



**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE  
PAULISTA**

**RELIEF MORPHOMETRY AND LINEAR EROSIVE DYNAMICS IN DEGRADED RURAL AREA IN WEST  
PAULISTA**

Felipe Augusto Scudeller Zanatta<sup>1</sup>, Cenira Maria Lupinacci<sup>2</sup>, Marcos Norberto Boin<sup>3</sup>

**RESUMO**

Na região sudeste do Brasil, um dos principais fatores de degradação dos solos está relacionado a erosão linear, consequência do intenso desmatamento. Considerando essa problemática, o objetivo desse artigo foi avaliar a correlação espacial da morfometria do relevo com as feições erosivas lineares, a fim de melhor compreender a dinâmica de tais processos em uma bacia localizada no Município de Marabá Paulista (SP). Para tanto, foram mapeadas em escala 1:10.000, as feições erosivas em sulco, ravina e voçoroca, nos cenários de 1963, 1997 e 2015, e a morfometria do relevo. Dos mapeamentos, quantificou-se a área afetada por sulcos, ravinas e voçorocas de todos cenários e a área ocupada por cada classe de morfometria do relevo. Tais dados foram, posteriormente, avaliados através do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $\rho$ ) e da densidade normalizada. Como resultado, na Bacia estudada, que desde 1963 apresenta mais de 90% da cobertura superficial alterada para fins agropastoris, observou-se o processo erosivo evoluindo de forma progressiva e sistêmica ao longo dos cenários. A expansão da área atingida por voçorocamento gerou o avanço das ravinas para setores cuja morfometria, teoricamente, não proporciona condições para a ocorrência de tais processos. O mesmo fenômeno registra-se no que se refere aos sulcos erosivos, os quais, por ação erosiva regressiva, posicionam-se nos topos, com baixa potencialidade morfométrica. Constatou-se ainda que, apesar do uso de diversas técnicas de contenção dos processos erosivos, essas não contribuíram para a resolução da problemática.

**PALAVRAS-CHAVE:** degradação dos solos; desmatamento; feições erosivas lineares.

**ABSTRACT**

In the southeastern region of Brazil, one of the main soil degradation factors is related to linear erosion, as a consequence of intense deforestation. Considering this problem, this article aimed to evaluate the spatial correlation of relief morphometry with linear erosive features, in order to better understand the dynamics of such processes in a watershed located in Marabá Paulista town (SP). To do so, the erosive features in rill erosion, gully and badlands, in the scenarios of 1963, 1997 and 2015, and the relief morphometry were mapped on a scale 1: 10,000. Through mappings, the area affected by grooves, ravines and gullies of all scenarios and the area occupied by each relief morphometry class were quantified. These data were later evaluated through the Pearson Correlation Coefficient ( $\rho$ ) and the normalized density. As a result, in the studied watershed, which since 1963 has presented more than 90% of the surface cover altered for agropastoral purposes, the erosive process was observed to progressively and systemically evolve throughout the scenarios. The expansion of the area reached by badlands generated the advance of the gully's to sectors whose morphometry, theoretically, does not provide conditions for the occurrence of such processes. The same phenomenon occurs with the rill erosion, which, due to regressive erosive action, are positioned at the tops, with low morphometric potentiality. It was also observed that, despite the use of several erosion control techniques, these did not contribute to the resolution of the problem.

**KEY-WORDS:** soil degradation; deforestation; linear erosive features.

Recebido em: 16/11/2016

Aceito em: 12/07/2017

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro/SP, e-mail: felipeasz@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro/SP, e-mail: cenira@rc.unesp.br

<sup>3</sup> Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados/MS, e-mail: Boinmar@hotmail.com

## MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA

### 1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos, recurso natural finito e essencial à soberania alimentar, representa um problema crescente e de proporção mundial. Em relatório apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2015), 33% dos solos do mundo encontram-se em estado de degradação moderada à alta devido à erosão, salinização, acidificação, compactação e poluição química dos solos.

Dentre os processos que promovem a degradação do solo, em países de clima tropical úmido, aqueles mais frequentes estão relacionados à erosão hídrica, provocada pelas chuvas. Esse fenômeno tem sua eficiência relacionada às características do relevo, à erodibilidade do solo e à cobertura superficial, que oferecem maior ou menor resistência à erosividade das chuvas.

No levantamento realizado por Vieira e Lombardi Neto (1995) sobre o potencial de erosão das chuvas no estado de São Paulo, na região do Oeste Paulista, foi constatado valores elevados de erosividade durante o período das águas (outubro a março), reduzindo para valores intermediários no período das secas (abril a setembro). Boin (2000), sobre o setor que abrange o município de Marabá Paulista (SP), também identificou que a erosividade nessa área é significativa, sobretudo no verão, quando os valores variam entre  $1.500$  a  $3.500 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

Em um ambiente em que a ação erosiva da chuva é significativa em solos predominantemente arenosos (CARVALHO et al., 1997), derivados de rochas Areníticas do Grupo Bauru (FERNANDES, 1998), a proteção e conservação adequada do solo se faz imprescindível à agricultura. No entanto, com histórico de devastação das matas nativas promovida pela ação de grileiros e latifundiários (FERRARI-LEITE, 1993), que se inicia no final do Séc. XIX e mantém o ritmo de desmatamento até a segunda metade do Séc. XX, o cenário da região do Oeste Paulista encontra-se fortemente marcado pela intensa atividade erosiva, com pequenos e dispersos fragmentos de mata nativa.

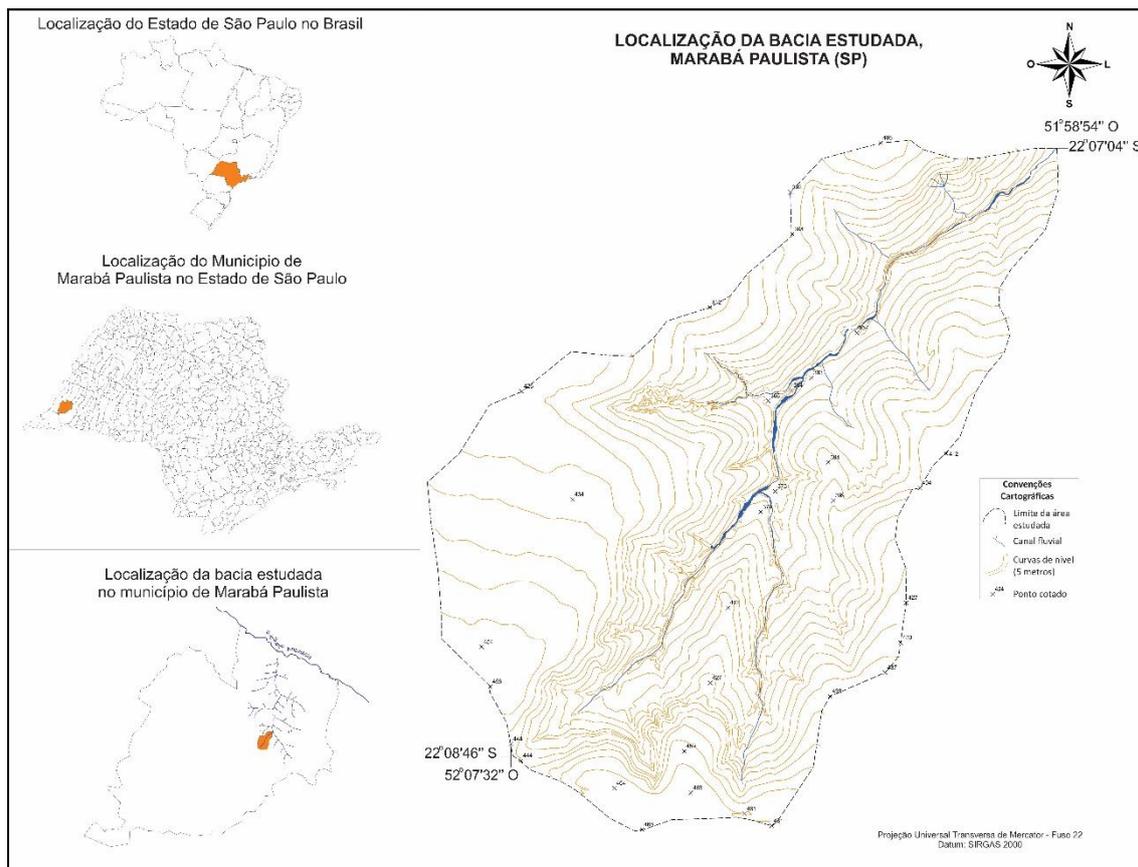
No intuito de contribuir com o entendimento da dinâmica erosiva no Oeste Paulista, o presente artigo tem como objetivo avaliar a correlação espacial da morfometria do relevo com as feições erosivas lineares a fim de melhor compreender a atuação de tais processos.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CARTAS DE MORFOMETRIA

Como área de estudo, foi selecionada uma subbacia do ribeirão Areia Dourada com  $644,45 \text{ ha}$  de área, localizada em área rural do Município de Marabá Paulista (SP) (Figura 01).

ZANATTA, F.A.S., LUPINACCI, C.M e BOIN, M.N.  
**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**



**Figura 01** - Localização da área estudada

Nessa área, mapeou-se as feições erosivas em três cenários distintos, com fotografias aéreas em 1963 e 1997 e com imagem orbital, em 2013, com reambulações em campo no ano de 2015. A escolha de trabalhar com os três cenários deve-se as modificações que ocorrem ao longo dos períodos avaliados, tanto em quantidade e grau de desenvolvimento das formas erosivas, como da complexidade e intensidade da interferência antrópica.

O cenário de 1963 representa o registro mais antigo que se tenha possibilidade de trabalho na área, no qual não foi identificada a presença de voçorocamento. Já no mapeamento de 1997, verificou-se a presença do processo de voçorocamento em estágio bem avançado, percorrendo todo canal principal da bacia, com centenas de bifurcações em ravinas e quatro braços com voçorocamento. Enquanto no cenário de 2015 registrou-se diversas intervenções antrópicas, com finalidade de conter a ação erosiva. Ainda foram mapeadas, nesses cenários,

feições antropogênicas como terraços agrícolas, as bacias de contenção, açudes, feições obliteradas e coberturas superficiais, como vegetação nativa e reflorestamento. Tais coberturas foram enfatizadas visando avaliar sua evolução em termos de área ao longo do tempo, assim como se essas tiveram efeito de proteção sobre os terrenos erodidos.

Quanto aos dados físicos da área, optou-se pelo trabalho com as cartas de morfometria, uma vez que a caracterização geométrica do relevo permite indicar os terrenos com maior ou menor potencial a ação de distintos mecanismos morfodinâmicos. Realizou-se então o mapeamento da distância horizontal (dissecação horizontal) e da distância vertical (dissecação vertical) entre cursos fluviais e os divisores de águas das subbacias, e da declividade. Por fim, aplicando a metodologia proposta por Mendes (1993), sintetizou esses atributos

## MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA

quantitativos de forma qualitativa, em classes de energia do relevo que variam de muito fraca a muito forte.

Os dados morfométricos normalmente registram menor interferência da subjetividade do que os mapeamentos geomorfológicos tradicionais. Tais dados, de acordo com Minár e Evans (2008), através das medições do relevo, permitem visualizar as unidades homogêneas de formas elementares, nas quais predomina a homogeneidade genética e as descontinuidades. Para os autores, esse mapeamento "[...] possibilita constatar diferentes setores de homogeneidade e de fronteiras de contrastes das unidades, e as relações entre interpretações ideais e a real morfogênese e morfodinâmica<sup>4</sup>." (MINÁR, EVANS, 2008 p.257).

### 2. 2 MATERIAIS E TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS

As técnicas cartográficas e os materiais utilizados nesse trabalho são descritos a seguir, em três seções, visando facilitar o entendimento dos procedimentos adotados.

#### 2.2.1 MORFOMETRIA DO RELEVO

O trabalho cartográfico iniciou-se com a digitalização das cartas topográficas desenvolvidas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), em escala 1: 10.000, extraído das Folhas SF-22-Y-B-II-1-SO-A, SF-22-Y-B-I-2-SE-B, SF-22-Y-B-II-1-NO-E, SF-22-Y-B-I-2-NE-F, os dados de hidrografia e topografia, como curvas de nível com equidistância de 5m e os pontos cotados, com seus respectivos valores altimétricos. Através desses dados foram traçados os divisores de águas e individualizadas as subbacias da área estudada no programa ArcGis 9.2.

A princípio, para elaboração das cartas de dissecação horizontal e vertical, foram utilizadas as informações das curvas de nível, da elevação dessas curvas de nível e dos pontos

cotados para gerar uma rede de triângulos irregulares (TIN). Posteriormente, esse TIN foi convertido para o formato raster.

Para o mapeamento de dissecação horizontal, utilizando da ferramenta apresentada por Ferreira et al. (2014), foram necessários os seguintes dados: drenagem (shapefile); parâmetro de segmentação (dois, devido à escala trabalhada, 1:10.000); parâmetro de agrupamento de drenagem (60, devido à baixa sinuosidade da drenagem); modelo digital de elevação; e classes de dissecação horizontal (10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280, 2560). Tais classes foram definidas de acordo com o proposto por Spiridonov (1981) para a escala trabalhada:  $\geq 320\text{m}$ ;  $160 \text{† } 320\text{m}$ ;  $80 \text{† } 160$ ;  $40 \text{† } 80\text{m}$ ;  $20 \text{† } 40\text{m}$ ;  $10 \text{† } 20\text{m}$ ;  $\leq 10\text{m}$ .

Para a obtenção dos dados de dissecação vertical, com uso da ferramenta apresentada por Ferreira et al. (2015), adicionou-se as informações de: drenagem (shapefile); contorno das subbacias (shapefile); curvas de nível (shapefile); equidistância das curvas de nível (5m); campo "elevação" (coluna em que se encontra as informações de altitude); modelo digital de elevação; e escala de trabalho (1: 10.000). Os dados foram classificados de acordo com o indicado por Spiridonov (1981) para escala utilizada:  $\leq 10\text{m}$ ;  $10 \text{† } 20\text{m}$ ;  $20 \text{† } 30\text{m}$ ;  $30 \text{† } 40\text{m}$ ;  $40 \text{† } 50\text{m}$  e  $\geq 50\text{m}$ .

A carta de declividade foi desenvolvida com base nas curvas de nível, seguindo orientações de Lepsch et al. (1983) e De Biasi (1970) no que se refere ao estabelecimento das classes. Através dos dados altimétricos, foi calculado o declive dos terrenos a partir de modelos digital de elevação, utilizando-se as seguintes classes:  $\leq 2\%$ ;  $2 \text{† } 5\%$ ;  $5 \text{† } 10\%$ ;  $10 \text{† } 12\%$ ;  $12 \text{† } 15\%$ ;  $15 \text{† } 30\%$ ;  $30 \text{† } 47\%$ , e;  $\geq 47$ . Optou-se por trabalhar com os dados em TIN por duas questões: 1) observou-se na elaboração automática do modelo digital de elevação que alguns triângulos se encontravam na mesma curva de nível, em setores de grandes convexidades e nas concavidades. Nesses trechos foi necessário realizar ajuste manual desses triângulos, traçando-os entre as curvas de nível e

<sup>4</sup> [...] it enables expression of different ratios of the homogeneity and boundary contrasts of units, and of relations between ideal interpretations and real morphogenesis and morphodynamics]

**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

adicionando os respectivos valores de declividade na tabela de atributos; e 2) por esse formato possibilitar melhor resolução do produto final na escala 1:10.000.

Síntese dos dados quantitativos de morfometria, a carta de energia do relevo foi elaborada a partir de procedimentos apresentados por Zanatta et al. (2016). As classes foram definidas de acordo com especificidades da área estudada, de modo que os setores a

jusante das rupturas topográficas compreendessem as classes com maior energia do relevo, enquanto os topos amplos e as vertentes retilíneas ou convexizadas refletissem setores de menor energia. Assim, entendeu-se que a combinação das classes de morfometria do relevo, apontadas na tabela 1, representam de forma mais adequada a energia da área analisada.

**Tabela 01** - Classes de energia do relevo

Energia do relevo	Declividade (%)	Combinação	Dissecação Horizontal (m)	Combinação	Dissecação Vertical (m)
Muito forte	15 F ≥47	OU	≤ 10	-	-
Forte	12 F 15	OU	10 F 20	OU	≥ 50
Medianamente forte	10 F 12	OU	20 F 40	OU	40 F 50
Média	5 F 10 2 F 5	OU -	40 F 160 -	- E	- 20 F 40
Fraca	2 F 5	OU	160 F 320	OU	10 F 20
Muito fraca	≤ 2	OU	≥ 320	OU	≤ 10

Após esses processamentos e devidas verificações, calculou-se a área em hectare (ha) de cada classe de morfometria do relevo, transformadas para porcentagem.

### **2.2.2 FORMAS EROSIVAS E INTERVENÇÃO ANTRÓPICA**

As definições que embasaram a identificação e classificação das formas erosivas em sulcos, ravinas e voçorocas, partiram de uma compilação de literaturas, da agronomia (LAL, 1990; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; DRUGOWIICH, et al., 2015; LEPSCH et al., 1983), da geografia (GUERRA, 1966; GUERRA e GUERRA, 2010; FOOKES e GRIFFITHS, 2007; OLIVEIRA, 2012 e SALOMÃO, 2012), da geologia (KARMANN, 2008) e órgãos públicos (DAEE, 1989 e CATI, 1997). Dentre as definições apresentadas por essas bibliografias, optou-se por trabalhar com as seguintes:

a) Sulcos: pequenas incisões verticais no solo, passíveis de correção no trato simples da terra;

b) Ravinas: incisões com formação de taludes laterais. Nesse estágio, são diversas as formas com que a erosão se processa, sendo, portanto, necessárias técnicas variadas e complexas para sua contenção e estabilização;

c) Voçorocas: quando do afloramento do lençol, em que os processos atuantes são ainda mais intensos e complexos que na ravina, derivados do escoamento tanto de superfície, como de subsuperfície.

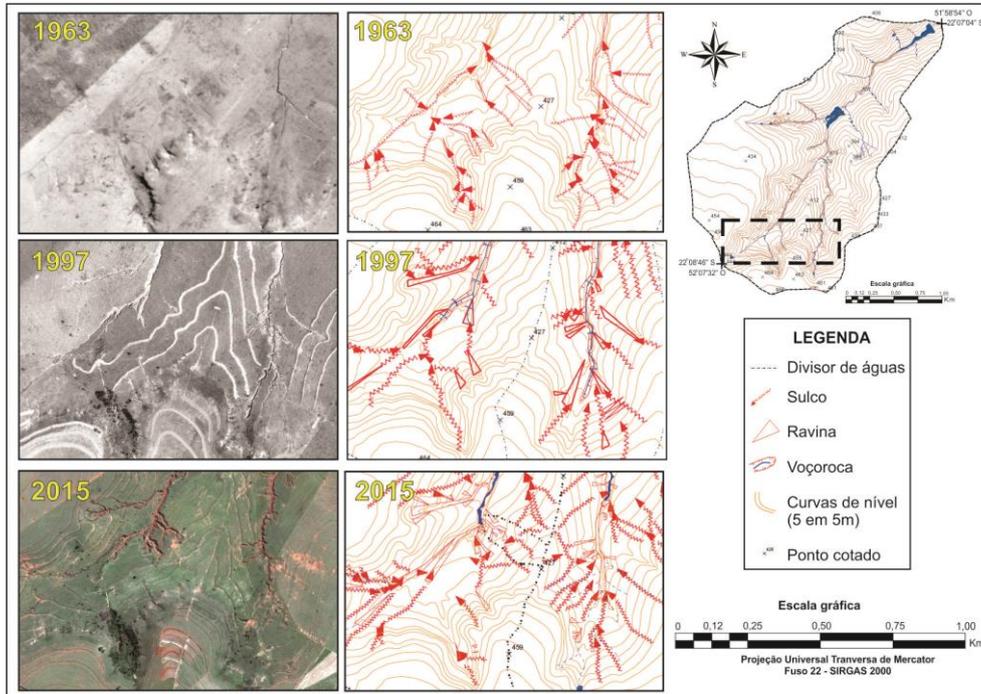
Definido o critério para diferenciar as formas erosivas lineares, buscou-se identificar e mapear os fenômenos erosivos utilizando as fotografias 5503, 5504, 5505, 6273, 6274, 6275, 6276 do ano de 1963, do aerolevanteamento realizado pelo Estado de São Paulo, em escala aproximada de 1: 25.000 e das fotografias de 07/5884, 07/5885 e 07/8856 do ano de 1997, do aerolevanteamento de Presidente Venceslau e áreas correlatas, em escala de voo aproximada de 1: 35.000. Também foram mapeadas as formas erosivas no ano de 2015, com base em imagens

ZANATTA,F.A.S., LUPINACCI,C.M e BOIN, M.N.  
**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

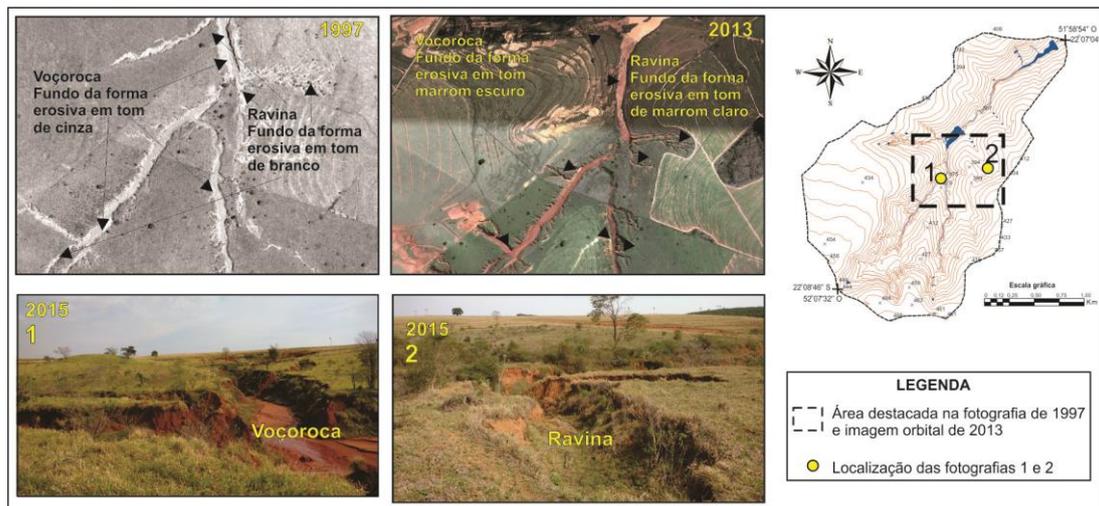
orbitais do satélite Quickbird de 2013, de resolução de 0,6m, com reambulação dos dados em campo no ano de 2015.

Os sulcos foram identificados e mapeados pelos caminhos preferenciais para escoamento das águas pluviais, demarcados pela

exposição da superfície do solo, com baixa incisão vertical. Para diferenciar as ravinas das voçorocas, buscou-se identificar, além do aprofundamento, expondo os horizontes do solo em paredes laterais, a presença ou não de água no talvegue da forma erosiva (Figura 2; Figura 3).



**Figura 02** - Identificação das feições erosivas em 1963, 1997 e 2015. Fotografias aéreas (1963, 1997) e imagem orbital (2015) e os respectivos mapeamentos das feições erosivas lineares.



**Figura 03** - Diferenciação de ravinas e voçorocas em fotografia aérea de 1997, imagem orbital de 2013 e fotografia de campo de 2015

Na figura 03, na fotografia aérea de 1997, observou-se a presença de água pela tonalidade de cinza no fundo da forma erosiva,

indicativos de umidade do solo, enquanto nas ravinas, a tonalidade de branco indica solo arenoso exposto. Situação que se verifica

**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

também na imagem orbital de 2015, em que a tonalidade de marrom escuro indica a presença de água, enquanto de tons claros, da exposição da superfície do solo. Na área estudada foi verificado que a água escoava em forma de lençol por toda base plana da forma erosiva.

Ressalta-se que embora haja discordância entre as escalas dos aerolevantamentos e a utilizada nesse estudo, realizou-se a fotointerpretação com o máximo de zoom e detalhe possível, considerando-se, portanto, que as feições levantadas são passíveis de serem cartografadas e trabalhadas na escala da base cartográfica (Figura 02; Figura 03).

Ainda, a partir da fotointerpretação e da análise da imagem orbital, foram identificadas intervenções antrópicas consideradas relevantes para o estudo dos fenômenos de erosão linear. Assim, buscou-se mapear o contorno dos terraços agrícolas, a presença de bacias de contenção nas curvas de nível e ao longo de feições erosivas em sulco, a obliteração por soterramento de ravinas e o barramento dos canais fluviais. As áreas de mata nativa foram identificadas pela rugosidade promovida pela heterogeneidade das espécies e pela tonalidade escura, que se constitui na resposta espectral do adensamento das copas das árvores, enquanto o reflorestamento foi avaliado pelo surgimento, ao longo dos cenários analisados, de coberturas com características espectrais similares às descritas para as nativas; o mapeamento de tais coberturas e feições foram reambuladas em campo.

Foi calculada a área ocupada pelos polígonos que continham as ravinas, as voçorocas, o reflorestamento, a mata nativa e os terraços agrícolas. No caso dos sulcos, foi adicionado um buffer de 5cm no entorno da forma para obter a área. Para os açudes, bacias de contenção e feições obliteradas avaliou-se a quantidade desses elementos identificados.

### **2.2.3 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (P) E DENSIDADE NORMALIZADA**

Com todos os mapeamentos realizados, para o cruzamento dos dados de morfometria

com as formas erosivas foi utilizada a ferramenta intersect do programa ArcGis 9.2. O feature class gerado foi processado na ferramenta dissolve, de modo que na tabela de atributos ficaram apenas as colunas que continham cada classe em que a forma erosiva encontrava-se. Posteriormente, na mesma tabela de atributos foi criada uma nova coluna, na qual se calculou a área das formas erosivas dentro de cada classe de morfometria do relevo. Esse procedimento foi repetido 36 vezes para contemplar as três formas erosivas lineares dos três cenários mapeados em relação aos quatro mapeamentos de morfometria do relevo.

Com os dados quantitativos levantados e tabulados, calculou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson (p) e a Densidade Normalizada.

No primeiro, correlacionou-se a área dos sulcos, ravinas e voçorocas, dentro de cada classe de declividade, dissecação vertical, dissecação horizontal e energia do relevo, repetindo o procedimento nos três cenários trabalhados. Se o fenômeno aumentou seu valor de acordo com o aumento da intensidade do dado de morfometria, esse coeficiente é positivo, do contrário, negativo. Assim, através do coeficiente obtido, negativo ou positivo, foi avaliado se há uma relação direta ou inversa entre a intensidade do dado de morfometria e a concentração dos fenômenos erosivos; desse mesmo modo, foi possível avaliar o padrão de distribuição das feições por classe morfométrica ao longo dos três cenários estudados.

Posteriormente, calculou-se a Densidade Normalizada, em que se dividiu a área de cada forma erosiva levantada em determinada classe de morfometria pelo total da área dessa mesma classe em toda Bacia. Com os resultados, separou-se o de maior valor, atribuindo o valor 1 para esse. Posteriormente dividindo os demais valores pelo maior valor, obteve-se a densidade normalizada de cada forma erosiva em cada classe de morfometria do relevo; repetiu-se o procedimento para os três cenários mapeados. Diferentemente do resultado obtido através do Coeficiente de Correlação de Pearson (p), esse dado registra a maior ou menor concentração do

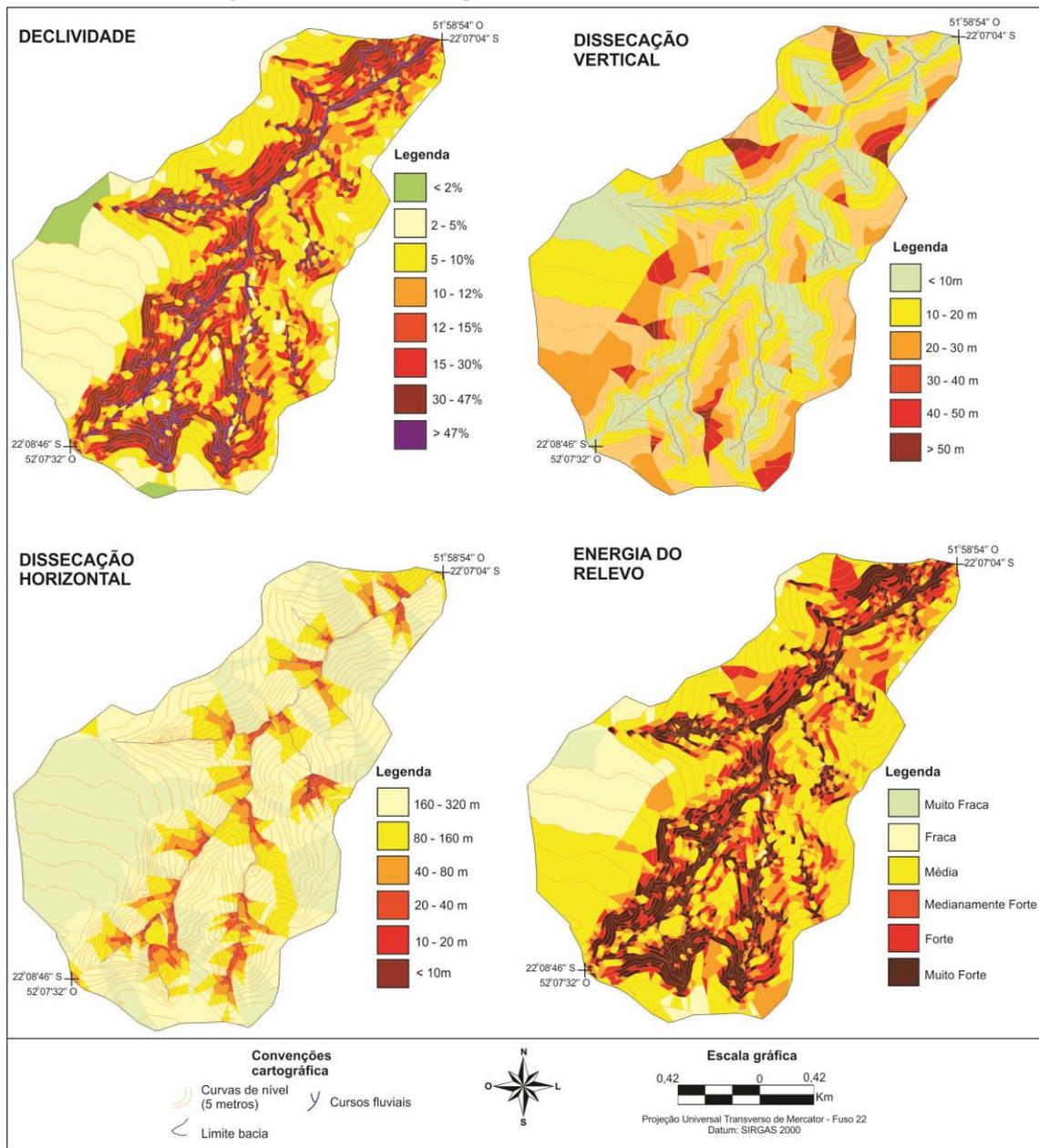
ZANATTA, F.A.S., LUPINACCI, C.M e BOIN, M.N.  
**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

fenômeno erosivo em cada classe de morfometria do relevo.

**3. RESULTADOS**

Na Bacia estudada, os setores de maior elevação encontram-se nos topos amplos e planos que perfazem o limite da alta bacia, se estendendo para o setor W, com dissecação vertical de 40 a  $\geq 50$ m. Esses terrenos apresentam declives que variam de 2 a 5%. A transição para a alta vertente é demarcada pela ruptura abrupta de declive, em condições de contato litológico

com outra fácies mais argilosa, e, portanto, mais resistente, da referida Formação. A jusante, o declive se acentua, atingindo inclinações que variam de 10 a 30% nas vertentes da porção W, predominantemente retilíneas, e em toda cabeceira, onde os declives são de 30 a 47%. Na porção E da bacia, predominam os declives de 5 a 15% em vertentes convexizadas (Figura 04).



**Figura 04** - Mapas de declividade, dissecação vertical, dissecação horizontal e energia do relevo.

## MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA

Em termos de energia do relevo, os terrenos com média energia abarcam 40,18% (Figura 05) da área, localizados nas convexidades e nos topos secundários. A energia medianamente forte (14,53%) a muito forte (18,7%) encontram-se a jusante das rupturas topográficas na alta e

média vertente, e nas baixas vertentes quando da proximidade dos cursos fluviais. As energias de muito fraca a fraca, restringem-se ao topo amplo na cabeceira e do setor W da área estudada.

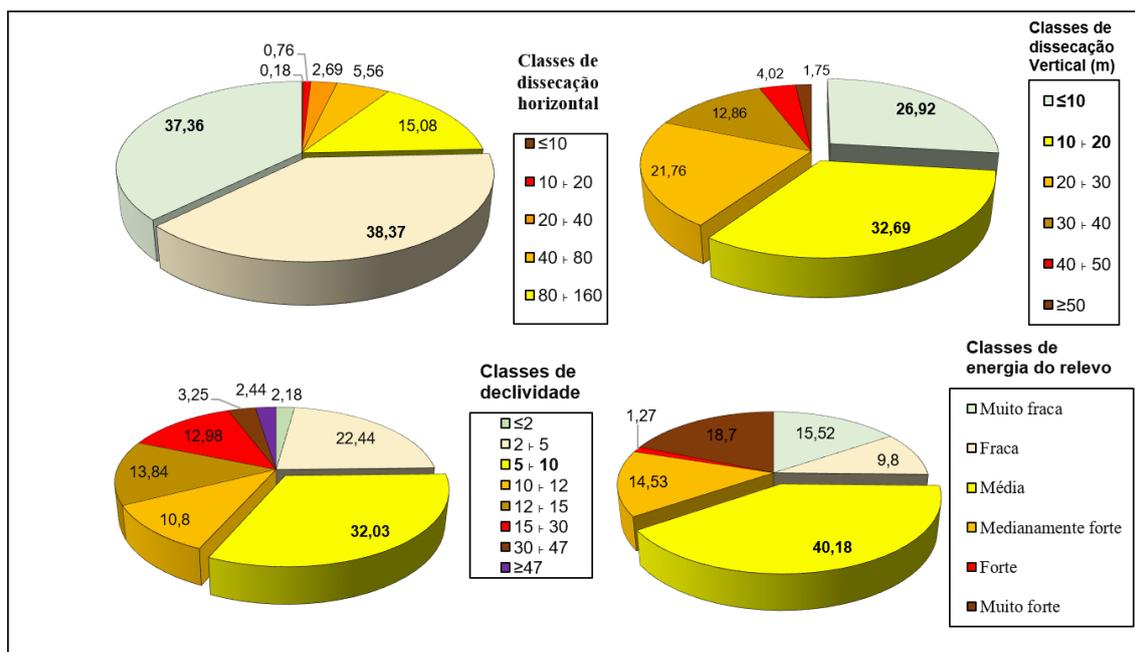


Figura 05 - Área em % ocupada pelas diversas classes de morfometria do relevo.

A cobertura superficial desses terrenos demonstra a intensa ocupação da área. Em 1963, 92,74% dos terrenos encontravam-se com alguma atividade agropastoril, restando apenas 7,26% de mata nativa, situação que se agrava nos

anos que se sucedem, com aumento da área ocupada para 97,81% em 1997 e 2015, com apenas 0,06% e 0,31% dessas, respectivamente, compostas por reflorestamento (Tabela 2).

Tabela 02 - Mata nativa, reflorestamento e técnicas de contenção dos processos erosivos nos cenários de 1963, 1997 e 2015

Cenário	Cobertura superficial		Técnicas de contenção dos processos erosivos			
	Mata nativa (%)	Reflorestamento (%)	Terraços agrícolas (%)	Feições obliteradas (quantidade)	Açudes (quantidade)	Bacias de contenção (quantidade)
1963	7,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	2,19	0,06	23,35	0,00	0,00	7,00
2015	2,19	0,31	65,04	12,00	20,00	81,00

Nesse contexto, ocorre um aumento expressivo e progressivo das formas erosivas nos anos analisados (Tabela 03). Em relação ao

cenário de 1963, o número de ravinas aumentou em 2,3x em 1997, posteriormente em mais 1,79x no ano de 2015, mesmo com o aumento dos

**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

terraços agrícolas, barramentos com formação açudes no canal principal com voçorocamento, obliterações de feições em ravinas e bacias de contenção nos terraços e em sulcos. Esses dados

indicam o quanto o processo de voçorocamento dinamiza a atividade erosiva, visto que a presença da voçoroca coincide com o aumento no número de sulcos e ravinas.

**Tabela 03** - Número e área (ha) ocupada pelas formas erosivas nos cenários de 1963, 1997 e 2015

Cenário	Sulco		Ravina		Voçoroca	
	Ha	Quantidade	Ha	Quantidade	Ha	Quantidade
1963	<b>1,35</b>	87,00	1,03	40,00	0,00	0,00
1997	0,19	91,00	8,39	92,00	<b>7,37</b>	<b>1,00</b>
2015	1,02	<b>148,00</b>	<b>17,10</b>	<b>165,00</b>	6,86	<b>1,00</b>

O aumento da quantidade de sulcos em 1997 em consonância à diminuição de sua área, em relação a 1963, decorre de que muitos dos sulcos identificados no primeiro período evoluíram para ravinas e voçorocas no seguinte e o avanço desses processos reduziu o comprimento e, conseqüentemente, a área dos sulcos. Já de 1997 para 2015, há um aumento do número de sulcos concomitante ao aumento da área. Esse fato se deve ao desenvolvimento de tais feições a partir dos topos, percorrendo toda a vertente. Já a redução da área da voçoroca de 1997 para 2015 se deve ao alagamento de parte da voçoroca pelos dois barramentos identificados

em 2015: um localizado no médio curso e outro na foz do canal voçorocado.

Com relação a distribuição espacial das formas erosivas nas classes de morfometria, ao longo dos cenários, ocorreu com correlação positiva das ravinas e voçorocas com a declividade e energia do relevo (Tabela 04), o que indica que nos terrenos mais declivosos, que determinam energias mais fortes, o processo erosivo tem maior potencial para atingir estágios mais avançados.

**Tabela 04** - Coeficiente de Correlação de Pearson (p). Morfometria do relevo e formas erosivas nos cenários de 1963, 2007 e 2015

Morfometria do relevo	Sulco			Ravina			Voçoroca	
	1963	1997	2015	1963	1997	2015	1997	2015
Dissecação Horizontal	0,74	0,71	0,89	0,44	0,44	0,59	0,53	0,49
Dissecação Vertical	<b>- 0,91</b>	<b>- 0,96</b>	<b>- 0,96</b>	<b>- 0,74</b>	<b>- 0,73</b>	<b>- 0,83</b>	<b>- 0,65</b>	<b>- 0,67</b>
Declividade	0,29	<b>- 0,21</b>	<b>- 0,30</b>	0,88	0,90	0,75	0,88	0,86
Energia do relevo	0,87	0,50	<b>- 0,14</b>	0,74	0,75	0,80	0,67	0,67

Os sulcos apresentam forte correlação (Tabela 04) com a dissecação horizontal, pois, quanto maior o comprimento da rampa, maior a energia do escoamento superficial, resultando na formação de sulcos nas baixas vertentes. Tal fato também é representado pela correlação negativa

dos sulcos com a dissecação vertical, o que indica sua concentração na proximidade dos cursos fluviais. Essa correlação negativa da dissecação vertical também ocorre com todas as demais formas erosivas, sendo, portanto, as baixas vertentes mais suscetíveis a ação morfodinâmica,

## MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA

mesmo na ausência do processo de voçorocamento, como evidenciado pelos dados de 1963.

A densidade normalizada indica a significativa influência da declividade no desenvolvimento das feições erosivas em estágio mais avançado do processo. A voçoroca se

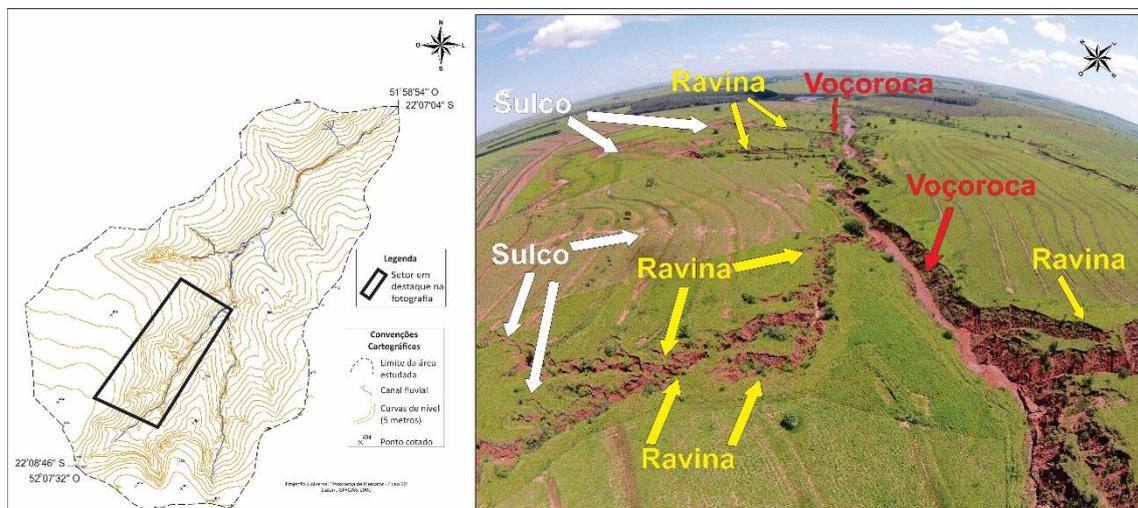
desenvolveu principalmente nos declives de 30 a  $\geq 47\%$ , expandindo para os declives de 12 a 30%. As ravinas também seguem o mesmo comportamento, desenvolvendo-se de forma mais significativa em declives a partir de 10% (Tabela 05).

**Tabela 05** - Densidade normalizada de formas erosivas, nos cenários de 1963, 1997 e 2015, por classe de declividade

Declividade	Sulco			Ravina			Voçoroca	
	1963	1997	2015	1963	1997	2015	1997	2015
$\leq 2\%$	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 a 5 %	0,13	0,00	0,45	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
5 a 10%	0,18	0,470	0,96	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00
10 a 12%	0,20	0,4	0,96	0,06	0,05	0,10	0,00	0,00
12 a 15%	0,37	0,47	<b>1,00</b>	0,02	0,06	0,14	0,00	0,01
15 a 30%	0,45	0,50	0,8	0,07	0,21	0,35	0,09	0,08
30 a 47%	0,91	0,00	0,00	0,33	0,78	0,71	0,57	0,33
$\geq 47\%$	<b>1,00</b>	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Ao longo dos cenários há uma tendência das voçorocas se desenvolverem, principalmente nos terrenos com maior declive, enquanto as ravinas progridem para os declives medianos. Ao mesmo tempo, registrou-se uma migração dos sulcos das classes de declive elevados para os de menor declive. Desta forma, entende-se que a evolução do processo erosivo, ao atingir estágios

mais avançados em voçorocas nos terrenos de maior declive, dinamizam os de médio declive com ravinas e, ambos processos, atingem os terrenos de baixo declive com sulcos. Ou seja, a compreensão da dinâmica de um processo encontra-se relacionado ao entendimento da dinâmica dos demais processos (Figura 06).



**Figura 07** - Formas erosivas em sulco, ravinas e voçorocas na área estudada. Fotografia de veículo aéreo não tripulado (VANT)

**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

Quanto a dissecação horizontal (Tabela 06), a localização dos sulcos se modifica de forma expressiva, sendo que, de 1963 para 1997, essa feição atinge terrenos menos dissecados. Nota-se que os sulcos, progressivamente, somem das

classes de maior dissecação (menores valores) e passam a se concentrar nas menos dissecadas, indicando uma possível erosão remontante. Por sua vez, as ravinas passam progressivamente a se concentrar nas classes mais dissecadas.

**Tabela 06** - Densidade normalizada de formas erosivas, nos cenários de 1963, 1997 e 2015, por classe de dissecação horizontal

Dissecação Horizontal	Sulco			Ravina			Voçoroca	
	1963	1997	2015	1963	1997	2015	1997	2015
≤10	<b>1,00</b>	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
10 + 20	0,94	0,00	0,00	0,35	0,97	0,58	0,37	0,64
20 + 40	0,67	0,30	0,00	0,93	0,40	0,30	0,23	0,26
40 + 80	0,45	0,14	0,00	0,33	0,21	0,21	0,12	0,17
80 + 160	0,35	0,16	0,76	0,04	0,12	0,12	0,00	0,07
160 + 320	0,25	0,16	0,84	0,07	0,07	0,10	0,04	0,06
≥320	0,09	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00

Não houve representatividade de fenômenos erosivos nos terrenos de maior altitude relativa (Tabela 07) da bacia, devido, potencialmente as características do relevo, esculpido sobre fácies mais resistentes da Formação Adamantina. Tais fenômenos afetam terrenos com no máximo 40m de altitude em relação ao curso fluvial. Os sulcos, ao longo dos

cenários avaliados, diminuem sua atividade erosiva nos terrenos mais elevados, concentrando-se na classe ≤10m. O mesmo não ocorre com as formas mais avançadas do processo. As ravinas se expandem para os terrenos de 20 + 30m, enquanto a voçoroca passa a atingir classes de 10 + 20m, o que indica o avanço dessas erosões a montante.

**Tabela 07** - Densidade normalizada de formas erosivas, nos cenários de 1963, 1997 e 2015, por classe de dissecação vertical

Dissecação Vertical	Sulco			Ravina			Voçoroca	
	1963	1997	2015	1963	1997	2015	1997	2015
≤10	<b>1,00</b>							
10 + 20	0,49	0,58	0,82	0,11	0,12	0,30	0,00	0,03
20 + 30	0,29	0,53	0,88	0,08	0,01	0,11	0,00	0,00
30 + 40	0,09	0,29	0,59	0,11	0,00	0,03	0,00	0,00
40 + 50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
≥50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Síntese dos dados quantitativos, na energia do relevo (Tabela 08) observou-se que a dinâmica erosiva ainda não atingiu as classes de energia muito fraca. Contudo, há um avanço de

sulcos para a classe fraca, de 1997 para 2015; já as ravinas evoluem para a classe média, de 1963 para 1997.

ZANATTA,F.A.S., LUPINACCI,C.M e BOIN, M.N.  
**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE  
 PAULISTA**

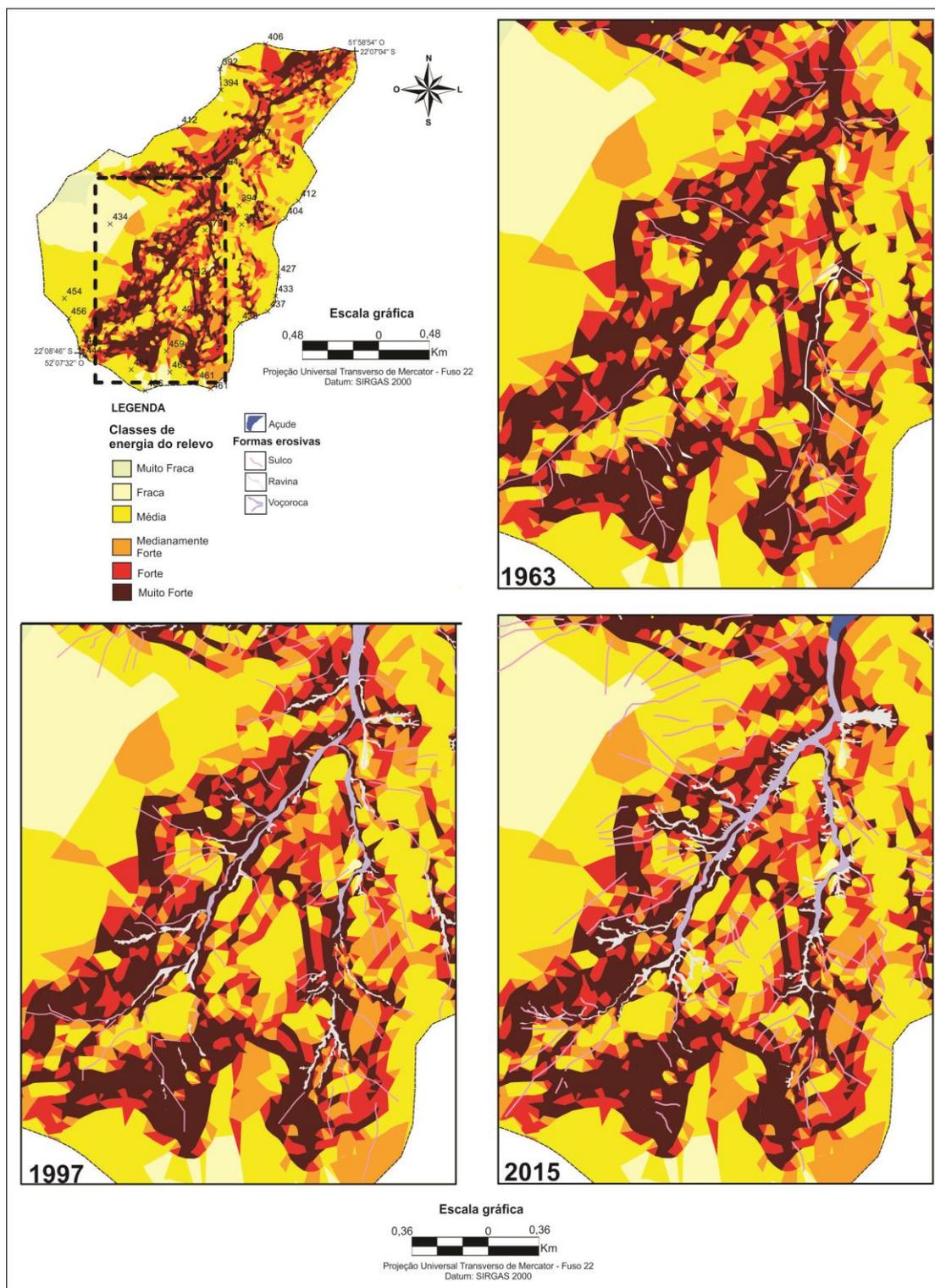
**Tabela 08** - Densidade normalizada de formas erosivas, nos cenários de 1963, 1997 e 2015, por classe de energia do relevo.

Energia do Relevo	Sulco			Ravina			Voçoroca	
	1963	1997	2015	1963	1997	2015	1997	2015
Muito fraca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fraca	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	0,03	0,07	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Medianamente forte	0,04	0,08	0,06	0,17	0,05	0,03	0,00	0,00
Forte	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,35	0,65
Muito forte	0,14	0,09	0,05	0,72	0,46	0,26	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

As constatações sobre a dinâmica erosiva nas classes de declividade, dissecação horizontal e vertical, em que os sulcos avançam para os setores menos suscetíveis, à medida que as ravinas atingem os de média intensidade e as voçorocas para os mais declivosos e dissecados horizontalmente, são averiguados nos dados de energia do relevo. Na tabela 08, verificou-se que

os sulcos diminuem sua concentração nos setores de energia muito forte, medianamente forte e média e, em 2015, atingem os terrenos com energia fraca. As ravinas passam a atingir os terrenos de energia média e concentram maior atividade nos terrenos com energia forte, enquanto as voçorocas avançam sentido os terrenos de energia forte (Figura 07).

ZANATTA, F.A.S., LUPINACCI, C.M. e BOIN, M.N.  
**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**



**Figura 07** - Energia do relevo e formas erosivas nos cenários de 1963, 1997 e 2015.

Na figura 07, na alta bacia da área estudada, no cenário de 1963 verificou-se, nas concavidades, a presença de uma extensa ravina a E, a qual conecta-se com diversos sulcos que se

desenvolvem em seu entorno, tanto a montante, como nas vertentes em suas margens, em terrenos de energia forte a muito forte. No cenário de 1997, as concavidades tanto a W como E foram atingidas por processos de

## MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA

voçorocamento, com ramificações em pequenos braços de voçorocas, em terrenos de energia muito forte. Nesse cenário, as ravinas atingem terrenos de energia medianamente forte e média, e sulcos se desenvolvem em vertentes de energia média. Em 2015, mesmo com a barragem no canal principal com voçorocamento e aumento significativo dos terraços agrícolas, das bacias de contenção e de obliteração de ravinas (tabela 02), verificou-se o concomitante aumento das formas erosivas, com surgimento de ravinas em diversas pequenas ramificações nas margens das voçorocas e outras de grande extensão que atingem a alta vertente, enquanto os sulcos se expandem para terrenos mais a montante, de energia fraca, nos topos.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise ficou constatado que as distintas técnicas conservacionistas não atenuaram de forma efetiva o avanço dos processos erosivos, que progridem rapidamente nos terrenos de maior potencialidade morfométrica, dinamizando os de menor potencialidade. Estas situações, em que os processos ao longo do tempo passam a ocorrer nas classes de menor declive e dissecação, foram verificadas em todos os parâmetros morfométricos ao longo dos três cenários estudados.

Observou-se que o aumento das técnicas conservacionistas ocorreu de forma concomitante ao avanço de todas as formas erosivas, registrados tanto pelo aumento do número de feições ao longo do tempo, como pelo avanço dos processos sobre as classes de morfometria, o que evidencia que essas coberturas e as técnicas adotadas não se adequam a uma proposta de conservar ou preservar os recursos naturais existentes na área. A preocupação em buscar alternativas conservacionistas que permitam a manutenção do uso intensivo dos terrenos representa um desperdício recorrente de capitais, força de trabalho e recursos naturais.

Para os agricultores e órgãos públicos competentes, esse estudo sugere a necessidade de uma mudança na forma de uso da terra e das técnicas aplicadas para conter os processos existentes, considerando a importância da conservação do solo, já muito desgastados, por coberturas que ofertam maior proteção a ação

erosiva das chuvas. As condições ambientais de cobertura superficial, apresentando um cenário com 97,81% da área intensamente alterada pela ação antrópica, proporciona o desenvolvimento das formas erosivas sobre a dinâmica identificada. Há de se considerar a maior efetivação de técnicas preservacionistas, haja vista que a dinâmica erosiva ainda não atingiu os terrenos de energia muito fraca, nem se desenvolveu nas de energia fraca; no entanto, os dados demonstram que existe uma tendência dessas áreas serem afetadas no futuro se as condições existentes se mantiverem.

#### REFERÊNCIAS

BERTONI, J.; LOM BARDI-NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990.

BOIN, M. N. Chuvas e erosão no Oeste Paulista. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, Rio Claro, 2000.

CARVALHO, W. A. (coord.) Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Santo Anastácio-SP. Presidente Prudente, São Paulo: FCT-UNESP, 1997, v.1 e v.2.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL (CATI). Portaria CATI Nº06 de 24 de junho de 1997. Dispõe sobre o estabelecimento de critérios técnicos para efeito de fiscalização do uso do solo agrícola no estado de São Paulo.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989.

DRUGOWICH, M. I.; GRASSI, A. M.; MARIA, I. C.; TCATCHENCO, J.; BORTOLETTI, J. O. Tutorial para aplicação da Resolução SAA – 11 (15/4/15). Campinas: CATI, 2015.

FERNANDES, L.A. Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). 1998. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. doi:10.11606/T.44.1998.tde-16012014-142739. Acesso em: 2017-06-02.

**MORFOMETRIA DO RELEVO E DINÂMICA EROSIVA LINEAR EM ÁREA RURAL DEGRADADA NO OESTE PAULISTA**

- FERRARI LEITE, J. A ocupação do Pontal do Paranapanema. São Paulo: HUCITEC, 1998.
- FERREIRA, M. V.; TINÓS, T. M.; PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.15, n.4, p. 585-600, 2014.
- FERREIRA, M. V.; TINOS, T. M. PINTON, L. de G. ; CUNHA, C. M. L. . A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: proposta de técnica automática. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro. v.67, n.6, p.1231-1245 2015.
- FOOKES, P. G.; LEE, E. M.; GRIFFITHS, J. S. Engineering geomorphology: theory and practice. Dunbeath: Whittles Publishing, 2007.
- GUERRA, A. T. Dicionário Geológico-Geomorfológico. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1966.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário Geológico-Geomorfológico. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- KARMAN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD; T. R.; TAIOLI, F. (Org.). Decifrando a terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.
- LAL, R. Soil erosion in the tropics: principles and management. New York: McGraw-Hill, 1990.
- LEPSCH, I. F.; BELINAZZI Jr., D.; ESPINDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1983.
- MENDES, I. A. A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na Bacia do Córrego Lafon - Araçatuba - SP. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências Humanas e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- MINÁR, J.; EVANS, I. S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. Geomorphology. n.95, p. 236-259, 2008.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
- PENTEADO, M. M. Fundamentos de Geomorfologia. 3ª edição, 2ª triagem. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
- SPIRIDONOV, A.I. Principípios de la Metodologia de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografia, 1981.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI-NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. Bragantina, Campinas, n.54, v.2, 1995, p.405-412.
- ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.; FERREIRA, M. V. Carta de energia do relevo: critérios e procedimento. In: XI SINAGEO, 2015, Maringá (PR). Anais... Maringá: UEM, 2015, Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/6/6-4-676.html>>. Acesso em: 24 de outubro de 2016.