços do tipo camalhão e de sistemas de barragens são indicados com o objetivo de desacelerar e armazenar o escoamento das águas pluviais.

As áreas associadas às vertentes localizadas no perímetro urbano sul da cidade de Terra Rica apresentam inúmeras feições erosivas em desenvolvimento remontante bem como suscetibilidade a formação de novas feições erosivas. O surgimento de novos baixos próximos a essas áreas com a presença da expansão da erosão remontante, poderá, no futuro, caso não sejam tomadas medidas conservacionistas, colocar em risco casas e a infraestrutura do bairro (ruas, avenidas), podendo gerar danos materiais e prejuízos econômicos.

Portanto, o estudo da evolução espaço-temporal de voçorocas proporcionou compreender melhor os agentes que atuaram e que atuam na degradação dos solos da bacia. Para tanto, os apontamentos para a conservação e recuperação dos solos da bacia, permitiram indicar áreas nas quais devem ser preservadas por meio do reflorestamento, e quais podem ser utilizadas para as atividades agrícolas, respeitando as técnicas de manejo e conservação do solo, com o intuito de garantir a sustentabilidade da bacia hidrográfica do córrego Jatuquara.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, P. S.; RIBEIRO, A. J. Introdução à fotointerpretação. In: ANDERSON, P. S. **Fundamentos para a fotointerpretação**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982.
- BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes geológicas, geomorfológicas e geotécnicas dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá**, 2000. 226 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba: Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985.
- CALÍRIO, E. P. **Morro três irmãos: história, lenda e mistério**. Paranavaí: Editora Gráfica Paranavaí Ltda., 2001.
- CASTRO, S. S. **Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual**. Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 17, p. 38-60, 2005.
- CORREIA, L. et al. **Investigação do histórico das obras de contenção em feição erosiva, município de Terra Rica, Paraná, Brasil**. Revista Geográfica de América Central, Costa Rica, Edição Especial EGAL, p. 1-15, 2011.
- CORREIA, L. E. **Diagnósticos dos recursos hídricos superficiais das bacias do córrego Trajano e rio Guairaça, Terra Rica, Paraná**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Paraná, Maringá, 2012.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.
- CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. **Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 943-951, 1999.
- DANIEL, E. **Análise do papel da morfologia e do uso do solo na gênese e na distribuição das feições erosivas, na bacia do córrego Espreado, São Pedro (SP)**. 2012. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Folha: MI-484. Escala: 1:250.000, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FASOLO, P.J. **Erosão: inventário de áreas críticas no noroeste do Paraná**. (Boletim Técnico). Londrina: IAPAR, 1988. 20 p.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá**. 1992. 173 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. **O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional**. Revista Brasileira de Geociência, v. 24, n.3, p. 164-175, 1994.

FILHO, A. P.; QUARESMA, C. C. **Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 83-90, 2011.

FILHO, G. S. A.; COIADO, E. M. **Processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos na área urbana do município de Bauru-SP**. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia, 2001, p. 1-9.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLEISCHFRESSER, V. **Políticas públicas e construção social das microbacias hidrográficas**. 1999. 273 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

FLEURY, J. M. **Voçorocas: origem e métodos de contenção**. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 3, n. 2, p. 201-214, 1983.

GASPARETTO, N. V. L. **As formações superficiais do noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá**. 1999. 209 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

GASPARETTO, N. V. L.; NÓBREGA, M. T.; CARVALHO, A. **A reorganização da cobertura pedológica no noroeste do Paraná - BR e as suas relações com o arenito Caiuá**. In: VIII Encontro de Geógrafos da América Latina, 2001.

GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA, M. L. **Contexto geológico-geotécnico da Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense-PR**. I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense. Anais do GEOPAR. Maringá: UEM, 2003.

GOOGLE. **Google Earth Pro: mosaico de imagens do município de Terra-Rica-PR (2008 e 2016)**. Satélite *QuickBird*. Escala: 1:25.000.

GOUDIE, A. **The encyclopedic dictionary of physical geography**. Oxford: Basil Blackwell Ltda, 1985.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**.

Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 19, p. 93-114, 1996.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. cap. 1, p. 17-55.

GUERRA, A. J. T. **Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos**.

Revista do Departamento de Geografia – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 16, p. 32-37, 2005.

GUERRA, A. J. T. Degradação dos solos – conceitos e temas. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, cap. 1, p. 15-50.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **VIII Recenseamento geral do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas do Brasil**. Escala: 1:60.000. Brasil, 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IX Recenseamento Geral do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse preliminar do censo demográfico – 1991**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico de 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros**. Rio de Janeiro, 2016.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Sistema de informações hidrológicas – SIH**. Curitiba, 2016.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - SEMA/ITCG. **Cobertura Aerofotogramétrica do Estado do Paraná**. Escala: 1:25.000. Paraná, 1980.

JABUR, I. C; SANTOS, M. L. **Revisão estratigráfica da Formação Caiuá**. Boletim de Geografia, Maringá, v. 2, n. 2, p. 91-106, 1984.

KUROWSKI, G. **Aspectos Gerais da Erosão no Norte do Paraná**, 1962. Ed. Boletim Paranaense de Geografia. Conselho de Pesquisas da Universidade do Paraná, 1962. 85 p.

LEITE, F. P. **As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil: proposta de classificação**. 1994. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

LEMOS, C. F. et al. **Erosões concentradas existentes na bacia hidrográfica do alto curso do rio Pitanguí-PR**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 59-67, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOHMANN, M.; SANTOS, L. J. C. **A morfopedologia aplicada à compreensão dos processos erosivos na bacia hidrográfica do arroio Guassupi, São Pedro do Sul-RS**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 91-102, 2005.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: IBPT, 1968.

MARÇAL, M. S. **Suscetibilidade à erosão dos solos no alto curso da bacia rio Açailância-MA**. 2000. 208 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. **Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailância (MA)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2004.

MARCHIORO, E.; OLIVEIRA, J. C. **Evolução espaço-temporal de voçorocas às margens da rodovia ES-482 em Alegre (ES)**. Revista GEONORTE, Manaus, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p. 125-130, 2014.

MARCHIORO, E.; ANDRADE, E. E.; OLIVEIRA, J. C. **Evolução espaço-temporal de voçorocas no Espírito Santo: estudo de caso nos municípios de Afonso Cláudio e Alegre**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 191-204, 2016.

MATIAZO, S. **Implicações ambientais decorrentes de drenagem urbana no município de Santa Cruz de Monte Castelo-PR.** In: III Simpósio Nacional de Estudos Urbanos. Campo Mourão: UNESPAR, 2016.

MATIAZO, S.; FORTES, E. **Análise morfométrica de voçorocas por meio de imagem de satélite: o caso do município de Terra Rica-PR.** In: II Simpósio Mineiro de Geografia e IV Seminário de Pós-Graduação em Geografia: Juiz de Fora, 2016.

MENDONÇA, F. A. **A evolução sócio-econômica do norte novíssimo de Paranaíba-PR e os impactos ambientais- Desertificação?.** 1990. 323 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MENDONÇA, F. A. **A erosão urbana de Paranaíba/PR: estudo com base no emprego de fotografias aéreas.** Semina: Ciências Sociais e Humanas, Londrina, v. 14, n. 3, p. 151-154, 1993.

MONTANHER, O. C. **Ajustes do sistema fluvial à impermeabilização urbana: estudo de caso em Terra Rica, PR.** Boletim de Geografia, Maringá, v. 28, n. 2, p. 185-197, 2010.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion e conservation.** 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltda, 2005.

MURATORI, A. M. **Erosão no noroeste do Paraná: uma proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas.** 1983, 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

MURATORI, A. M. **Processos interativos entre o relevo e as areias quartzosas no sistema ambiental da região noroeste do Paraná – Brasil.** 1996. 214 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

MURATORI, A. M. **A degradação da paisagem na região noroeste do Estado do Paraná: condicionantes naturais e antrópicas.** In: VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul. Curitiba, 1997, p. 213-126.

NAKASHIMA, P. **Cartografia dos Sistemas Pedológicos do Noroeste do Paraná – distribuição e subsídios para o controle da erosão.** 1999. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

NAKASHIMA, P.; NÓBREGA, M. T. **Solos do Terceiro Planalto Paranaense-Brasil.** I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense. Anais do ENGEOPAR. Maringá: UEM, 2003.

NETTO, M. M.; SOBREIRA, F. G. **Os processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus condicionantes principais: observações preliminares.** Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 7, n. 2. p. 13-21, 2006.

NIMER, E. **Climatologia da região sul do Brasil: introdução à climatologia dinâmica – subsídios à geografia regional do Brasil.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 34, n. 4, p. 3-30, 1972.

NÓBREGA, M. T.; GASPARETTO, N. V. L.; NAKASHIMA, P. **Mapeamento de zonas de riscos à erosão de Cidade Gaúcha-PR.** I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense. Anais do ENGEOPAR. Maringá: UEM, 2003.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. **A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão.** Revista Espaço Plural, ano XII, n. 25, p. 63-72, 2011.

OLIVEIRA, M. A. T.; MEIS, M. R. M. **Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP).** Geociências, São Paulo, v. 4, p. 87-99, 1985.

OLIVEIRA, M. A. T.; NETTO, A. L. C.; AVELAR, A. S. **Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul.** Geociências, São Paulo, v. 13, p. 9-23, 1994.

OLIVEIRA, M. A. T. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. cap. 2, p. 17-99.

PASSARELLA, S.; LADEIRA, F. S. B.; LIESENBERG, V. **Morfometria da bacia do rio São João, MG: uma proposta de entendimento dos limites e da dinâmica das superfícies erosivas.** Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 241-252, 2016.

PEREIRA, L. S. et al. **Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade.** Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 299-316, 2016.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. **Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 3. p. 423-429, 2003.

PINHEIRO, M. R.; REDIVO, I. A. C. **Técnicas aerofotogramétricas digitais aplicadas ao estudo da erosão.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 49-63, 2016.

PONTES, A. B. **O controle da erosão em voçorocas em áreas urbanas da região noroeste do Estado do Paraná.** Ministério do Interior – Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro, 1975.

POPP, H. J.; BIGARELLA, J. J. **Formações Cenozoicas do noroeste do Paraná**. Academia Brasileira de Ciências, v. 47, p. 465-471, 1975.

RODERJAN, C. V. et al. **As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil**. Revista Ciência e Ambiente, v. 24, n. 1, p. 75-42, 2002.

SALGADO, C. M. et al. **Análise espaço-temporal da erosão linear no médio-baixa vale do ribeirão do Secretário (Paty do Alferes/RJ)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 75-85, 2008.

SALOMÃO, F. X. T.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. **Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 39-56, 2012.

SANTORO, J.; FULFARO, V. J. **Estudos geotécnicos em boçoroca na cidade de São Pedro, São Paulo (SP)**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 17, p. 55-62, 1996.

SANTORO, J. Erosão continental. In: TOMINAGA, L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 4, p. 55-70.

SANTOS et al. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 03-12, 2006.

SERRA, E.; NÓBREGA, M. T.; ANDRADE, J. A. **Paisagem, estudo de caso no espaço agrário do noroeste do Paraná**. Revista da ANPEGE, v. 8, n. 10, 85-99, 2012.

SILVA NETO, J. C. A. **Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Boboquena – MS**. RA'EGA: o espaço geográfico em análise, Curitiba, v. 32, p. 119-142, 2014.

SILVA, G. B. S. et al. **Procedimentos para correção geométrica de imagens de satélite**. Boletim Técnico. Campinas: EMBRAPA, 2012.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; NETO, A. F. S. **Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru**. Revista Brasileira de Geociências, v. 10, n. 3, p. 177-185, 1980.

SOUZA, M. L. **Proposta de um sistema de classificação de feições erosivas voltados à estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas aplicação no município de Umuarama (PR)**. 2001. 284 f, Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

STIPP, M. E. F. **A ocupação do solo e a problemática da arenização e do voçorocamento no município de Paranaíba/PR**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfológicos do Brasil**. SRTM. Folha: 22S54. Escala: 1:250.0000, 2011.

VESTENA, L. R.; KOBAYAMA, M. **Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Caeté, no município de Alfredo Wagner/SC**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 23-33, 2014.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R. **Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem Vale dos Vinhedos (Brasil)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 521-533, 2017.

ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. **O uso da terra e alteração do relevo na alta bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP): um estudo a partir de princípios da antropogeomorfologia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 3-17, 2015.