

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ALEXANDRE PERUSSI

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE VOÇOROCAS LOCALIZADAS
EM SÃO PEDRO (SP): ANÁLISE TEMPORAL E PROPOSTA DE
RECUPERAÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.

Rio Claro - SP

2019

ALEXANDRE PERUSSI

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE VOÇOROCAS LOCALIZADAS EM SÃO PEDRO (SP): ANÁLISE TEMPORAL E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof^ª. Dr^ª. Vânia Silvia Rosolen (orientadora)
Prof^ª. Msc. Monique de Paula Neves (co-orientadora)
Prof. Msc. Edvaldo Guedes Júnior

Rio Claro, 01 de julho de 2019.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

P471d

Perussi, Alexandre

Diagnóstico ambiental de voçorocas localizadas em São Pedro (SP): análise temporal e proposta de recuperação / Alexandre Perussi. -- Rio Claro, 2019
73 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências
Exatas, Rio Claro

Orientadora: Vânia Silvia Rosolen

Coorientadora: Monique de Paula Neves

1. Diagnóstico ambiental. 2. Voçorocas. 3. Recuperação ambiental. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e
Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família (meu pai João, minha mãe Sueli, meu irmão Arthur e minha irmã Mônica, além da Tina e Flor), por todo o suporte e companheirismo ao longo do meu tempo de faculdade. Mesmo longe de casa foi possível sentir todo o carinho que vocês me deram, e dizer que sem vocês eu não estaria onde estou hoje. Agradeço de coração.

Agradeço à minha namorada Nicole, por me ajudar na realização deste trabalho, por me aguentar nos dias de estresse, pelo companheirismo, pelo carinho e por me acompanhar ao longo de todo período de minha graduação.

Agradeço à família GrazaDeus, por me acolherem por tanto tempo na república (inclusive no início de minha faculdade onde eu não tinha onde morar) e por estarem comigo até hoje. As risadas, brincadeiras, conselhos, festas e trotes ajudaram a me tornar um ser humano melhor e eu jamais esquecerei dos momentos que passamos juntos.

Agradeço em especial aos meus parceiros de República Sununga (Bençã, Aquaman e Vitão, além do Apolo), por todos esses anos que passamos juntos na faculdade, onde não tenho palavras para descrever a amizade que desenvolvemos. Agradecer também aos moradores que ficaram nos últimos 6 meses comigo (Robinho e Zubat), onde me proporcionaram felicidade e alegria mesmo eu demonstrando cansaço com o final da faculdade.

Agradeço à minha co-orientadora Monique, por ter sido extremamente atenciosa, paciente, preocupada, detalhista e por transmitir os conhecimentos necessários para a realização deste trabalho. Suas características me completaram e fizeram com que eu melhorasse os meus pontos fracos. Muito obrigado por todo o apoio e aprendizado.

Por fim, agradeço à UNESP – Rio Claro (SP) por toda a infraestrutura proporcionada para a realização das minhas atividades e trabalhos; e a todos os professores que contribuíram para a minha formação.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo realizar o diagnóstico ambiental de voçorocas localizadas no município de São Pedro (SP) a partir dos aspectos do meio físico e antrópico, e propor técnicas de recuperação. Para o desenvolvimento do trabalho foram realizadas cinco etapas principais: levantamento bibliográfico; delimitação das voçorocas por imagens de satélite de 2007 a 2019 em um intervalo de 3 anos; elaboração dos mapas do meio físico e uso do solo; levantamento de dados de precipitação anual; e proposição de medidas de recuperação. Por meio dos resultados obtidos foi possível compreender os fatores que condicionaram a evolução das erosões ao longo dos últimos anos, e propor soluções técnicas para conter o avanço dos processos, com enfoque na reabilitação do local.

Palavras-chave: Diagnóstico ambiental. Voçorocas. Recuperação ambiental.

ABSTRACT

The objective of the present work was to carry out the environmental diagnosis of gullies located in the city of São Pedro (SP) from the physical and anthropic aspects, and to propose recovery techniques. For the development of the work were carried out five main steps: bibliographical survey; delimitation of the gullies by satellite images from 2007 to 2019 in an interval of 3 years; mapping of the physical environment and land use; survey of annual precipitation data; and proposing recovery measures. Through the results obtained it was possible to understand the factors that conditioned the evolution of erosions over the last years, and to propose technical solutions to contain the progress of the processes, focusing on the rehabilitation of the site.

Keywords: Environmental diagnosis. Gullies. Environmental recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do efeito <i>splash</i>	15
Figura 2 - Sulcos localizados na Bacia do Córrego do Espraiado, em São Pedro (SP).	16
Figura 3 - Ravina localizada na Bacia do Córrego do Espraiado, em São Pedro (SP).....	17
Figura 4 - Voçoroca localizada na Bacia do Córrego do Espraiado, em São Pedro (SP).	18
Figura 5 - Esquema representando os efeitos da degradação ambiental, em forma de cadeia, causada por processo erosivo.	23
Figura 6 - Medidas de recuperação adotadas para a feição erosiva localizada em Franca (SP).	27
Figura 7 - Voçoroca após retaludamento e drenagem superficial.	27
Figura 8 - Localização das feições erosivas no município de São Pedro (SP).....	29
Figura 9 - Mapa de Documentação da área de estudo.	37
Figura 10 - Feição erosiva 1.	38
Figura 11 - Feição erosiva 2.	38
Figura 12 - Mapa de <i>Landforms</i> da área de estudo.....	40
Figura 13 - Percentual de área das unidades de <i>landforms</i> na área de estudo.	40
Figura 14 - Mapa de Substrato Rochoso da área de estudo.	41
Figura 15 - Mapa de Materiais Inconsolidados da área de estudo.....	42
Figura 16 - Percentual de área das classes de materiais inconsolidados na área de estudo.....	42
Figura 17 - Modelo Digital de Elevação (MDE) para a área de estudo.	43
Figura 18 - Carta de Declividade da área de estudo.	44
Figura 19 - Perfil topográfico das voçorocas.....	44
Figura 20 - Distribuição das porcentagens de área das classes de declividade na área de estudo.....	45
Figura 21 - Mapa de Fluxo Acumulado da área de estudo.	46
Figura 22 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2007.....	47
Figura 23 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2010.....	47
Figura 24 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2013.....	48
Figura 25 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2016.....	48
Figura 26 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2018.....	49
Figura 27 - Comparação das médias de precipitação ao longo dos anos de estudo.	50
Figura 28 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2007.	51
Figura 29 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2007.....	51

Figura 30 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2010.	52
Figura 31 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2010.	52
Figura 32 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2013.	53
Figura 33 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2013.	53
Figura 34 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2016.	54
Figura 35 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2016.	54
Figura 36 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2019.	55
Figura 37 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2019.	55
Figura 38 - Depósito de resíduos de construção civil e poda na cabeceira da Feição 1.	61
Figura 39 - Paredes instáveis da Feição 2.	61
Figura 40 - Técnicas de recuperação adotadas para a área degradada.	63
Figura 41 - Modelo de plantio em linhas alternadas.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos desenvolvidos em São Pedro (SP).....	21
Tabela 2 - Medidas para recuperação, mitigação e prevenção de áreas degradadas por processos erosivos (Continua).....	25
Tabela 3 - Materiais utilizados ao longo do desenvolvimento do trabalho.	32
Tabela 4 - Representação das diferentes classes de declividade (Continua).....	34
Tabela 5 - Representação de cada classe de uso do solo.	35
Tabela 6 - Características das unidades de <i>landforms</i> presentes na área de estudo.	39
Tabela 7 - Porcentagem de área das classes de declividade na área de estudo.	45
Tabela 8 - Porcentagem de cada classe na área de estudo ao longo dos anos.	56
Tabela 9 - Evolução das feições erosivas ao longo dos anos.	57
Tabela 10 - Representação das áreas (km ²) das duas feições erosivas ao longo dos anos.	58
Tabela 11 - Representação dos dados da média de precipitação (mm) ao longo dos anos.	59
Tabela 12 - Representação das áreas (%) de vegetação ao longo dos anos.....	60
Tabela 13 - Representação das áreas (%) de área edificada ao longo dos anos.	60
Tabela 14 - Medidas de recuperação utilizadas na área de estudo.	62
Tabela 15 - Exemplos de espécies para serem plantadas em áreas degradadas.	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AS – Sedimentos Aluvionares

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano

E – Espessura

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IG – Instituto Geológico

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MDE – Modelo Digital de Elevação

M – Mitigação

PIB – Produto Interno Bruto

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

P – Prevenção

R – Recuperação

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

TFP – Solos Transportados associados à Formação Pirambóia

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UTM – Universal Transversa de Mercator

WGS – World Geodetic System

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Erosão: Aspectos Conceituais	14
3.1.1 Erosão Hídrica	14
3.2 Erosão Laminar.....	15
3.3 Erosão Linear.....	15
3.3.1 Sulcos	16
3.3.2 Ravinas	16
3.3.3 Voçorocas	17
3.4 Fatores Condicionantes.....	18
3.4.1 Cobertura vegetal.....	19
3.4.2 Solo.....	19
3.4.3 Topografia	20
3.4.4 Clima	21
3.4.5 Ações antrópicas.....	21
3.5 Trabalhos desenvolvidos em São Pedro (SP)	21
3.6 Degradação Ambiental	22
3.7 Recuperação Ambiental.....	23
3.7.1 Restauração.....	24
3.7.2 Reabilitação	24
3.7.3 Remediação	24
3.8 Técnicas de recuperação	24
3.9 Exemplos de recuperação de áreas degradadas	26
4. ÁREA DE ESTUDO	29
4.1 Caracterização Regional do Município	29
4.2 Hidrologia.....	30
4.3 Geomorfologia.....	30
4.4 Solo.....	30
4.5 Clima	31
4.6 Vegetação	31
5. MATERIAIS E MÉTODOS	32
5.1 Materiais	32
5.2 Métodos	32
5.2.1 Levantamento bibliográfico.....	33
5.2.2 Imagens de satélite.....	33

5.2.3	Elaboração de mapas	33
5.2.4	Relatório de Precipitação	36
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6.1	Mapa de Documentação	37
6.2	Mapa de <i>Landforms</i>	39
6.3	Mapa de Substrato Rochoso	40
6.4	Mapa de Materiais Inconsolidados	41
6.5	Modelo Digital de Elevação (MDE).....	43
6.6	Carta de Declividade	43
6.7	Mapa de Fluxo Acumulado	45
6.8	Relatório de Precipitação	46
6.8.1	Relatório de Precipitação (2007)	46
6.8.2	Relatório de Precipitação (2010)	47
6.8.3	Relatório de Precipitação (2013)	47
6.8.4	Relatório de Precipitação (2016)	48
6.8.5	Relatório de Precipitação (2018)	49
6.8.6	Comparação das Médias de Precipitação	49
6.9	Mapa de Uso do Solo	50
6.9.1	Mapa de Uso do Solo (2007)	50
6.9.2	Mapa de Uso do Solo (2010)	51
6.9.3	Mapa de Uso do Solo (2013)	52
6.9.4	Mapa de Uso do Solo (2016)	54
6.9.5	Mapa de Uso do Solo (2019)	55
6.10	Análise da evolução das erosões	56
6.11	Fatores condicionantes	58
6.11.1	Fatores naturais	58
6.11.2	Fatores antrópicos	59
6.12	Recomendações de técnicas de recuperação	60
6.12.1	Revegetação	63
6.12.2	Obras de microdrenagem	65
6.12.3	Uso futuro da área	65
7.	CONCLUSÕES	66
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1. INTRODUÇÃO

É inegável que, com o aumento populacional, surge a busca pelo crescimento, muitas vezes desenfreado. Junto a esse crescimento, ocorre a expansão, muitas vezes desordenada de áreas urbanas, industriais e agrícolas. Neste contexto, os processos de degradação ambiental aumentaram cada vez mais, ocasionando diferentes alterações no meio, como os processos erosivos acelerados. O crescimento deve ocorrer, porém deve conciliar os fatores econômicos e sociais junto com os ambientais.

Pelo fato do Brasil ser um país com clima tropical úmido, a presença de chuvas é determinante para a ocorrência da erosão hídrica, que pode ocorrer de forma natural ou acelerada, caso ações antrópicas favoreçam esse tipo de processo, como o desmatamento, práticas agrícolas sem medidas de controle ou ocupação em locais inadequados.

Neste âmbito, destaca-se a importância do conhecimento dos meios físico e antrópico, que auxiliam na compreensão da dinâmica natural da área e dos fatores condicionantes, favorecendo, desta forma, a proposição de medidas de controle e recuperação que visam o retorno do equilíbrio dinâmico do local degradado. Ressalta-se ainda a necessidade de utilizar técnicas de geoprocessamento que auxiliem a identificação espacial destes atributos e a representação cartográfica.

A escolha da região de São Pedro (SP) se deve à predisposição do município à ocorrência de erosões por uma série de fatores. Entre as características naturais que favorecem a ocorrência da erosão, cita-se o solo arenoso, de maior predominância na região (GOMES, 2002; DANTAS-FERREIRA, 2004). Além do mais, nota-se um aumento expressivo da área urbana próximo de áreas suscetíveis, contribuindo para o surgimento de processos erosivos acelerados (NEVES, 2017).

Com isso, este trabalho teve por objetivo caracterizar os aspectos do meio físico e antrópico através do diagnóstico ambiental e, a partir destas informações, propor medidas de recuperação para as feições erosivas, localizadas no município de São Pedro (SP).

2. OBJETIVOS

Realizar o diagnóstico ambiental de duas feições erosivas localizadas no município de São Pedro (SP) por meio da caracterização dos principais aspectos do meio físico (geologia, relevo e clima) e antrópico (uso do solo) que contribuíram para o desencadeamento e evolução das erosões. E, por fim, propor medidas de recuperação para as erosões com base em dados bibliográficos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Erosão: Aspectos Conceituais

A erosão é um processo geológico de desagregação, transporte e deposição de partículas de solo ou rocha, que tende a surgir não apenas nas camadas superficiais, mas também nas mais profundas (GALETI, 1979).

Lal (1990) define erosão como um fenômeno decorrente da ação combinada de diversos fatores que “provocam o destacamento e o transporte de materiais sobre a crosta terrestre”. Segundo o autor, os principais agentes condicionantes da ocorrência de erosão são: água da chuva, rios, geleiras, mares e vento.

A erosão, portanto, é caracterizada pelo desgaste, transporte e deposição de partículas do solo, que pode ser causado por agentes naturais (água, vento ou neve) ou por agentes antrópicos que contribuem para a ocorrência de processos erosivos acelerados.

Este processo pode ocasionar inúmeras consequências. Para Guerra (2010), a erosão é capaz de causar tanto danos econômicos e sociais quanto ambientais. Além disso, pode comprometer diversas estruturas, como por exemplo edificações e estradas.

3.1.1 Erosão Hídrica

Tipo de erosão ocasionado pela ação da água (pluvial, fluvial ou marítima) que é responsável por desagregar e transportar as partículas do solo.

A chuva caracteriza-se como principal agente responsável pela erosão hídrica nos países tropicais. Sua ação se inicia pelo fenômeno *splash* (Figura 1), que consiste no impacto direto das gotas de chuva no solo, ocasionando a desagregação das partículas. As próximas etapas compreendem o escoamento superficial, que pode ocorrer de forma difusa (erosão laminar) ou concentrada (erosão linear).

Figura 1 - Representação do efeito *splash*.



Fonte: Fontanailles (2013).

3.2 Erosão Laminar

A erosão laminar é originada a partir do escoamento difuso, ou seja, não apresenta filetes de água (MORGAN, 1986). Conforme Resende & Almeida (1985), este tipo de erosão ocorre quando as gotas da chuva impactam sobre o solo, quebram seus grânulos e torrões e os transformam em partículas menores, reduzindo, assim, a capacidade de infiltração do solo.

De acordo com Guerra (1994), a erosão laminar, também conhecida como erosão em lençol, é caracterizada pelo fato do escoamento superficial se comportar de maneira dispersa ao longo das encostas, e não em forma de canais. Para o autor, o escoamento ocorre quando a “capacidade de armazenamento de água no solo satura”, fazendo com que exceda a capacidade de infiltração. Esse fluxo de água originado a partir do escoamento encontra barreiras ao longo de seu trajeto (como rochas ou cobertura vegetal), porém é capaz de desviar dessas irregularidades. Com isso, ele afirma que a turbulência do fluxo d’água e o potencial erosivo gerado por esse fluxo são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a turbulência, maior a capacidade erosiva.

A interação entre o *splash* e o escoamento laminar pode intensificar o processo erosivo, o que não aconteceria caso os processos atuassem isoladamente. Isso ocorre porque, além do *splash* provocar maior turbulência de fluxo d’água (portanto maior capacidade erosiva), ele também é responsável pela suspensão das partículas de solo, facilitando o transporte por escoamento laminar (YOUNG & WIERSMA, 1973).

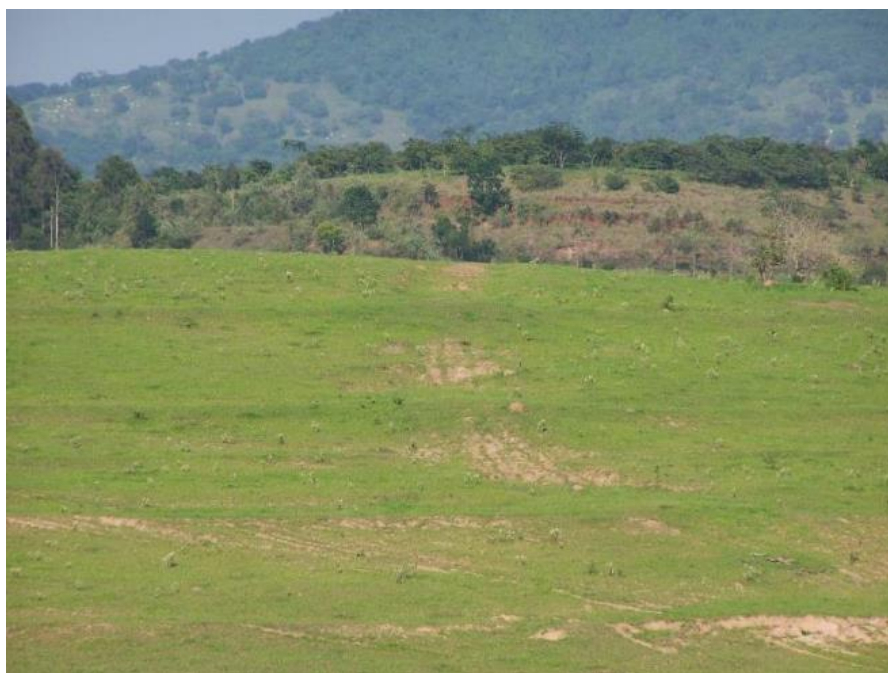
3.3 Erosão Linear

Segundo Amaral & Gutjahr (2014), a erosão linear é caracterizada pelo escoamento superficial concentrado, onde há o surgimento de canais que ao longo do tempo vão se tornando mais profundos de acordo com a intensidade das chuvas. Ou seja, a erosão linear possui como característica principal o surgimento de canais preferenciais que podem dar origem aos sulcos, ravinas ou voçorocas, dependendo do nível de profundidade (PEJON, 1992).

3.3.1 Sulcos

Os sulcos correspondem a pequenos canais com 0,5 m de profundidade (Figura 2). Fournier (1960) cita que neste tipo de feição o arraste de partículas do solo devido à ação da água ocorre de forma perpendicular às curvas de nível, gerando pequenas cavidades. Segundo Morgan (1986), esse tipo de erosão está intimamente ligado a trilhas de gado e em áreas com solo exposto por conta da constante movimentação de terra.

Figura 2 - Sulcos localizados na Bacia do Córrego do Espraiado, em São Pedro (SP).



Fonte: Araujo (2008).

3.3.2 Ravinas

As ravinas representam a evolução da erosão em sulcos, onde o escoamento ocorre com maior velocidade (MOSS *et al.*, 1982). De acordo com Guerra *et al.* (2005), estas feições possuem, geralmente, largura e profundidade que não ultrapassam 50 cm.

Segundo Guerra (1994), na maioria dos casos as ravinas são consideradas características transitórias nas encostas. Algumas delas, após a chuva, podem ser obliteradas por uma nova tempestade, formando, assim, uma rede de ravinas que não possui relação com as formadas anteriormente.

Por fim, é válido ressaltar que, de acordo com o autor citado, a formação das ravinas pode ser acelerada em áreas agrícolas quando estas estão desmatadas, favorecendo a atuação de chuvas concentradas onde os solos se encontram desprotegidos. A Figura 3 apresenta um exemplo de ravina.

Figura 3 - Ravina localizada na Bacia do Córrego do Espraiado, em São Pedro (SP).



Fonte: Araujo (2008).

3.3.3 Voçorocas

Guerra & Botelho (1996) afirmam que as voçorocas se diferem das ravinas devido a características específicas como profundidade, largura e extensão. Lal (1990) afirma que as voçorocas são grandes feições erosivas de difícil controle, onde não basta apenas um preparo de solo para que ela seja revertida. Segundo o autor, elas podem apresentar um perfil transversal em formato “U” ou “V” de acordo com algumas propriedades do solo, como a resistência.

Para Morgan (1986), as voçorocas são feições que apresentam paredes altas por onde são conduzidos fluxos de água durante as chuvas. Além disso, apresentam diferentes ressaltos ao longo de seu curso, com consequente afloramento da água subterrânea devido ao fato de atingir o nível do lençol freático. Consequentemente, o DAEE/IPT (1989) afirma que haverá fluxo d’água tanto nas paredes quanto no fundo das voçorocas, surgindo vazios no interior do solo por conta do arraste de material. Este processo poderá originar a erosão interna ou “*piping*”.

Segundo Guerra (1994), ao contrário das ravinas, as voçorocas possuem caráter permanente nas encostas, com paredes laterais íngremes e presença de fluxo de água em seu interior durante o período de chuvas. Existem algumas características que favorecem o surgimento de voçorocas, são elas: uso agrícola, queimadas ou desmatamento, todos eles associados com tipo de solo e regime pluviométrico.

Portanto, as voçorocas se caracterizam como um tipo de erosão que pode ocasionar diferentes processos de degradação, seja no próprio local devido à remoção do material erodido, ou em locais distantes da sua origem, por meio da deposição à jusante (SAMANI *et al.*, 2009). A Figura 4 ilustra um exemplo de voçoroca.

Figura 4 - Voçoroca localizada na Bacia do Córrego do Espraiado, em São Pedro (SP).



Fonte: Araujo (2008).

3.4 Fatores Condicionantes

A ocorrência da erosão está associada com diversos fatores condicionantes que podem atuar intensificando ou retardando os processos erosivos, são eles:

- Presença ou ausência de cobertura vegetal;
- Tipo de solo (textura, espessura, permeabilidade, porosidade);
- Topografia do terreno (declividade e forma das encostas);
- Clima (a precipitação é o principal fator de interferência nos processos erosivos);
- Ações antrópicas (desmatamento, ocupação desordenada, implantação de obras civis de maneira inadequada, preparo inadequado do solo).

3.4.1 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é de extrema importância para o solo, pois consiste na principal proteção contra o surgimento da erosão. De acordo com Bertoni & Neto (1985), a cobertura vegetal é responsável por exercer diversas funções no terreno, são elas:

- Proteção contra o efeito *splash*;
- Redução da energia do fluxo d'água que é transportado por escoamento superficial;
- Aumento da taxa de infiltração de água no solo devido à ação das raízes;
- Aumento na retenção de água pelo solo, devido à produção/inserção de matéria orgânica, que são responsáveis por melhorar a estrutura do solo.

Além disso, a cobertura vegetal é responsável direta pela produção de matéria orgânica no solo, que contribui para a agregação das partículas (GUERRA, 1994). Com isso, os agregados se tornam difíceis de serem quebrados, favorecendo a infiltração de água e reduzindo o escoamento superficial.

3.4.2 Solo

O solo influencia nos processos erosivos por meio de suas quatro propriedades: físicas, químicas, biológicas e mineralógicas. De acordo com Bitar (1995), as propriedades físicas do solo são: textura, estrutura, permeabilidade e densidade.

- A textura representa o tamanho das partículas de solo e está relacionada com a capacidade de infiltração e absorção da água pluvial. Assim sendo, solos arenosos, que, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6502/1995, possui diâmetro de 0,06 mm a 2 mm, como são geralmente mais porosos, permitem maior infiltração de água da chuva e dificultam o processo de escoamento superficial. Porém, como apresentam poucas partículas argilosas, onde estas apresentam diâmetro menor que 0,002 mm, segundo a ABNT NBR 6502/1995 – que são responsáveis pela ligação entre as partículas maiores – há maior facilidade em remover as partículas, mesmo em chuvas menos intensas (BITAR, 1995).
- A estrutura corresponde à forma como as partículas do solo estão arranjadas e, assim como a textura, também exerce influência na capacidade de infiltração e arraste de partículas pela ação da água da chuva.
- A permeabilidade está intimamente ligada à porosidade do solo e, portanto, determina a capacidade de infiltração de água da chuva no solo.

- A densidade corresponde à relação massa/volume e é uma propriedade inversamente proporcional à permeabilidade e porosidade do solo. O aumento da densidade se dá pela compactação do solo, resultando na redução dos macroporos, conferindo maior velocidade ao escoamento superficial, o que, conseqüentemente, facilita a ocorrência da erosão (BITAR, 1995).

De acordo com Bitar (1995), as propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo estão relacionadas com o estado de agregação das partículas, conferindo maior ou menor resistência do solo à erosão.

A matéria orgânica no solo é responsável por garantir maior coesão e agregação entre as partículas - fazendo com que o solo se torne mais estável em presença de água – maior porosidade (portanto maior permeabilidade) e maior capacidade de infiltração de água, daí a importância de sua incorporação no solo no combate à erosão (BITAR, 1995).

A espessura, que é outra propriedade do solo que interfere nos processos erosivos, corresponde à profundidade do solo. Os solos rasos, de acordo com Bitar (1995), favorecem a rápida saturação dos horizontes superiores, contribuindo para a formação de enxurradas. Além disso, dificultam a fixação de espécies vegetais no local devido à restrição no acesso à água e aos nutrientes necessários para a sobrevivência. Por outro lado, os solos profundos permitem maior taxa de infiltração de água no solo, porém também apresentam certas restrições, como a possibilidade de afloramento do lençol freático e a dificuldade das raízes se estabelecerem em camadas mais profundas devido aos obstáculos criados pelos horizontes de solo.

3.4.3 Topografia

A influência da topografia se dá pela sua relação com a velocidade do fluxo de água, onde a declividade e o comprimento da encosta são os principais fatores que interferem nessa velocidade (BITAR, 1995). Com relação à declividade, quanto maior for esse fator, maior será a velocidade de escoamento da água, resultando em maior volume de água carregado. Com relação ao comprimento da encosta, quanto maior for esse aspecto, maior será o caminho que a água terá que percorrer, conseqüentemente maior será o volume de água acumulada, resultando em maior energia.

Além disso, segundo Guerra (1994), outro importante fator a ser considerado é a forma das encostas (côncava ou convexa), podendo causar interferência na concentração do fluxo hídrico.

3.4.4 Clima

O clima, representado pela ação da água da chuva, é o principal fator de interferência nos processos erosivos, pois é capaz de iniciar a erosão por meio do impacto das gotas de água que caem sobre a superfície do solo. Além disso, os efeitos podem ser diferentes dependendo da distribuição pluviométrica e da intensidade das chuvas. Sendo assim, as chuvas torrenciais são responsáveis por impactar o solo de forma mais agressiva, pois acarretam maior perda de solo e, portanto, erosões em estágios avançados (BITAR, 1995).

3.4.5 Ações antrópicas

Segundo Filho (2015), a atividade humana caracteriza-se como o principal fator condicionante de processos erosivos acelerados, o que se deve principalmente à ocupação inadequada. As principais atividades antrópicas que contribuem para a ocorrência da erosão são: desmatamento, prática da agricultura sem a conservação do solo, pisoteio de gado devido à formação de pastos e abertura de estradas sem obras de drenagem. Essas atividades relacionadas com as características do meio físico tendem a gerar processos extremamente críticos, que ocorrem em taxas superiores à erosão natural do solo.

3.5 Trabalhos desenvolvidos em São Pedro (SP)

Devido à criticidade da área por conta da presença de processos erosivos, diversos estudos foram realizados no município de São Pedro (SP), conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Trabalhos desenvolvidos em São Pedro (SP).

Autor	Tipo	Título do trabalho	Ano
Dirlene Moreira Gomes	Mestrado	Mapeamento geotécnico para análise de feições erosivas concentradas na bacia do Ribeirão do Meio, São Pedro/SP, na escala 1:20.000.	2002
Marcilene Dantas Ferreira	Mestrado	Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação – Córrego do Tucum (São Pedro/SP).	2004
Marília Gonsales da Costa Araujo	Monografia	Classificação, Evolução e Controle das Feições Erosivas na Área de Implantação do Bairro Jardim Botânico – São Pedro (SP).	2008
Ana Gabriela Sobreiro Martins	Monografia	Análise multitemporal das feições erosivas e da evolução do uso e ocupação de uma região rural do município de São Pedro – SP.	2010
Dener Toledo Mathias	Mestrado	Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos: Córrego Tucunzinho (São Pedro/SP).	2011

Thiago Peixoto de Araujo	Mestrado	Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro/SP.	2011
Monique de Paula Neves	Mestrado	Análise dos processos erosivos na bacia do Córrego do Meio – município de São Pedro (SP): estudo do desencadeamento das erosões.	2017

Fonte: O autor (2019).

3.6 Degradação Ambiental

Para Blaikie & Brookfield (1987), a degradação do solo está associada à perda de sua qualidade ou redução de sua capacidade produtiva. De outra forma, Johnson *et al.* (1997) define degradação ambiental como sendo um declínio perceptivo das condições naturais de um ambiente, atribuindo ao ser humano o papel de principal agente deflagrador desse processo.

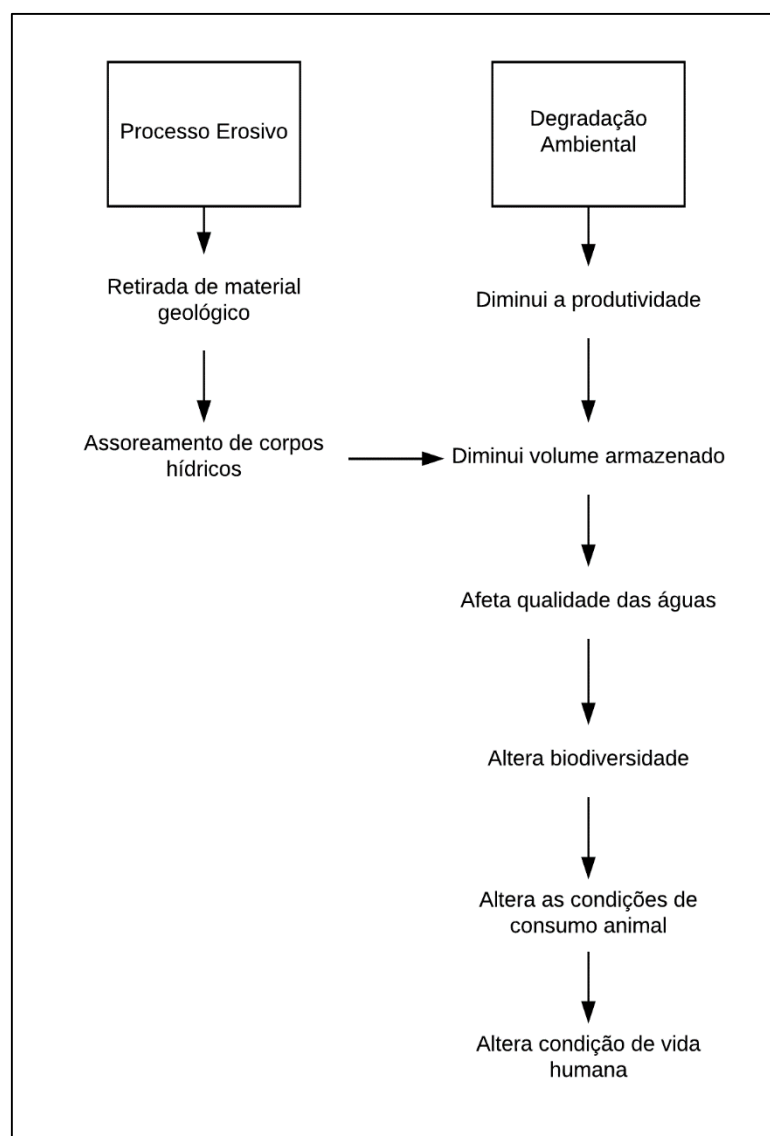
Segundo o Decreto Federal nº 97.632/1989, a degradação pode ser definida como “processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais”.

Da mesma forma, para Zuquette *et al.* (2013), a degradação ambiental está relacionada com a “perda de qualidade ou de capacidade produtiva, e que ela deve ser avaliada com relação à extensão e ao grau do dano ao meio ambiente”.

Consequentemente, o processo de degradação ambiental gera perda de elementos ambientais (como solo e vegetação), perda de funções ambientais (como a proteção do solo contra erosão), alterações da paisagem natural (como remoção e deposição de material erodido) e, por último, riscos à saúde e à segurança das pessoas. Sendo assim, para minimizar estas perdas e alterações, deve-se realizar um bom planejamento antes da implantação das atividades, considerando as técnicas de recuperação ambiental adequadas para a área (BOSCOV, 2012).

Por fim, segundo Zuquette *et al.* (2013), raramente as perdas ligadas à degradação ambiental ocorrem de forma isolada, mas sim em cadeia. Ou seja, a presença de um único fator pode interferir em outro, resultando em alterações no meio que são capazes de influenciar nos mais diversos componentes ambientais. Isto pode ser observado na Figura 5, que representa a ligação dos efeitos de um processo erosivo com os efeitos da degradação ambiental.

Figura 5 - Esquema representando os efeitos da degradação ambiental, em forma de cadeia, causada por processo erosivo.



Fonte: Adaptado de Zuquette *et al.* (2013).

3.7 Recuperação Ambiental

Para Williams *et al.* (1990), recuperação ambiental consiste na retomada do uso de uma área degradada conforme um plano de uso do solo estabelecido previamente. Isso implica que uma estabilidade será atingida, e que a área degradada possuirá as condições mínimas para que um novo equilíbrio dinâmico seja estabelecido.

Conforme o Decreto Federal nº 97.632/1989, “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”. Por outro lado, a Lei Federal nº 9.985/2000 define a recuperação como: “restituição de um ecossistema ou de

uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”.

Neste contexto, pode-se concluir que recuperação ambiental está associada à retomada da área degradada a uma forma de uso, tendo como objetivo a estabilidade do meio e a busca por um novo equilíbrio dinâmico (ZUQUETTE *et al.*, 2013). Por fim, é de suma importância apontar que existem três níveis de recuperação ambiental, são eles: restauração, reabilitação e remediação.

3.7.1 Restauração

A Lei Federal nº 9.985/2000 define restauração como sendo a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original”. Da mesma forma, para Sánchez (2008), a restauração é o regresso de uma área degradada às “condições existentes antes da degradação”. Portanto, a restauração consiste na tentativa de se aproximar das condições naturais de uma área, visto que é praticamente impossível retornar às condições originais em sua totalidade.

3.7.2 Reabilitação

A reabilitação de áreas degradadas consiste em atribuir ao local degradado uma nova forma de uso do solo, segundo as condições de ocupação circunvizinha e em consonância com projeto prévio (BITAR, 1997). Segundo a ABNT NBR 13030/1999, a reabilitação compreende um conjunto de métodos que permitam o “retorno da função produtiva” do local degradado, garantindo, dessa maneira, ajustamento ao uso futuro. Em outras palavras, é propor para uma área degradada outra finalidade, conforme as características do seu entorno.

3.7.3 Remediação

A remediação, segundo Bitar (1997), reúne técnicas de tratamento cujo objetivo principal é o resgate da estabilidade química do meio, por meio da eliminação/neutralização de contaminantes presentes. Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2001), por meio da eliminação dos poluentes é possível garantir uma nova utilização para a área “com limites aceitáveis de riscos aos bens a proteger”.

3.8 Técnicas de recuperação

De acordo com Zuquette *et al.* (2013), para que haja a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos é necessário realizar, primeiramente, estudos aprofundados sobre os

aspectos geológicos e geotécnicos para depois ser elaborado o plano de recuperação propriamente dito.

Na recuperação de áreas degradadas por processos erosivos podem ser utilizadas diferentes medidas, que se diferem conforme o objetivo (recuperação, mitigação e prevenção) e caráter (ecológicas, agrícolas, mecânicas, estruturais e bioengenharia). A Tabela 2 apresenta uma síntese destas técnicas, descritas por Rotta & Zuquette (2012).

Tabela 2 - Medidas para recuperação, mitigação e prevenção de áreas degradadas por processos erosivos (Continua).

Técnicas para áreas degradadas		Objetivo das medidas		
Caráter da medida	Medidas	R	M	P
Ecológico	Revegetação	x	x	x
	Faixa ripária	x	x	x
	Zonas de <i>buffer</i>	x	x	x
	Barreiras de galhos (<i>brush barrier</i>)	x	x	x
Agrícola	Plantas de cobertura		x	x
	Culturas em faixa	x	x	x
	Cordões de vegetação permanente		x	x
	Faixas de bordadura			x
	Alternância de capinas			x
	Ceifa do mato		x	x
	Cobertura morta	x		x
	Controle do fogo			x
	Adubação (verde, química e orgânica)		x	x
	Plantio direto		x	x
	Rotação de culturas		x	x
	Calagem		x	x
Mecânico	Plantio em contorno	x	x	x
	Terraceamento	x	x	x
	Sulcos e camalhões em contorno	x		x
	Canais escoadouros	x	x	x
	Barragens	x	x	x
	Adequações e conservação de estradas vicinais e carregadores	x	x	x
	Caixas de sedimentação	x		
	Aterramento	x	x	
	<i>Rip rap</i>	x	x	
	Muro de contenção		x	x
	Dique de proteção		x	x
	Cordões ou curva de nível		x	x
Estrutural Obras de microdrenagem	Meios-fios/Guias	x	x	x
	Sarjetas	x	x	x
	Bocas de Lobo/Bocas coletoras	x	x	x
	Galerias	x	x	x
	Poços de visita	x	x	x

	Tubos de ligações	x	x	x
	Caixas de ligação	x		
Estrutural Obras de macrodrenagem	Canais naturais ou artificiais	x	x	x
	Dissipadores de energia	x	x	x
	Ressalto hidráulico: canais abertos	x	x	
	Barragens	x	x	
	Vertedores: queda, calha e degrau “cacimbo”	x	x	
	Bacia de acumulação	x	x	
	Bacias dissipadoras	x	x	
	Proteção de taludes	x	x	
	Aterramento	x	x	x
	Obras de pavimentação	x		
	Drenos			x
	Gabião vegetado	x	x	x
Bioengenharia	Geogrelha vegetada	x	x	x
	Mantas de gramíneas	x	x	x
	Sistemas de celas de confinamento	x	x	x
	Tapete biodegradável		x	x

Fonte: Adaptado de Rotta & Zuquette (2012).

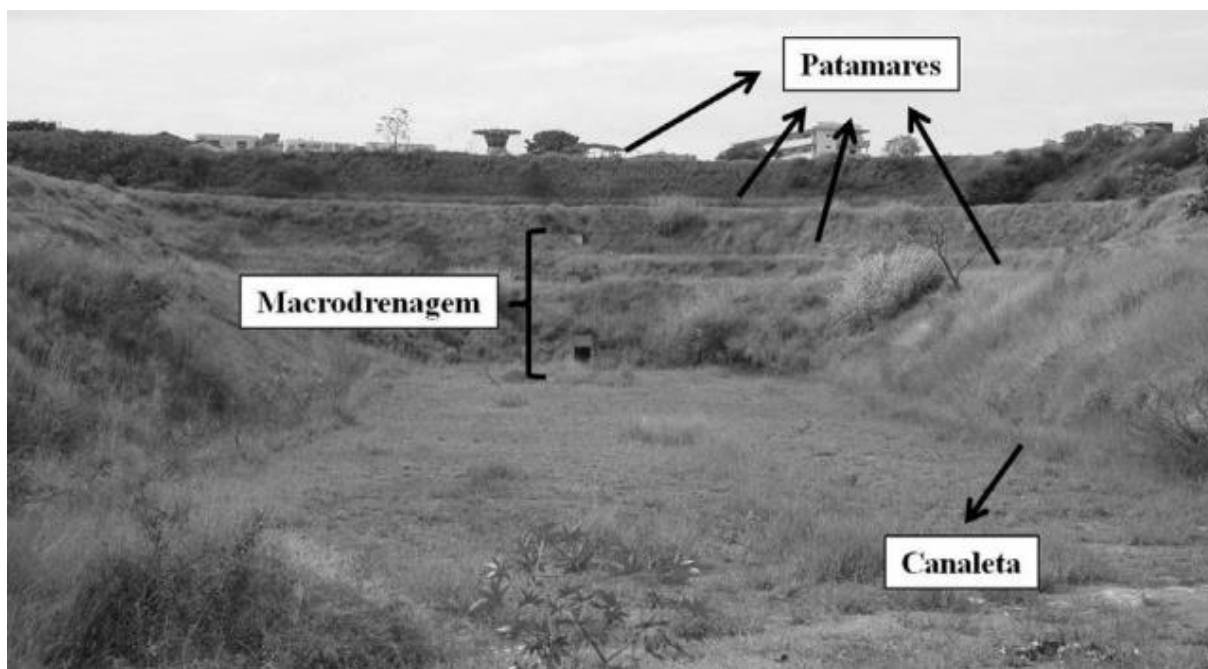
3.9 Exemplos de recuperação de áreas degradadas

Como exemplo de projetos de recuperação de áreas degradadas desenvolvidos no Brasil, citam-se: Raia olímpica da Cidade Universitária; Parque Ibirapuera; e o parque Villa-Lobos, todos localizados em São Paulo (RICCIARDI & SÁNCHEZ, 2004). Ainda, de acordo com a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) (1998), o teatro Ópera de Arame e a Pedreira Paulo Leminski também foram recuperados, estes localizados em Curitiba (PR).

Em relação à recuperação de áreas degradadas por processos erosivos, nota-se que os projetos visam, principalmente, estabilizar os taludes e disciplinar o fluxo de água superficial. Rotta & Zuquette (2012) analisaram as medidas de recuperação aplicadas em sete áreas degradadas por processos erosivos no município de Franca (SP). Nas áreas foram aplicadas diferentes medidas de prevenção, controle e recuperação, como ecológicas e estruturais. Segundo os autores, uma das principais falhas foi a falta de dimensionamento de obras de microdrenagem e a ausência de manutenção das estruturas construídas.

Em uma das feições estudadas realizou-se o retaludamento (construção de cinco patamares cobertos por gramíneas) em conjunto com técnicas de macro (canalização subterrânea) e microdrenagem (canaletas) (Figura 6). Essas medidas garantiram a estabilidade dos taludes, porém não conferiu novo uso ao local. A atribuição de um novo uso poderia ter enfoque social, visto que há um bairro no entorno da feição erosiva.

Figura 6 - Medidas de recuperação adotadas para a feição erosiva localizada em Franca (SP).



Fonte: Rotta & Zuquette (2012).

Desta maneira, destaca-se que os projetos de recuperação devem conciliar diferentes medidas, buscando controlar todos os fatores condicionantes e também propor soluções que favoreçam a atribuição de um novo uso para o local, em conformidade com as características locais.

A Figura 7 mostra outro exemplo de recuperação, citado por Zuquette *et al.* (2013). A voçoroca localizada no Jardim do Líbano em Franca (SP) foi recuperada com aplicação de retaludamento e sistema de drenagem de águas superficiais por meio de canaletas.

Figura 7 - Voçoroca após retaludamento e drenagem superficial.



Fonte: Zuquette *et al.* (2013).

Apesar das técnicas implementadas, foi possível constatar pontos com problemas de instabilidade em razão dos minerais que são encontrados na Formação Itaqueri. Neste contexto, nota-se ainda a importância de desenvolver o diagnóstico ambiental, caracterizando todos os aspectos condicionantes, a fim de auxiliar a elaboração de um projeto de recuperação ambiental que considere os fatores ambientais, econômicos e sociais. Além do mais, ao implementar medidas de recuperação, é fundamental realizar o monitoramento, identificando todos os problemas e as possíveis adaptações de projeto necessárias.

Como exemplo de um projeto que adotou um novo uso para um local degradado por erosão, cita-se o projeto Maria de Barro. De acordo com Ribeiro *et al.* (2010), o projeto, realizado no município de Nazareno (MG), teve um enfoque socioambiental que buscou interagir com a sociedade sobre o problema de degradação dos solos devido à presença de voçorocas. Na área foram aplicadas diferentes técnicas para a recuperação de uma voçoroca-piloto, como exemplo, citam-se: construção de paliçadas, retaludamento, cercamento da área, construção de bacias de captação de água, uso de sacarina para drenagem interna, berços de plantio, semeadura com coquetel de sementes (em sua maioria gramínea) e plantio de mudas. Dessa forma, a intenção foi que essas mesmas técnicas pudessem ser utilizadas em outros municípios.

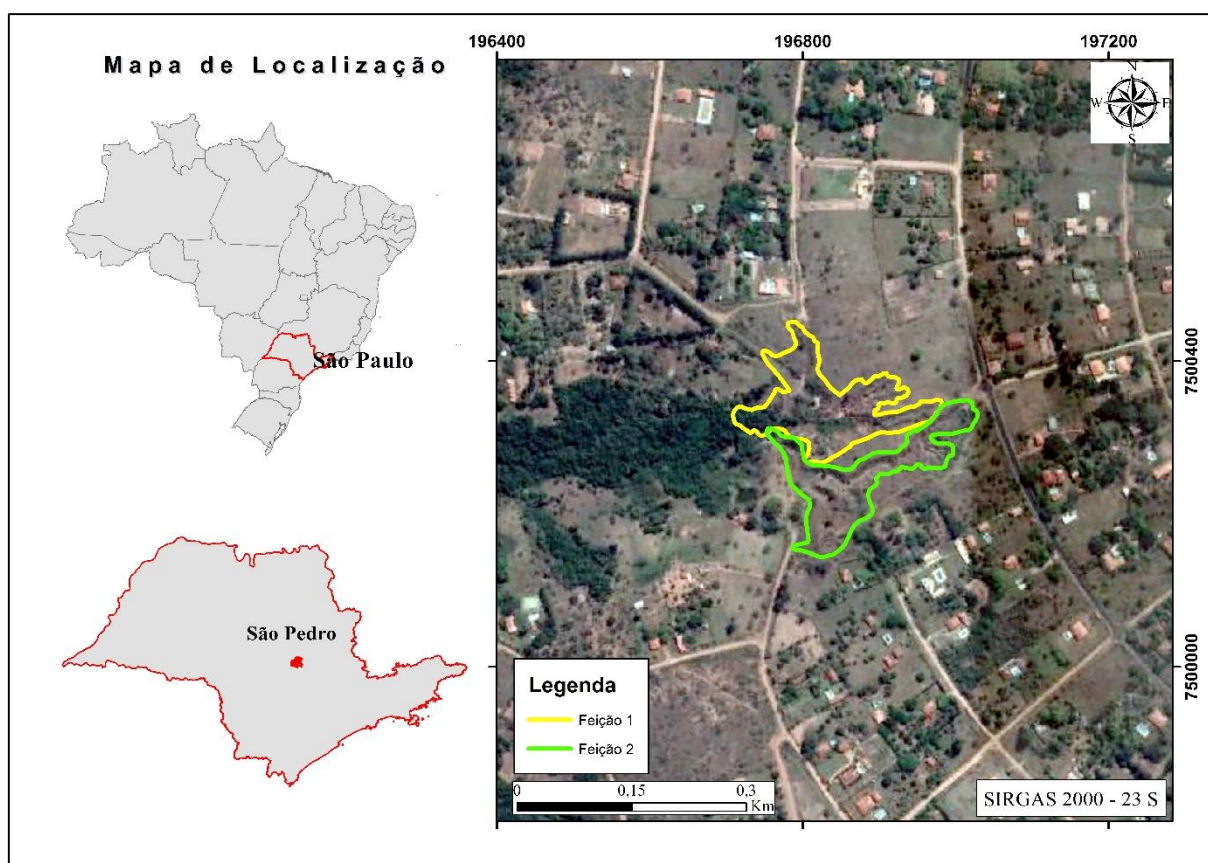
Além disso, com base no processo de degradação que ocorreu no local, foi possível desenvolver atividades de educação ambiental, na qual foram realizados debates, a fim de entender a complexidade dos problemas ambientais, criar práticas e conhecimentos para o desenvolvimento local e difundi-los para outros territórios que vivenciam o mesmo tipo de problema.

4. ÁREA DE ESTUDO

As voçorocas estão localizadas no município de São Pedro (SP), em uma área de chacreamento, ao longo da Bacia do Ribeirão do Meio, entre as coordenadas UTM 196500/19700 mE e 7500530/7499930 mN, como mostra a Figura 8.

As feições erosivas possuem área de 0,019 km² (feição 1) e 0,016 km² (feição 2). Quanto aos demais aspectos, segundo Neves (2017) as voçorocas possuem mais de 2 m de profundidade e ocorrem ao longo do canal de drenagem, na qual predomina o solo transportado associado à Formação Pirambóia.

Figura 8 - Localização das feições erosivas no município de São Pedro (SP).



Fonte: O autor (2019).

4.1 Caracterização Regional do Município

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018), a população estimada em São Pedro (SP) é de 35.318 habitantes, com densidade demográfica de 51,98 hab/km². Além disso, abrange uma área de unidade territorial de 611,28 km², com IDHM de 0,755 e PIB per capita de 19.600,54 reais.

Suas principais vias de acesso pelas rodovias são: Rodovia Anhanguera, SP-330; Rodovia dos Bandeirantes, SP-348; e Rodovia Presidente Castelo Branco, SP-280. E os municípios

limítrofes são: Itirapina e Torrinha, ao norte; Piracicaba, ao sul; Charqueada, ao leste; e, por fim, Santa Maria da Serra, ao oeste.

4.2 Hidrologia

São Pedro (SP) localiza-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 5), que se encontra na porção leste do Estado de São Paulo e inclui os rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacia do PCJ), com área territorial de 14.177,77 km², na qual a maior porção corresponde à Bacia do Rio Piracicaba (80,7%).

O Ribeirão do Meio, bacia na qual estão localizados os processos erosivos, possui 41 km de extensão, tem sua nascente localizada na Serra de São Pedro e foz no Rio Piracicaba (NEVES, 2017).

4.3 Geomorfologia

Segundo Sanchez (1969), São Pedro (SP) está localizado na Depressão Periférica Paulista. Ainda segundo o autor, o município apresenta “formas colinosas cujos topos tabulares oscilam entre 500 e 600 m de altitude, e que estão presentes os típicos almofadões resultantes do trabalho erosivo dos rios e das águas pluviais, nos terrenos predominantemente arenosos”.

A grande maioria do território está presente na província Zona do Médio Tietê, porém 10% do território (conhecido como Serra de São Pedro) está em uma zona de transição da Depressão Periférica para Planalto Arenito-Basáltico (FACINCANI, 1995). Além disso, na área de estudo também ocorre a unidade geomorfológica *Cuestas* Basálticas, também denominada Escarpa de Serra (PEJON, 1992).

4.4 Solo

De acordo com Sanchez (1971), São Pedro (SP) possui predominantemente solos Podzólicos (ou Argissolos) Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos provenientes da alteração do basalto, em menores proporções.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2006), os argissolos são caracterizados pela presença de horizonte B textural, com excesso de argila em profundidade, são normalmente ácidos e, na maioria dos casos, são encontrados em terrenos com relevos acidentados e dissecados com superfícies menos suaves.

Por outro lado, os latossolos são mais profundos (superiores a 2 m), com presença de horizonte B muito espesso, variando de tons vermelhos escuros até amarelados. São encontrados, normalmente, em terrenos planos a suave-ondulados, onde dificilmente ultrapassam 7% de declividade. Sua principal característica, por serem porosos, é a alta

permeabilidade, facilitando a infiltração de água e reduzindo o risco de erosão. Porém, possuem baixa fertilidade, fator limitante ao uso agrícola (EMBRAPA, 2006).

Segundo Graminha (2000), o Latossolo proveniente da alteração do basalto é formado a partir de rochas vulcânicas, apresenta estrutura porosa, perfil espesso, coloração avermelhada a roxa e possui horizontes homogêneos. Além disso, está presente nas regiões das *Cuestas* Basálticas, Depressão Periférica e Planalto Paulista.

4.5 Clima

O clima correspondente de São Pedro (SP) é, de acordo com a classificação de Köppen, Aw, ou seja, apresenta clima tropical chuvoso com estação seca de inverno.

Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) (2018), a temperatura mínima média é de 11°C e máxima média de 30,4°C, com 21,9°C de temperatura média anual. Além disso, segundo a mesma fonte, o município possui precipitação anual igual a 1307,5 mm, onde 26,7 mm representa a precipitação mínima mensal e 221,5 mm a máxima mensal.

4.6 Vegetação

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) (2013), o município possui apenas 6,9% da superfície com presença de vegetação natural remanescente. Devido a isso, é possível afirmar que houve um intenso processo de fragmentação da cobertura vegetal com consequentes alterações dos habitats.

Os principais tipos de vegetação encontrados em São Pedro (SP) são: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional em região de Contato Savana/Floresta Estacional, cada uma com suas correspondentes formações com vegetação secundária (PMSB, 2013).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os *softwares Google Earth Pro* e *ArcGis 10.5*. Para confecção dos mapas foram utilizadas imagens de satélite, cartas topográficas e mapas da Bacia do Ribeirão do Meio, escala 1:20.000, conforme descrito na Tabela 3.

Além disso, foi feito o levantamento da quantidade total de precipitação (mm) na área de acordo com a estação meteorológica Bauru, por ser a mais próxima da área em estudo. Para isso, foram utilizados os dados climáticos disponíveis no site do Instituto do Controle do Espaço Aéreo (ICEA).

As imagens de satélite foram importantes para facilitar a visualização do desenvolvimento das duas feições erosivas ao longo dos anos; os mapas serviram para caracterizar a área de estudo; os *softwares* foram necessários para a elaboração de novos mapas, bem como a análise espacial de atributos do meio físico e antrópico; e o banco de dados sobre precipitação foi necessário para avaliar a influência da chuva no desenvolvimento das feições erosivas.

Tabela 3 - Materiais utilizados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Fonte	Descrição	Fonte/Autor
Imagens de satélite	2007	<i>Google Earth Pro</i>
	2013	
	2016	
	2019	
	2010	DataGeo Ortofoto EMPLASA
Folha topográfica (1:10.000)	Ribeirão do Meio (SF-23-Y-A-IV-1-NO-E)	IGC (1970)
Mapas (1:20.000)	Mapa de <i>landforms</i>	Neves (2017)
	Mapa de substrato rochoso	
	Mapa de materiais inconsolidados	
Precipitação (mm)	Precipitação Média	ICEA

Fonte: O autor (2019).

5.2 Métodos

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em 5 etapas fundamentais: levantamento bibliográfico; delimitação das voçorocas com base em imagens de satélite de 2007 a 2019 em um intervalo de 3 anos; processamento dos dados e elaboração dos mapas do meio físico e do

uso do solo; e relatório de dados de precipitação anual. Após a realização destas etapas de diagnóstico, realizou-se ainda a seleção de técnicas para recuperação das erosões.

5.2.1 Levantamento bibliográfico

Esta etapa correspondeu à aquisição de informações sobre o assunto do trabalho baseado em livros, teses, dissertações e trabalhos acadêmicos. Além disso, também se realizou o levantamento de mapas e imagens de satélite para auxiliar na elaboração dos resultados.

5.2.2 Imagens de satélite

Inicialmente foi feita a obtenção de imagens de satélite no *Google Earth Pro* para os anos de 2007, 2013, 2016 e 2019. E, para o ano de 2010, a aquisição das ortofotos da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) foi realizada através do visualizador de mapas do DataGeo. Em seguida, foram inseridos quatro pontos nas extremidades da área de estudo para auxiliar o georreferenciamento, no sistema de coordenadas UTM – Datum: SIRGAS 2000 – Zona 23S. Como as coordenadas do *Google Earth Pro* estavam em WGS 84, realizou-se a conversão para SIRGAS 2000 com auxílio da Calculadora Geográfica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A partir disso, estas imagens foram inseridas no ArcGis 10.5 e georreferenciadas por meio da ferramenta “*Georeferencing – Add Control Points*”.

5.2.3 Elaboração de mapas

Com auxílio do *software* ArcGis 10.5 foi possível editar os mapas existentes e confeccionar novos produtos para a área de estudo.

5.2.3.1 Recorte de Mapas

O recorte dos mapas foi feito através da ferramenta “*Clip*”. Para arquivos em formato *shapefile*, as etapas foram: “*Geoprocessing – Clip*”. Para arquivos *raster*, as etapas foram: “*ArcToolBox – Data Management Tools – Raster – Raster Processing – Clip*”. Os recortes foram feitos para os mapas de substrato rochoso, materiais inconsolidados e *landforms*.

5.2.3.2 Vetorização

A delimitação das duas feições erosivas para cada ano foi feita manualmente com auxílio da ferramenta “*Editor*” e com base nas imagens georreferenciadas.

5.2.3.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Segundo Luiz *et al.* (2007), o Modelo Digital de Elevação consiste na representação digital da superfície do terreno, é constituído por *pixels* com suas respectivas coordenadas (x,y) e valores de elevação (z).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) deste trabalho foi feito a partir da utilização de três dados básicos, obtidos a partir da Carta Topográfica do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC) (1970), escala de 1:10.000: curvas de nível, pontos cotados e rede de drenagem.

Primeiramente, foi feita a interpolação destes dados por meio da ferramenta “*ArcToolBox – Spatial Analyst Tools – Interpolation – Topo to Raster*”. Em seguida, foi aplicado o filtro em “*ArcToolBox – Spatial Analyst Tools – Neighborhood – Filter*”, que tem como objetivo remover as depressões (*sinks*).

Com base no MDE foram obtidos mapas hidrológicos, como direção de fluxo e fluxo acumulado, a partir das respectivas ferramentas disponíveis no “*Hidrology*”.

5.2.3.4 Carta de Declividade

Para a elaboração da Carta de Declividade, utilizou-se a ferramenta “*ArcToolBox – 3D Analyst Tools – Raster surface – Slope*”. As classes de declividade em valores percentuais foram estabelecidas conforme as características do terreno, sendo: <2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-50 e >50. Segundo o Instituto Geológico (IG) (1993), é possível interpretar esses valores de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Representação das diferentes classes de declividade (Continua).

Classes (%)	Terrenos	Escoamento superficial	Consequências
< 2	Planos ou quase planos	Muito lento ou lento	Poucos problemas de erosão
2 - 5	Declividades suaves	Lento ou médio	Problemas de erosão requerem práticas simples de conservação
5 - 10	Inclinados, geralmente com relevo ondulado	Médio e rápido	Poucos problemas de erosão superficial
10 - 15	Muito inclinados ou colinosos	Rápido	Apresentam problemas de erosão superficial, exceto quando ocorrem em solos permeáveis e pouco arenosos

15 - 20	Inclinados	Rápido	Apresentam problemas de erosão superficial
20 - 25	Fortemente inclinados	Muito rápido	Suscetível à ocorrência de processos erosivos
25 - 50	Fortemente inclinados a muito íngremes	Muito rápido e com desenvolvimento de solo raso a muito raso	Suscetível à ocorrência de processos erosivos, sujeitos a movimentos de massa e queda de blocos
>50	Muito íngremes ou escarpados	Muito rápido e com desenvolvimento de solos muito rasos, com exposição da rocha	Extremamente suscetível à erosão

Fonte: Adaptado de IG (1993).

5.2.3.5 Uso do Solo

Os mapas de uso do solo foram elaborados no ArcGis 10.5 com base nas imagens georreferenciadas. Para isso, foram criados cinco *shapefiles* para cada classe de uso: rua (pavimentada e não pavimentada), área edificada, pastagem e vegetação. A Tabela 5 ilustra a representação de cada classe de uso do solo, obtidas a partir do *Google Earth Pro*.

Tabela 5 - Representação de cada classe de uso do solo.

Vegetação	Pastagem	Área edificada
		

Fonte: Adaptado de *Google Earth Pro* (2019).

Depois de definidos os *shapefiles* a serem trabalhados, foi feita a vetorização desses dados através da ferramenta “*Editor*”. Todos os parâmetros foram vetorizados em “*Polyline*” com sistema de projeção UTM Datum SIRGAS 2000 – Zona 23S, entretanto a pastagem, área edificada e vegetação foram posteriormente transformadas em “*Polygon*” para permitir o cálculo das respectivas áreas. Para isso, foi criado um campo de informação na tabela de atributos e as áreas foram calculadas em km² através da ferramenta “*Calculate Geometry*”.

5.2.4 Relatório de Precipitação

Como a chuva é o principal agente deflagrador de processos erosivos, realizou-se uma análise referente à quantidade total (mm) de chuva que ocorreu em todos os meses para cada ano. O objetivo principal desta etapa foi analisar comparativamente as médias de precipitação entre os anos de 2007, 2010, 2013, 2016 e 2018, de forma a investigar uma possível relação entre a chuva e o desenvolvimento das feições erosivas.

Dessa forma, os dados foram obtidos utilizando como referência a estação de Bauru (SP) por se tratar da estação meteorológica mais próxima do município de São Pedro (SP). Em suma, a análise foi realizada por meio da quantidade total de precipitação, por meses seguidos, de janeiro de 2007 a dezembro de 2018.

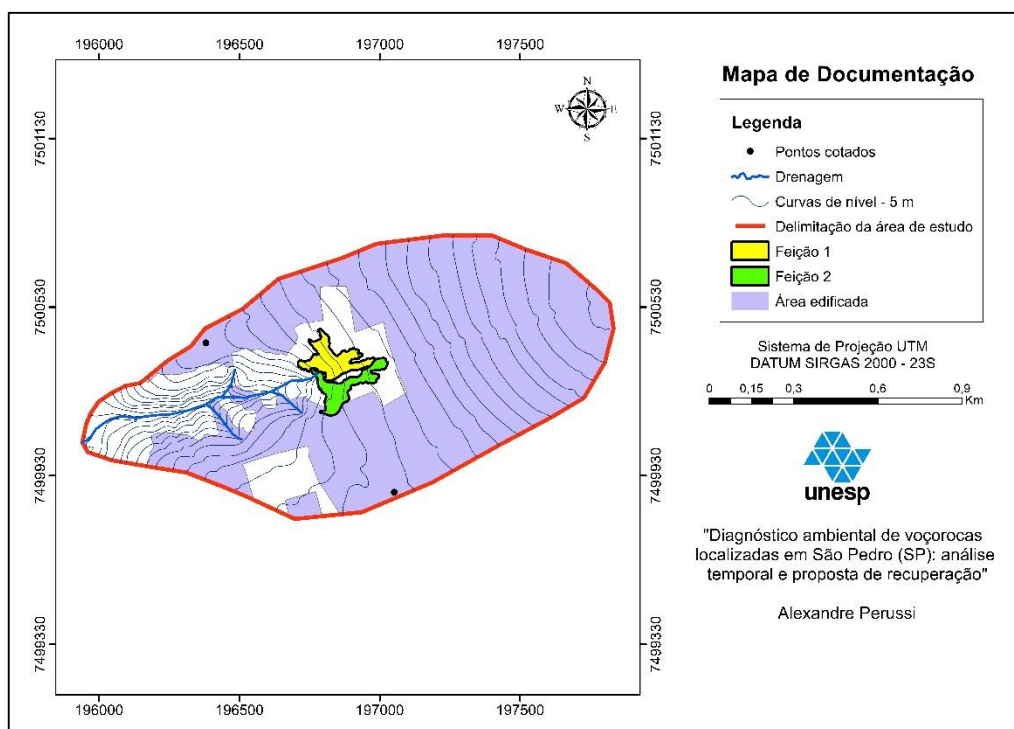
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Mapa de Documentação

De acordo com a Figura 9, o Mapa de Documentação representa todas as informações necessárias para o conhecimento da área de estudo, são elas:

- Pontos cotados (IGC, 1970);
- Feição erosiva 1 (O autor, 2019);
- Feição erosiva 2 (O autor, 2019);
- Rede de drenagem (IGC, 1970);
- Curvas de nível equidistantes de 5 m (IGC, 1970);
- Delimitação da área de estudo (O autor, 2019);
- Área edificada (O autor, 2019).

Figura 9 - Mapa de Documentação da área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

A área de estudo possui 1,21 km²; a Feição 1 0,019 km²; a Feição 2 0,016 km²; e a área edificada 0,89 km². O curso d'água possui ordem de ramificação 2, segundo a classificação de *Strahler* (1952), e extensão de 1330,03 m.

Como resultado, foi possível verificar que a área de estudo é composta, principalmente, por área construída (73,97%), que é representada pela presença de chácaras, ruas pavimentadas e não pavimentadas. As Figuras 10 e 11 ilustram, respectivamente, as feições 1 e 2. Nas paredes é possível notar a presença de vegetação e solo exposto, que pode ser um indicativo de possível reativação do processo. Além disso, é importante destacar que na cabeceira da feição 1 está ocorrendo a disposição inadequada de resíduos (construção civil e poda).

Figura 10 - Feição erosiva 1.



Fonte: O autor (2019).

Figura 11 - Feição erosiva 2.



Fonte: O autor (2019).

6.2 Mapa de *Landforms*

O Mapa de *Landforms* representa as feições do relevo, considerando características como: forma topográfica, frequência dos canais e amplitude do relevo. Com base nestas informações é possível analisar e interpretar as porções presentes na superfície terrestre, e sua relação com os processos erosivos (LOLLO, 1995).

A Tabela 6 apresenta a descrição das unidades de *landforms* presentes na área de estudo, propostas por Gomes (2002).

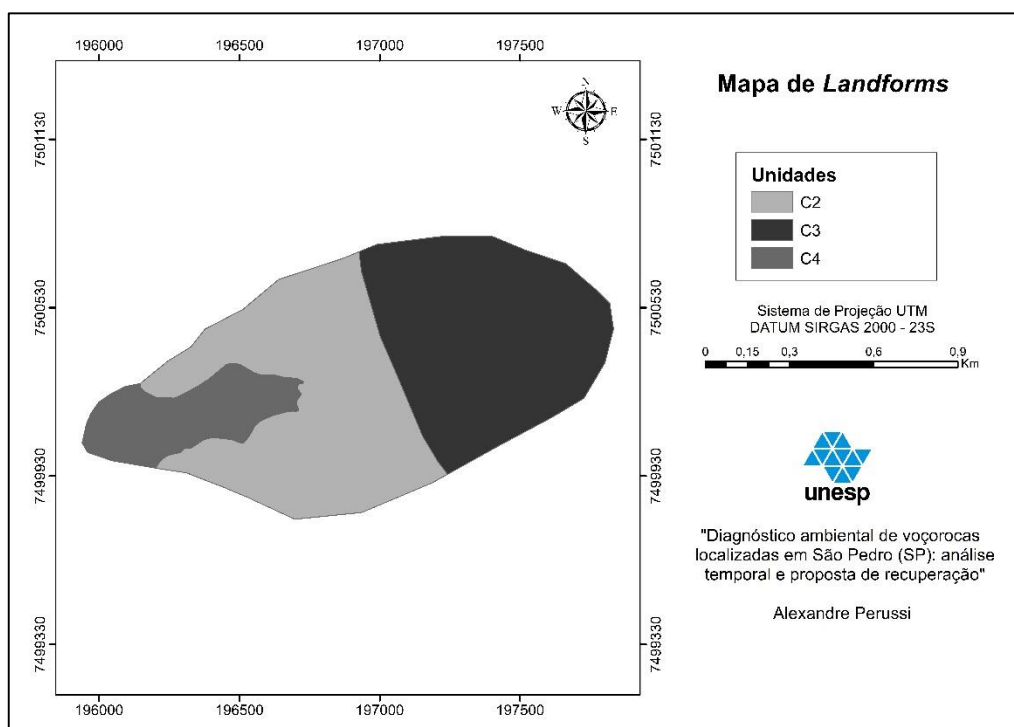
Tabela 6 - Características das unidades de *landforms* presentes na área de estudo.

Sistema	Unidade	Características
C	C2	Presença de colinas amplas com topos aplainados; vertentes com perfis que variam de retilíneos a convexos; baixa declividade e baixa densidade de canais de drenagem; registro de erosões do tipo ravina e voçoroca.
	C3	Similar à unidade C2, com presença de colinas amplas com topos aplainados; vertentes com perfis retilíneos; declividade muito baixa e canais de drenagem praticamente ausentes; feições erosivas do tipo sulcos até ravinas.
	C4	Apresenta terrenos baixos, mais ou menos planos; localizado junto às margens de rios, com risco de inundação periódica; sujeito a feições erosivas do tipo ravinas que tendem a evoluir e formar voçorocas.

Fonte: Adaptado de Gomes (2002).

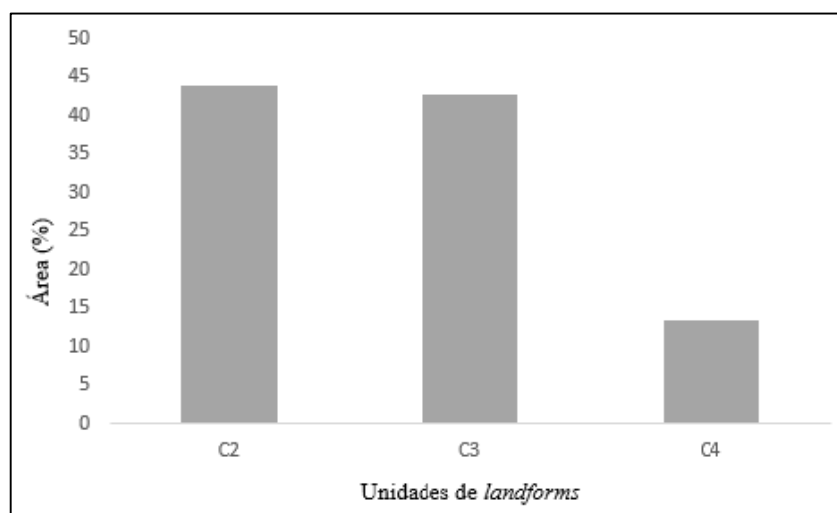
De acordo com a Figura 12, o sistema C (área de depressão) está presente em 100% da área de estudo e as unidades de *landforms* são C2, C3, C4. A unidade com maior predominância é a C2 (43,93%), seguida pelas unidades C3 (42,68%) e C4 (13,39%) (Figura 13).

Figura 12 - Mapa de *Landforms* da área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

Figura 13 - Percentual de área das unidades de *landforms* na área de estudo.



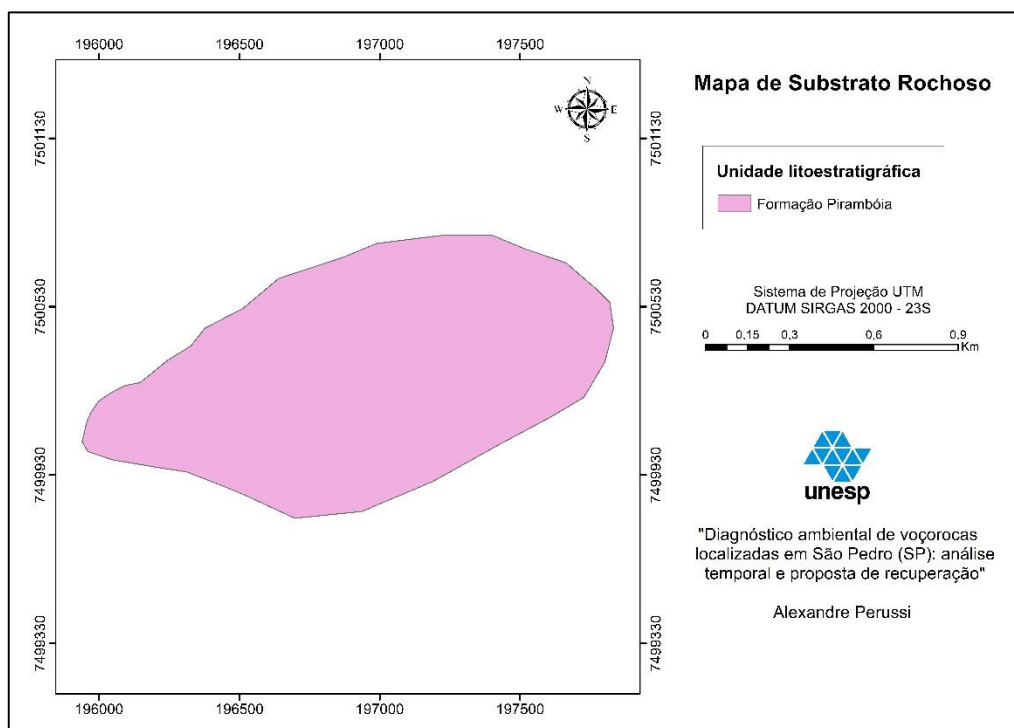
Fonte: O autor (2019).

6.3 Mapa de Substrato Rochoso

A geologia da área de estudo é composta apenas por rochas da Formação Pirambóia, que se caracteriza por arenitos cujos principais componentes são: quartzo, feldspato, fragmentos de rochas matriz e cimento (Figura 14). Além disso, apresentam granulometria que varia de

muito fina a média, cores variegadas (vermelha, amarela, rosa e branca) e estratificações cruzadas (WU & CHANG, 1992).

Figura 14 - Mapa de Substrato Rochoso da área de estudo.



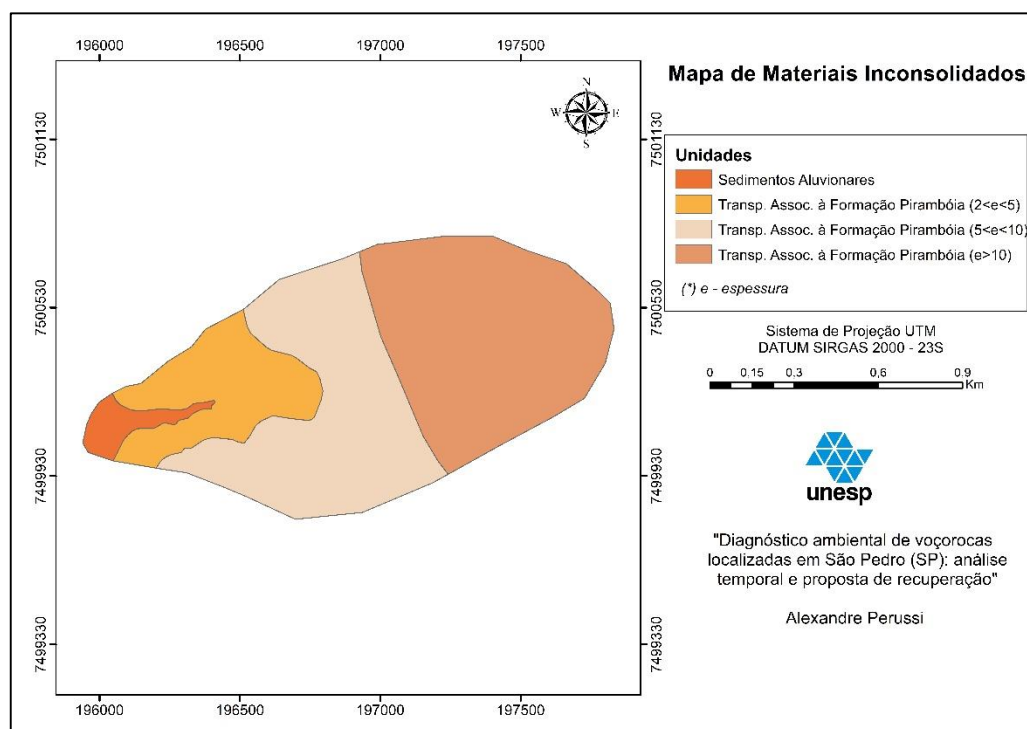
Fonte: O autor (2019).

6.4 Mapa de Materiais Inconsolidados

De acordo com Neves (2017), o Mapa de Materiais Inconsolidados representa as classes de unidades de materiais que se diferem segundo suas características geotécnicas.

A área de estudo é composta por 4 unidades, classificadas segundo a formação geológica associada e espessura dos materiais (Figura 15).

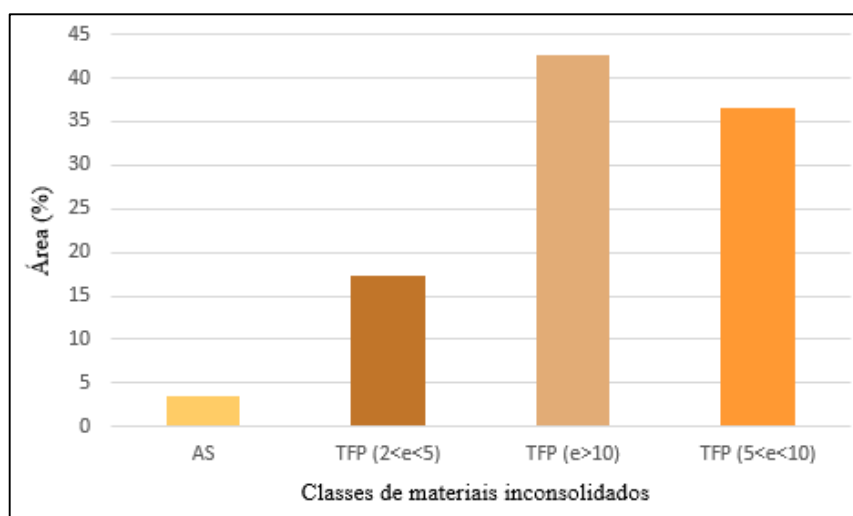
Figura 15 - Mapa de Materiais Inconsolidados da área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

De acordo com a Figura 16, há predomínio (96,60%) dos materiais transportados associados à Formação Pirambóia, que são muito arenosos, apresentam alta porosidade e baixa consistência (GOMES, 2002). Os sedimentos aluvionares estão representados por “AS”; “TFP” representa os materiais Transportados associados à Formação Pirambóia; e “e” é a espessura dos materiais.

Figura 16 - Percentual de área das classes de materiais inconsolidados na área de estudo.

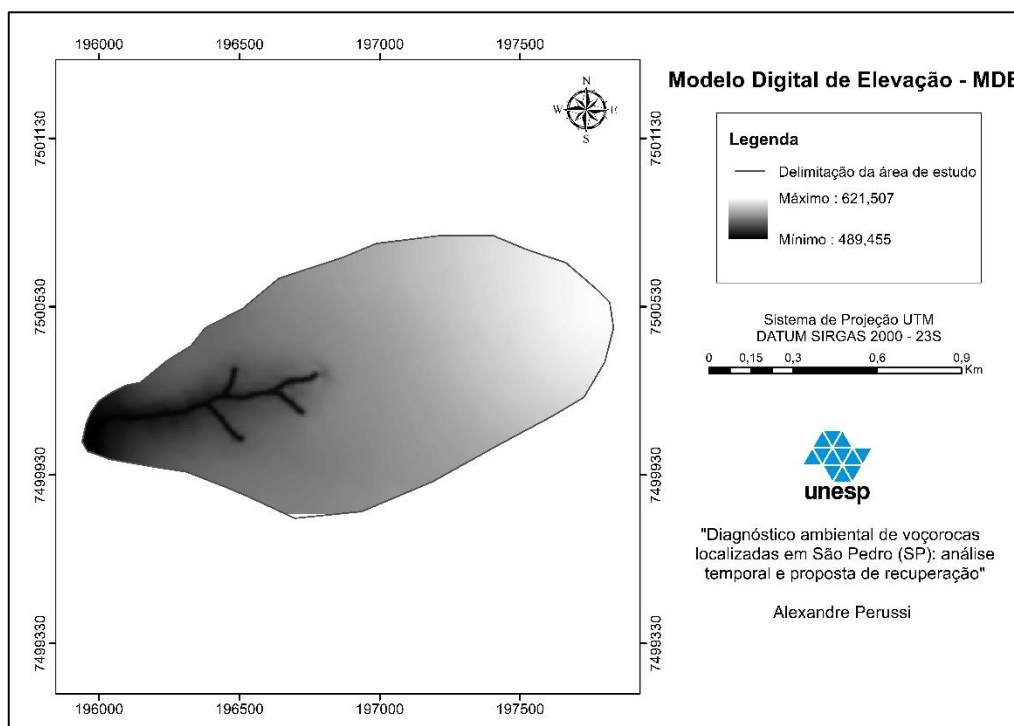


Fonte: O autor (2019).

6.5 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE apresentado na Figura 17 foi elaborado com base nos arquivos vetoriais da carta topográfica (curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados) e possui *pixel* de 5 m. Os valores de elevação máximos e mínimos são, respectivamente, de aproximadamente 621 e 489 metros.

Figura 17 - Modelo Digital de Elevação (MDE) para a área de estudo.



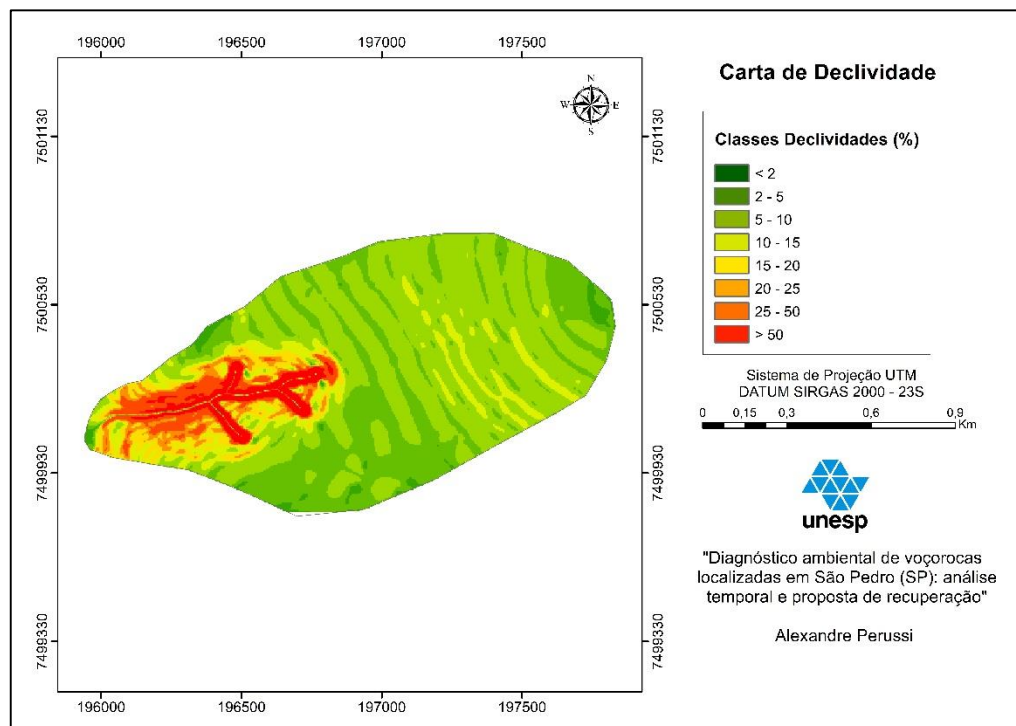
Fonte: O autor (2019).

6.6 Carta de Declividade

A Figura 18 apresenta a Carta de Declividade da área em estudo, elaborada a partir do MDE. É possível interpretar que a classe com maior predominância na área de estudo corresponde ao intervalo de 5 a 10%, ou seja, segundo IG (1993), corresponde a terrenos inclinados, com relevo ondulado e presença de escoamento superficial com velocidade média/rápida.

Como é possível notar na Figura 18, na região onde se localizam as duas feições erosivas as classes de declividade são maiores que 25%, comprovando a influência deste parâmetro como um dos fatores condicionantes da erosão. Ou seja, quanto maior a declividade, maior velocidade do escoamento superficial, e conseqüentemente maior chance de desenvolvimento de erosão.

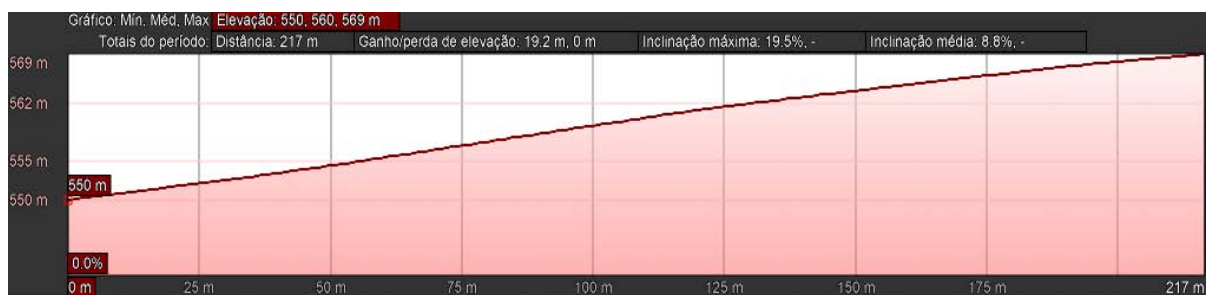
Figura 18 - Carta de Declividade da área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

Para facilitar a interpretação dos dados, foi criado um perfil topográfico para as voçorocas (Figura 19) por meio do *Google Earth Pro*, cuja linha foi traçada desde o início até o fim das feições erosivas.

Figura 19 - Perfil topográfico das voçorocas.



Fonte: Adaptado de *Google Earth Pro* (2019).

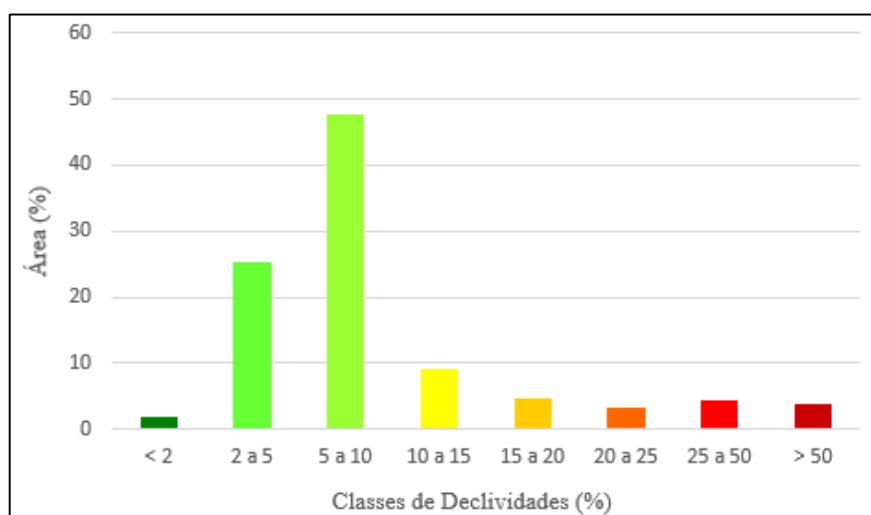
A distribuição das classes de declividade em valores percentuais está descrita na Tabela 7 e ilustrada na Figura 20. Observa-se também a ocorrência em maiores proporções das classes 2 a 5%, que se caracterizam pela presença de terrenos com declividades suaves, escoamento superficial lento ou médio e problemas de erosão que requerem práticas simples de conservação.

Tabela 7 - Porcentagem de área das classes de declividade na área de estudo.

Classes de Declividade (%)	Área (%)
< 2	1,81
2 a 5	25,26
5 a 10	47,66
10 a 15	9,13
15 a 20	4,76
20 a 25	3,29
25 a 50	4,29
>50	3,79

Fonte: O autor (2019).

Figura 20 - Distribuição das porcentagens de área das classes de declividade na área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

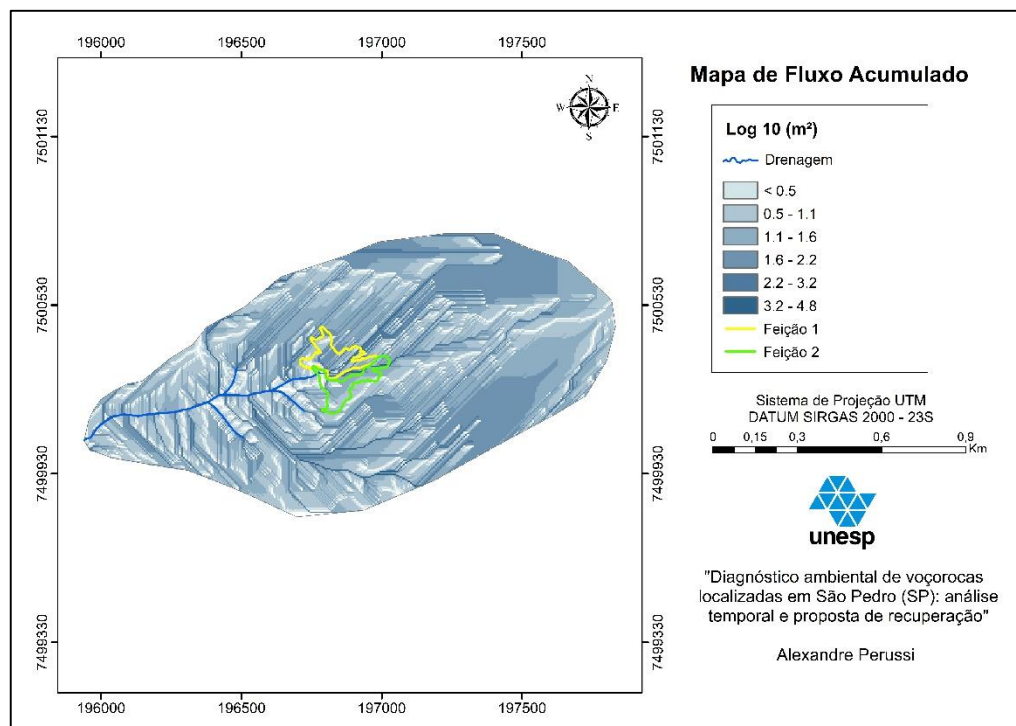
6.7 Mapa de Fluxo Acumulado

O Mapa de Fluxo Acumulado foi elaborado para auxiliar na análise das áreas com maior acúmulo de água, segundo as características naturais do terreno e sua influência no desencadeamento das erosões. O fluxo acumulado foi definido com base na direção de fluxo, que considera a diferença de cotas existente entre oito *pixels* vizinhos (O'CALLGHAN & MARK, 1984).

A Figura 21 apresenta o Mapa de Fluxo Acumulado da área em estudo, na qual os valores estão representados em escala logarítmica em razão da variabilidade da distribuição dos dados. Além disso, o mapa foi dividido em 6 classes para melhor visualização da distribuição dos dados na região de estudo. Nota-se a presença do fluxo acumulado próximo à cabeceira das

erosões, o que pode favorecer a expansão da área degradada devido à concentração do volume de água.

Figura 21 - Mapa de Fluxo Acumulado da área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

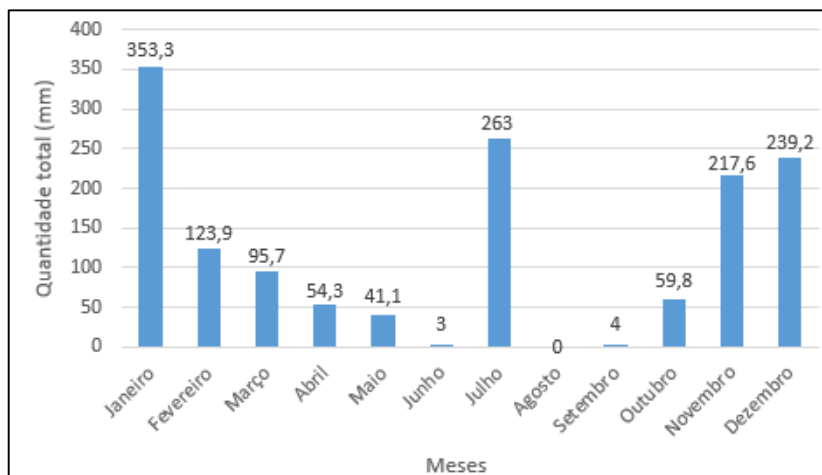
6.8 Relatório de Precipitação

Por meio dos dados climatológicos disponibilizados pelo Instituto do Controle do Espaço Aéreo (ICEA) foi possível analisar a quantidade total (mm) de precipitação para os últimos anos, ou seja, de 2007 a 2018, mesmo período considerado para a análise da dinâmica de uso do solo.

6.8.1 Relatório de Precipitação (2007)

De acordo com a Figura 22, os meses mais chuvosos ocorreram em dezembro, janeiro e julho, enquanto os meses mais escassos foram junho, agosto e setembro. Em dezembro a quantidade total foi de 239,2 mm; janeiro 353,3 mm; e julho, que se caracteriza como chuva isolada, foi de 263 mm. A média de precipitação neste ano foi de 121,24 mm.

Figura 22 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2007.

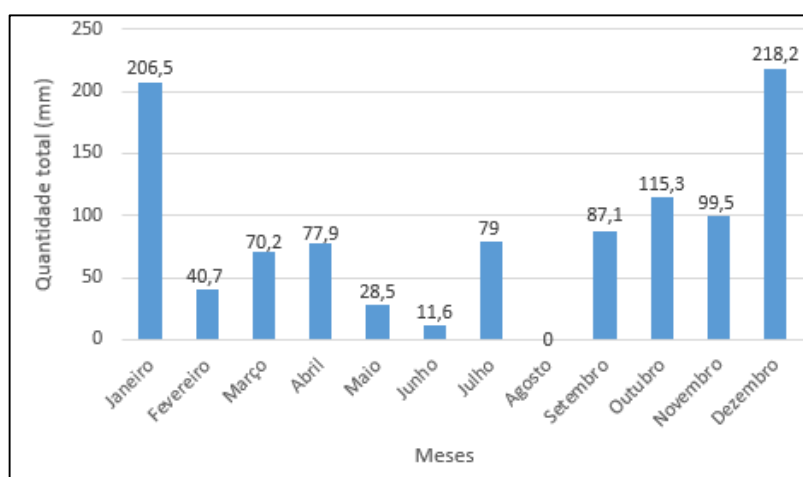


Fonte: O autor (2019).

6.8.2 Relatório de Precipitação (2010)

Os meses mais chuvosos foram janeiro e dezembro, enquanto os meses mais secos foram junho e agosto (Figura 23). Em janeiro a quantidade total foi de 206,5 mm de chuva; e dezembro 218,2 mm. A média de precipitação em 2010 foi de 86,21 mm. Ou seja, comparando com 2007, em 2010 a precipitação média anual foi menor.

Figura 23 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2010.



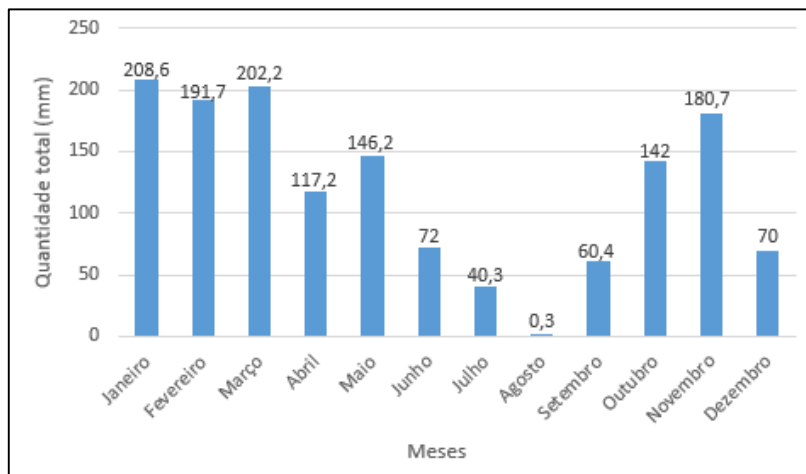
Fonte: O autor (2019).

6.8.3 Relatório de Precipitação (2013)

Segundo a Figura 24, os meses com maior chuva se concentraram no começo do ano (janeiro, fevereiro e março), já os meses no meio do ano (julho e agosto) foram mais secos. A quantidade total de precipitação em janeiro, fevereiro e março foram, respectivamente, 208,6;

191,7; e 202,2 mm. Houve aumento em relação à média de precipitação em 2010, obtendo-se o valor de 119,3 mm.

Figura 24 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2013.

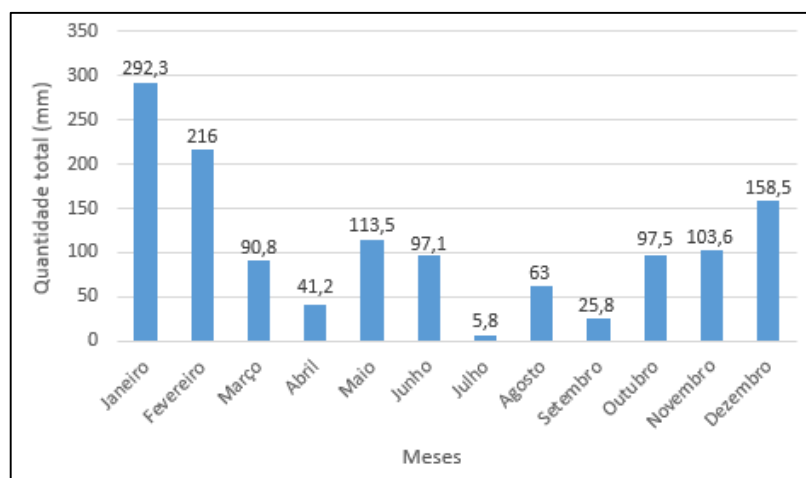


Fonte: O autor (2019).

6.8.4 Relatório de Precipitação (2016)

De acordo com a Figura 25, neste ano os meses mais chuvosos foram janeiro e fevereiro, e os menos chuvosos foram julho e setembro. Janeiro apresentou 292,3 mm de chuva; e fevereiro 216 mm. Enquanto isso, os meses de julho e setembro apresentaram, respectivamente, 5,8 e 25,8 mm. A média para este ano foi de 108,76 mm, ou seja, houve redução quando comparado ao ano anterior (2013). No entanto, as médias para dezembro, janeiro e fevereiro foram significativamente maiores em relação a 2013.

Figura 25 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2016.

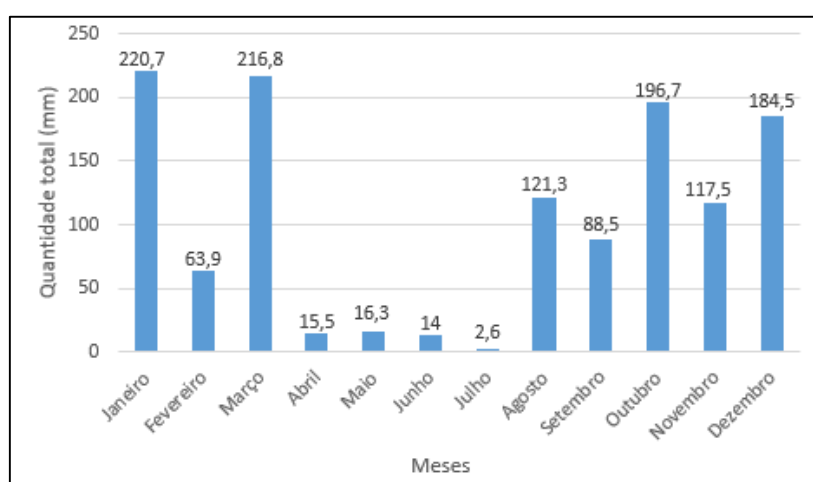


Fonte: O autor (2019).

6.8.5 Relatório de Precipitação (2018)

Como é possível observar na Figura 26, os meses mais chuvosos se concentraram no início (principalmente janeiro e março) e final do ano (principalmente outubro e dezembro). As quantidades de precipitação foram: janeiro (220,7 mm), março (216,8 mm), outubro (196,7 mm) e dezembro (184,5 mm), com destaque para os meses de março, outubro e dezembro que apresentaram valores relativamente maiores que o ano anterior. De abril a julho houve uma redução significativa dos índices pluviométricos. Abril apresentou 15,5 mm; maio 16,3 mm e julho 2,6 mm. A média de precipitação em 2018 foi de 104,86 mm. Com isso, houve uma pequena redução neste valor em relação a 2016.

Figura 26 - Quantidade total (mm) de precipitação ao longo dos meses de 2018.

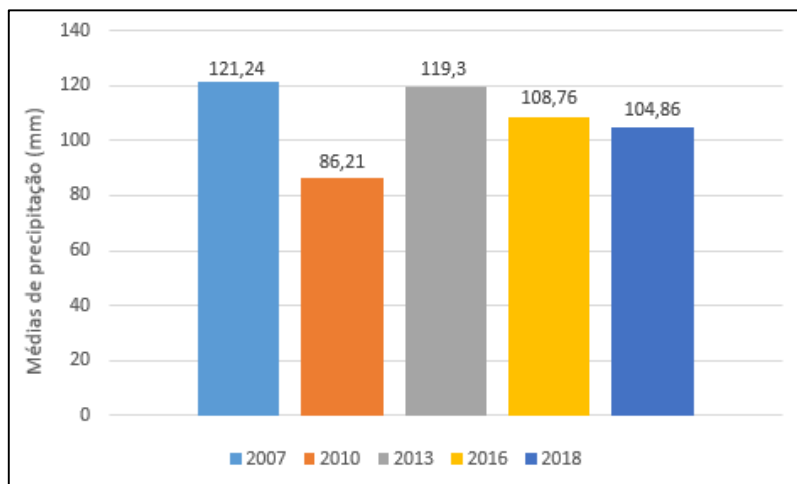


Fonte: O autor (2019).

6.8.6 Comparação das Médias de Precipitação

Por meio dos resultados obtidos, foi possível calcular a média de precipitação (mm) para todos os anos, representada pela Figura 27. Para os anos de 2007 a 2010, pôde-se notar uma queda abrupta dos índices pluviométricos registrados pela estação meteorológica Bauru. A partir de 2013, os níveis de chuva foram reestabelecidos, porém, a partir daí, houve uma queda contínua.

Figura 27 - Comparação das médias de precipitação ao longo dos anos de estudo.



Fonte: O autor (2019).

De maneira geral, considerando os dados de precipitação, é possível notar irregularidades nos índices pluviométricos ao longo dos anos. Além disso, é importante destacar que o período de maior risco de evolução das erosões ocorreu entre dezembro e março. Os maiores índices ocorreram em 2010 e 2013, o que pode ter induzido ao aumento da área afetada pela voçoroca. Deve-se considerar também a relação entre solo exposto e períodos de chuva intensa, conferindo maior potencial erosivo à ação da chuva.

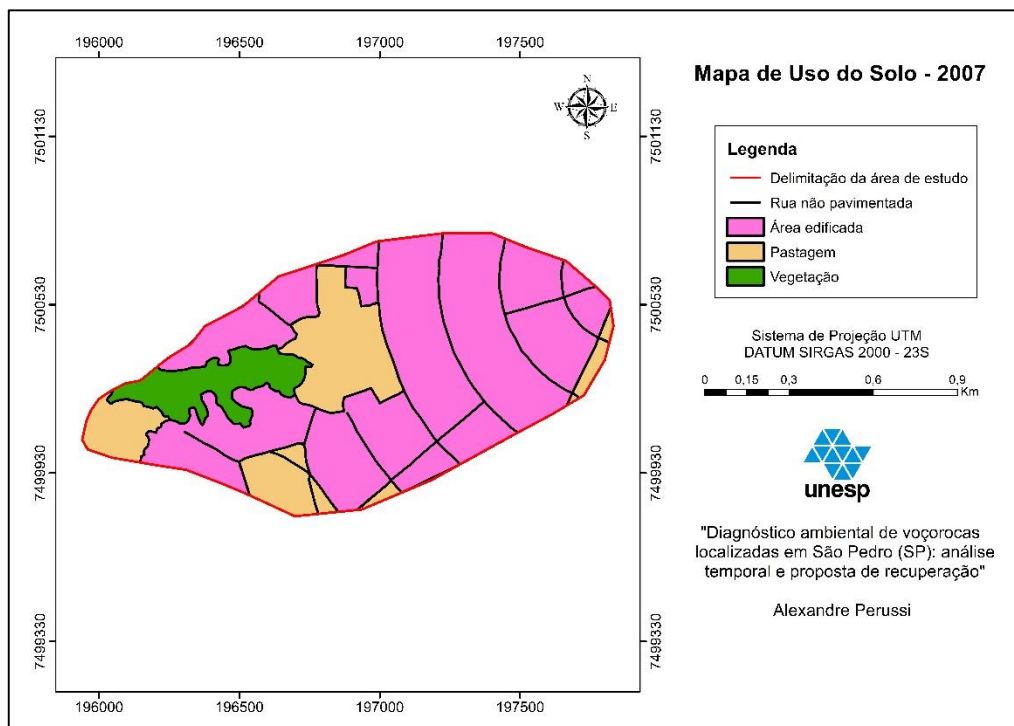
6.9 Mapa de Uso do Solo

Para compreender a dinâmica do uso do solo na área em estudo, realizou-se uma análise temporal considerando os anos de 2007, 2010, 2013, 2016 e 2019. As classes adotadas foram área edificada, pastagem, vegetação e ruas pavimentadas e não pavimentadas.

6.9.1 Mapa de Uso do Solo (2007)

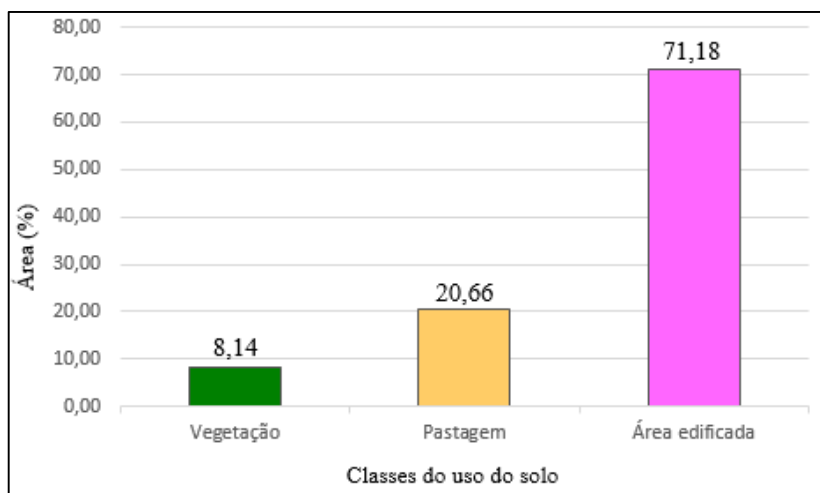
A Figura 28 apresenta o mapa de uso do solo e a Figura 29 o gráfico com os valores percentuais. Os percentuais de cada classe para esse ano foram: área edificada (71,18%); pastagem (20,66%); e vegetação (8,14%). É importante destacar que em 2007 as ruas não eram pavimentadas.

Figura 28 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2007.



Fonte: O autor (2019).

Figura 29 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2007.

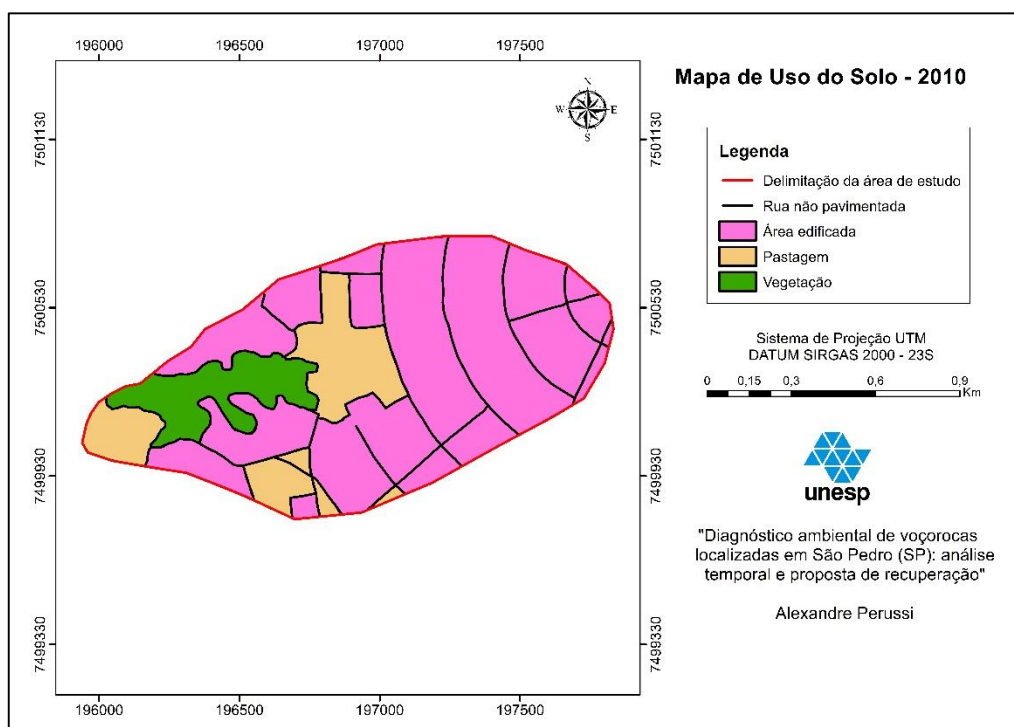


Fonte: O autor (2019).

6.9.2 Mapa de Uso do Solo (2010)

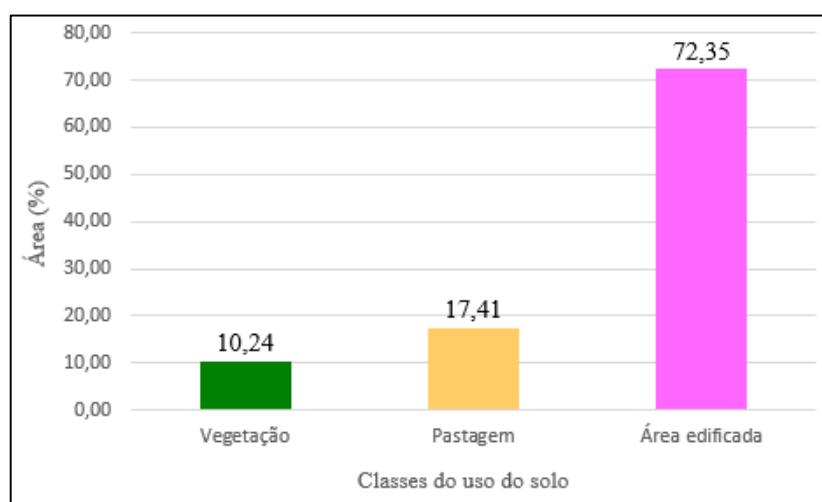
As Figuras 30 e 31 apresentam, respectivamente, o mapa de uso do solo e o gráfico com os valores percentuais. Os resultados obtidos foram: área edificada (72,35%); pastagem (17,41%); e vegetação (10,24%). Em comparação com 2007, notou-se aumento da área edificada e vegetação, e redução da área de pastagem. As ruas também não eram pavimentadas.

Figura 30 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2010.



Fonte: O autor (2019).

Figura 31 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2010.



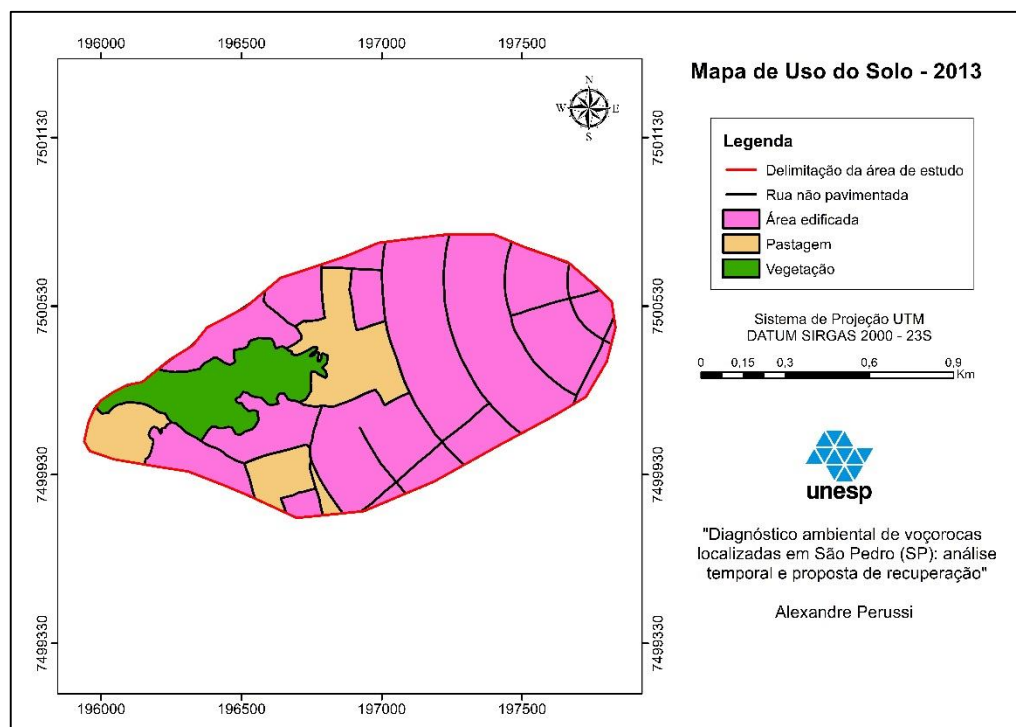
Fonte: O autor (2019).

6.9.3 Mapa de Uso do Solo (2013)

A Figura 32 mostra o mapa de uso do solo de 2013, e a Figura 33 o gráfico com os valores percentuais. Os percentuais de cada classe para esse ano foram: área edificada

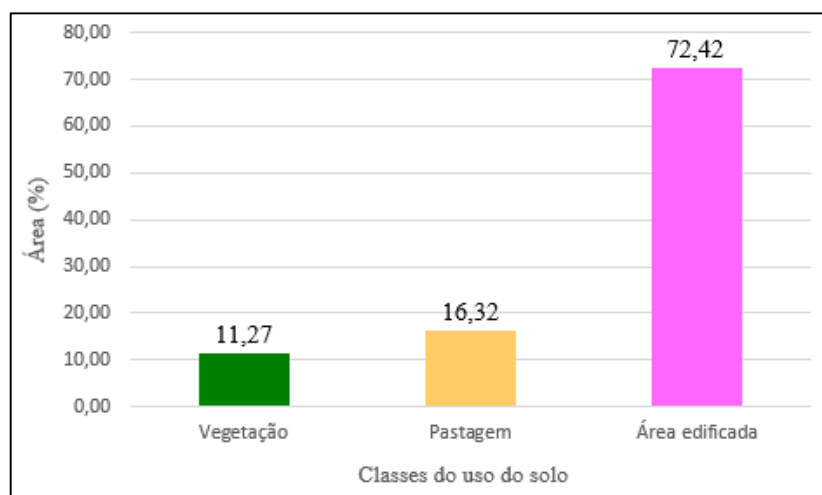
(72,42%); pastagem (16,32%); e vegetação (11,27%). Com relação a 2010, notou-se mais uma vez o aumento da área edificada e vegetação, e queda na pastagem.

Figura 32 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2013.



Fonte: O autor (2019).

Figura 33 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2013.

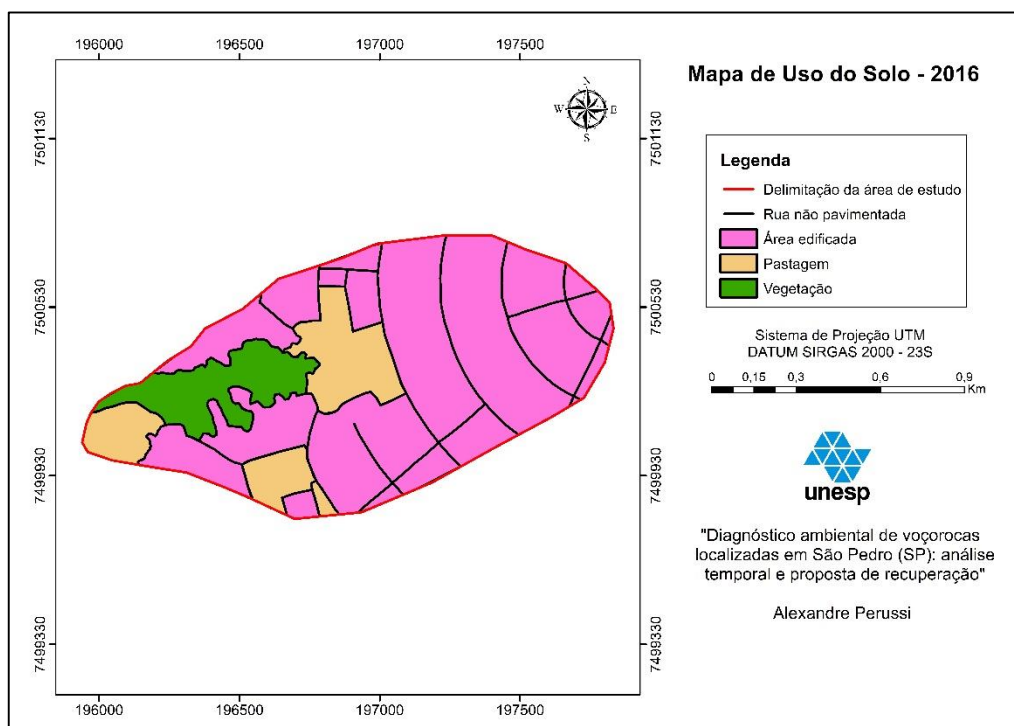


Fonte: O autor (2019).

6.9.4. Mapa de Uso do Solo (2016)

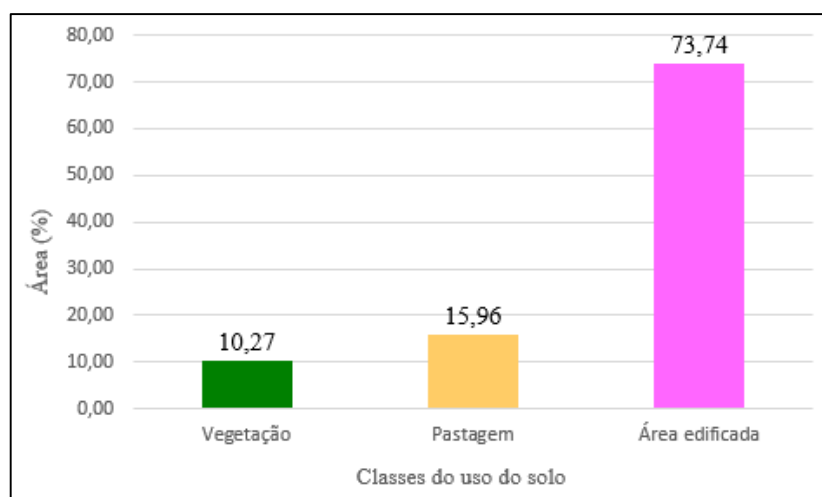
A Figura 34 representa o mapa de uso do solo de 2016, enquanto que a Figura 35 a porcentagem de área das classes. Conforme a Figura 35, os percentuais de cada classe para este ano foram: área edificada (73,74%); pastagem (15,96%); e vegetação (10,27%). Portanto, em relação a 2013, houve aumento na porcentagem de área edificada, e redução das áreas de pastagem e vegetação.

Figura 34 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2016.



Fonte: O autor (2019).

Figura 35 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2016.

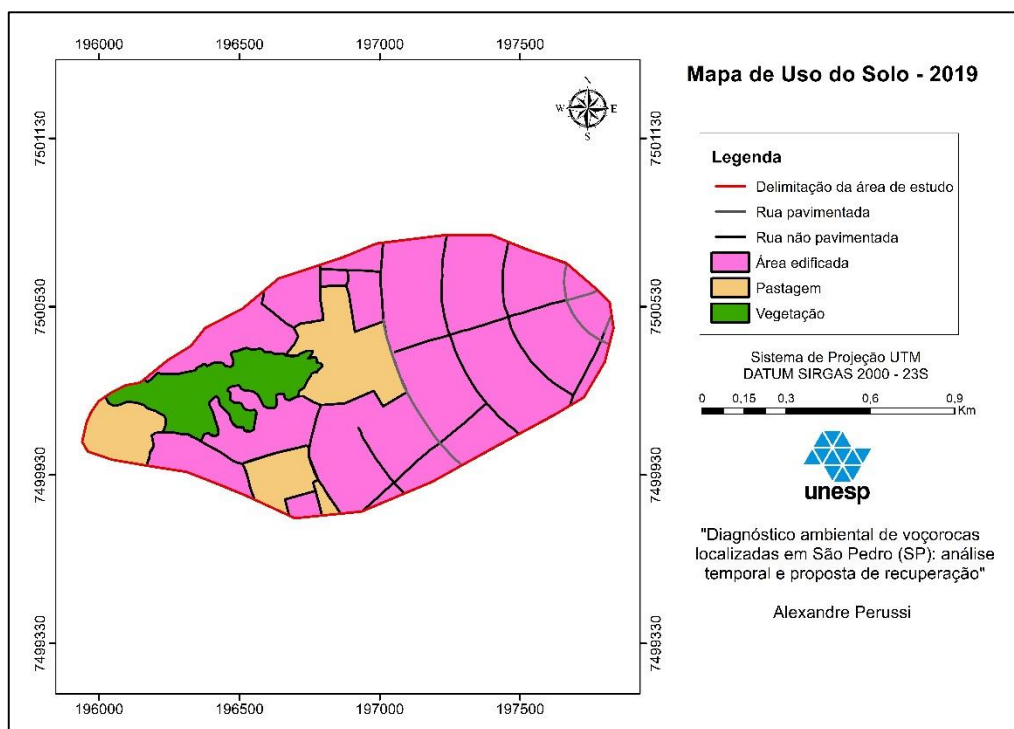


Fonte: O autor (2019).

6.9.5 Mapa de Uso do Solo (2019)

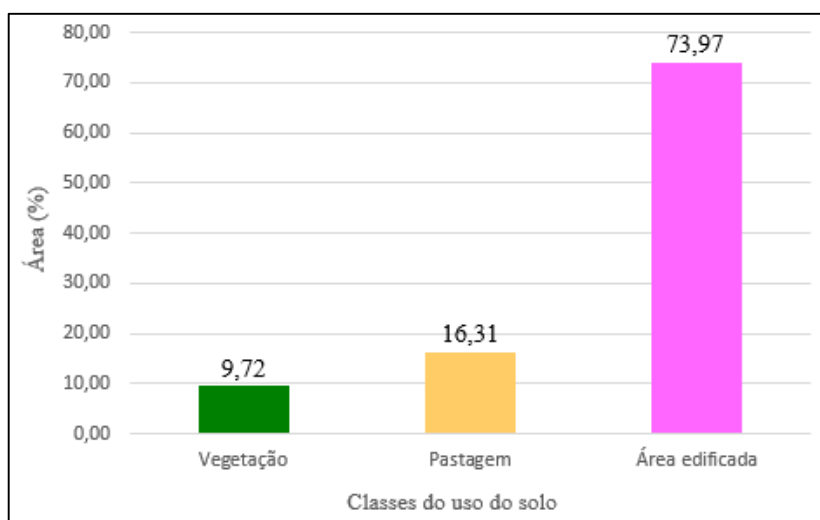
A Figura 36 mostra o mapa de uso do solo em 2019. Neste ano, a área edificada abrangeu 73,97% do total da área de estudo, enquanto a pastagem representou 16,31% e a vegetação 9,72% (Figura 37). Em relação a 2016, pôde-se notar aumento da área edificada e pastagem, e redução da vegetação. É válido ressaltar que neste ano surgiram ruas pavimentadas.

Figura 36 - Mapa de Uso do Solo da área de estudo em 2019.



Fonte: O autor (2019).

Figura 37 - Porcentagem de área de cada classe na área de estudo em 2019.



Fonte: O autor (2019).

A Tabela 8 apresenta uma síntese com os valores percentuais de cada classe para os anos analisados. Nota-se um aumento linear da área edificada para todos os anos, a redução das áreas de pastagem de 2007 a 2016, aumento da área de vegetação em 2010 e 2013, e redução em 2016 e 2019. Em relação às ruas, nas imagens atuais foi possível identificar a presença de ruas pavimentadas.

Tabela 8 - Porcentagem de cada classe na área de estudo ao longo dos anos.

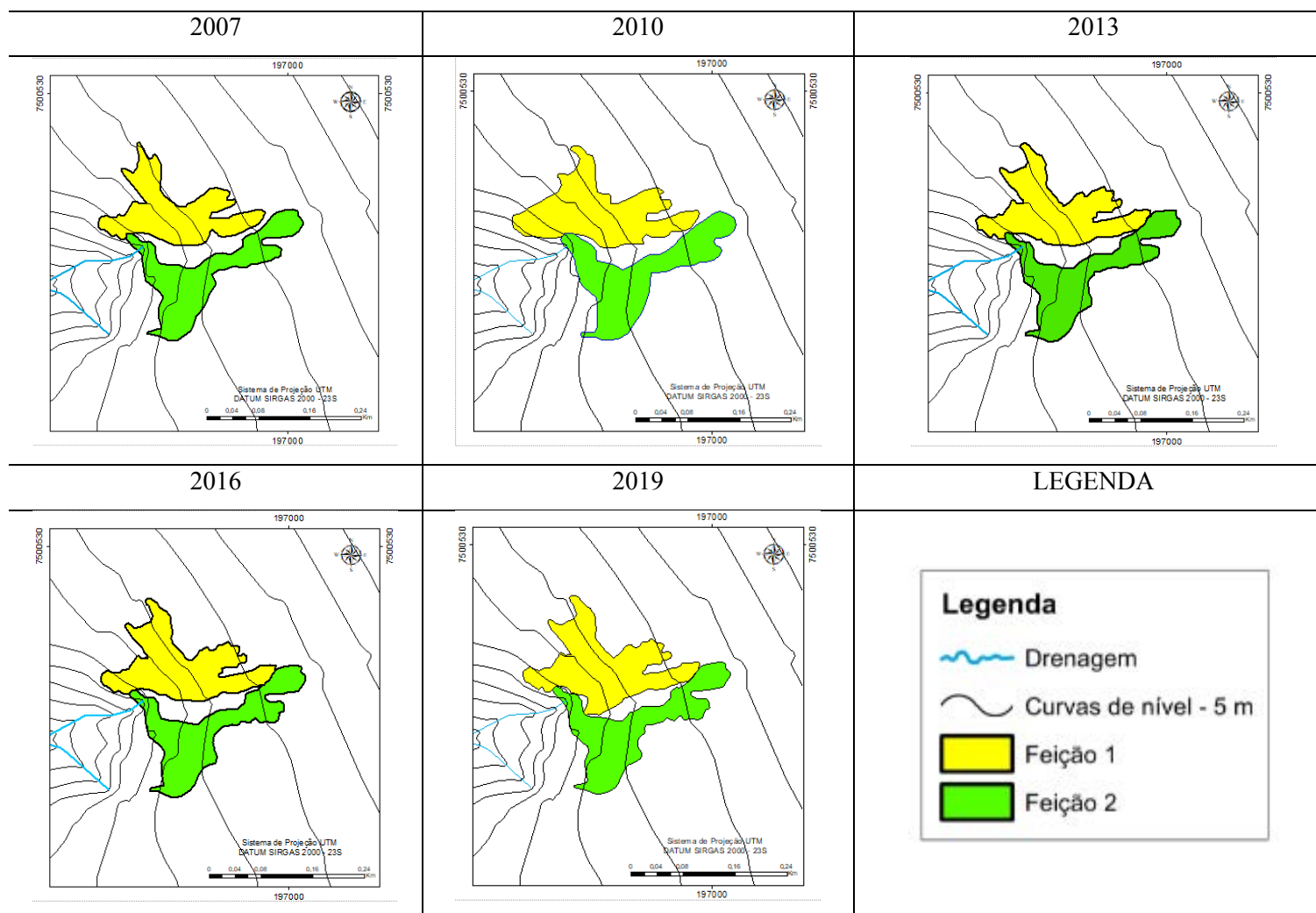
Classes	2007	2010	2013	2016	2019
Área edificada	71,18%	72,35%	72,42%	73,74%	73,97%
Pastagem	20,66%	17,41%	16,32%	15,96%	16,31%
Vegetação	8,14%	10,24%	11,27%	10,27%	9,72%

Fonte: O autor (2019).

6.10 Análise da evolução das erosões

Para compreender a evolução das feições erosivas da área de estudo, realizou-se uma análise comparativa para os anos de 2007, 2010, 2013, 2016 e 2019 (Tabela 9).

Tabela 9 - Evolução das feições erosivas ao longo dos anos.



Fonte: O autor (2019).

A Tabela 10 apresenta uma síntese com a área ocupada por cada feição erosiva e os respectivos anos.

Tabela 10 - Representação das áreas (km²) das duas feições erosivas ao longo dos anos.

	2007	2010	2013	2016	2019
Área Feição 1 (km²)	0,0155	0,0191	0,0173	0,0173	0,0189
Área Feição 2 (km²)	0,0154	0,0174	0,0156	0,0158	0,0163

Fonte: O autor (2019).

Analisando a Tabela 10, nota-se um aumento expressivo para as duas feições erosivas em 2010 quando comparado com 2007, o que pode estar associado a intervenções antrópicas, como aumento da área edificada. Observa-se uma redução para os anos seguintes (2013 e 2016), provavelmente relacionada com a disposição inadequada de resíduos, visando o aterramento de alguns pontos. E em 2019 nota-se novamente um aumento da área ocupada pelas feições, que possivelmente está relacionado com a remoção da cobertura vegetal e presença de ruas pavimentadas, que direcionam o escoamento superficial para pontos críticos da erosão, comprometendo a estabilidade das paredes das voçorocas.

6.11 Fatores condicionantes

Por meio dos resultados obtidos, tanto para o meio físico (fatores naturais) quanto para a dinâmica do uso do solo (fator antrópico), foi possível determinar quais fatores estão associados com a evolução das feições erosivas ao longo dos anos.

6.11.1 Fatores naturais

Diversos fatores foram considerados para avaliar a influência na evolução das feições erosivas ao longo dos anos. O surgimento das voçorocas está relacionado com duas características principais: materiais geológicos e declividade. Conforme Gomes (2002), a presença de materiais inconsolidados transportados da Formação Pirambóia (solos arenosos, com espessura superior a dez metros) associado à inclinação dos terrenos contribuiu de maneira significativa para a ocorrência das erosões em São Pedro (SP). Além disso, a precipitação também é um fator que pode ter relação direta com a evolução das erosões, principalmente quando ocorrem períodos mais chuvosos, como dezembro a março.

6.11.1.1 Declividade

Conforme apresentado no item 5.6, na área em estudo predomina a classe de declividade de 5 a 10%, que correspondem a terrenos inclinados com presença de escoamento superficial com velocidade média/rápida. Sendo assim, esse grau de inclinação do terreno, somado às características do solo, configuram-se um quadro crítico para o desencadeamento de erosões, conforme já relatado por outros autores, como Gomes (2002) e Neves (2017).

6.11.1.2 Chuva

A chuva é um dos principais fatores condicionantes da erosão hídrica. Os problemas de erosão na área em estudo tendem a surgir em períodos mais chuvosos, que geralmente vão de dezembro a março (GOMES, 2002). Isso porque meses com altos índices pluviométricos podem apresentar maior potencial erosivo, o que depende também da intensidade da chuva (mm/min) para um determinado tempo de duração (min).

Considerando o resultado da análise da evolução das erosões e os dados de precipitação média (Tabela 11), não foi possível inferir diretamente a influência da chuva na evolução das feições. Neste contexto, seria fundamental analisar dados pontuais, específicos para a região de São Pedro (SP). No entanto, a partir dos resultados descritos no item 5.8, pode-se afirmar que as voçorocas tendem a evoluir em meses com altos índices pluviométricos, como ocorreu em 2013 e 2016.

Tabela 11 - Representação dos dados da média de precipitação (mm) ao longo dos anos.

	2007	2010	2013	2016	2018
Média (mm)	121,24	86,21	119,30	108,76	104,86

Fonte: O autor (2019).

6.11.2 Fatores antrópicos

Além da influência dos fatores naturais, os fatores antrópicos também foram considerados, visto que o homem é o principal agente responsável pela erosão acelerada. Para isso, utilizou-se como base as mudanças que ocorreram ao longo dos anos, em função do uso do solo.

6.11.2.1 Vegetação

A vegetação atua como principal proteção do solo contra os processos erosivos. Como pode ser visto na Tabela 12, o baixo percentual de cobertura florestal em 2007 e 2019 para uma área extremamente crítica pode ter ocasionado a evolução das feições ao longo dos anos.

É importante destacar que a presença da vegetação em alguns taludes das voçorocas pode contribuir protegendo o solo contra o impacto da gota de água. No entanto, as áreas de cabeceira ainda estão expostas à ação da chuva, pois estão localizadas em área de pastagem, com baixa densidade de vegetação.

Tabela 12 - Representação das áreas (%) de vegetação ao longo dos anos.

	2007	2010	2013	2016	2019
Área (%)	8,14	10,24	11,27	10,27	9,72

Fonte: O autor (2019).

6.11.2.2 Área edificada

Como pode ser visto na Tabela 13, houve um aumento linear da área edificada no local de estudo. Entretanto, a expansão da área urbana ao longo dos anos foi feita sem planejamento, ou seja, houve construção inadequada de ruas, sem medidas estruturais. Através de observações em campo foi possível notar que algumas ruas foram pavimentadas, mas não foram construídas obras de drenagem em pontos estratégicos, como em áreas de cruzamento, para evitar a concentração da água pluvial. Estas características comprometem a dinâmica do escoamento superficial na área e, portanto, contribuem para a evolução dos processos, gerando erosões aceleradas com alto índice de criticidade.

Ressalta-se que o processo de ocupação inadequado em São Pedro (SP) já foi identificado em outros trabalhos. Gomes (2002), por exemplo, cita que a retirada da cobertura vegetal e a construção inadequada de estradas causou processos erosivos extremamente críticos, que impactaram diretamente os recursos hídricos.

Tabela 13 - Representação das áreas (%) de área edificada ao longo dos anos.

	2007	2010	2013	2016	2019
Área (%)	71,18	72,35	72,42	73,74	73,97

Fonte: O autor (2019).

6.12 Recomendações de técnicas de recuperação

O diagnóstico atual da área aponta para feições erosivas com problemas a serem solucionados. Há o risco de assoreamento dos corpos hídricos devido ao aporte de sedimentos, pois trata-se de uma área de pastagem com baixa densidade de vegetação; expansão das áreas urbanas de maneira inadequada sem obras de microdrenagem, associadas ao solo arenoso da

Formação Pirambóia, favorecem a evolução das voçorocas; e presença de áreas com possíveis riscos de deslizamento devido às paredes instáveis dos taludes.

No local de estudo ainda ocorre o depósito de resíduos de construção civil e poda na cabeceira da Feição 1 (aterramento inadequado) (Figura 38) e as paredes da Feição 2 encontram-se instáveis, o que representa risco de reativação do processo erosivo (Figura 39).

Figura 38 - Depósito de resíduos de construção civil e poda na cabeceira da Feição 1.



Fonte: O autor (2019).

Figura 39 - Paredes instáveis da Feição 2.



Fonte: O autor (2019).

Dessa forma, as técnicas de recuperação escolhidas para a área de estudo tiveram como base o diagnóstico ambiental considerando os principais aspectos do meio físico e antrópico, no sentido de respeitar as especificidades do local. Além disso, a seleção dos métodos de recuperação foi pautada visando a provável eficácia que as medidas terão para corrigir e estabilizar as degradações ambientais, sempre com o intuito de conciliar os aspectos econômicos e sociais junto com os ambientais. O objetivo principal da escolha das técnicas de recuperação foi estabilizar a área, com o propósito de evitar o avanço das feições erosivas. Considerando a situação atual das feições e o custo inerente à execução, não é viável realizar obras complexas, como por exemplo retaludamento e aterramento. Portanto, as soluções mais viáveis devem ser pautadas na prevenção.

Para isso, conforme descrito na Tabela 14, é fundamental considerar medidas que favoreçam a proteção do solo (revegetação) no entorno das feições, e técnicas estruturais que direcionem o escoamento superficial para outros locais, evitando a concentração do fluxo em pontos críticos das feições e o possível avanço das cabeceiras. Considerando ainda que se trata de um processo erosivo associado com o canal de drenagem, é fundamental adotar medidas ecológicas e economicamente viáveis que atendam não só o objetivo de proteger o solo e evitar a erosão, como também atendam a obrigatoriedade de proteger as áreas de preservação permanente, conforme a Lei Florestal nº 12.651/2012.

As medidas de recuperação propostas estão descritas na Tabela 14, que é baseada em Rotta & Zuquette (2012). A Recuperação está representada pela letra “R”; “M” significa Mitigação; e “P” significa Prevenção.

Tabela 14 - Medidas de recuperação utilizadas na área de estudo.

Tipos de medidas	Medidas utilizadas	R	M	P
Ecológicas	Revegetação	X	X	X
Estrutural (obras de microdrenagem)	Bocas de lobo	X	X	X
	Galerias	X	X	X

Fonte: Adaptado de Rotta & Zuquette (2012).

A distribuição das técnicas de recuperação na área degradada está representada na Figura 40.

Figura 40 - Técnicas de recuperação adotadas para a área degradada.



Fonte: Adaptado de *Google Earth Pro* (2019).

6.12.1 Revegetação

A revegetação tem como objetivo garantir a cobertura vegetal do solo, proteger contra o impacto direto das gotas de chuva (*splash*), reduzir a energia do fluxo d'água que é transportado por escoamento superficial, aumentar a taxa de infiltração e retenção de água pelo solo e garantir estabilidade do solo devido à formação de compostos húmicos. Além disso, serve como proteção ao corpo hídrico, evitando o assoreamento e, conseqüentemente, a deterioração da qualidade da água superficial. Sendo assim, a área escolhida para revegetação foi no entorno das feições erosivas.

Uma das formas de realizar a revegetação no local é favorecer a sucessão ecológica das espécies. Poderiam ser utilizadas espécies pioneiras de rápido crescimento (ex: gramíneas) associado com espécies secundárias (ex: arbustos) e clímax (árvores de grande porte).

A Tabela 15 apresenta uma descrição de algumas espécies que podem ser utilizadas em áreas degradadas, para favorecer a proteção inicial do solo.

Tabela 15 - Exemplos de espécies para serem plantadas em áreas degradadas.

Nome científico	Nome comum	Espécie	Tempo de Formação
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária	Leguminosa	60 a 90 dias
<i>Medicago sativa</i>	Alfafa	Leguminosa	100 a 120 dias
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	Leguminosa	120 a 150 dias
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	Leguminosa	120 a 150 dias
<i>Vetivera zinzanioides</i>	Vetiver	Gramínea	60 a 90 dias
<i>Paspalum notatum</i>	Grama Batatais	Gramínea	90 a 120 dias

Fonte: Adaptado de Pereira (2006).

Entre os modelos de plantio existentes para a área degradada, Almeida (2016) recomenda o plantio em linhas alternadas para áreas maiores, pois é economicamente viável, se mostra prático e permite a combinação de espécies, favorecendo o processo da restauração ecológica (Figura 41). Segundo o autor, o modelo consiste em plantar uma linha de espécies pioneiras e outra linha com espécies não pioneiras, correspondendo a 50% das mudas. A seleção e quantidade de mudas deve ser realizada com base em estudos florísticos e fitossociológicos. Segundo a EMBRAPA (2019), os espaçamentos mais usuais são 2x2 m (2500 plantas/ha) e 3x2 m (1667 plantas/ha), o plantio é realizado com mudas e o controle de gramíneas e espécies indesejáveis é feito no mínimo por dois anos.

Figura 41 - Modelo de plantio em linhas alternadas.



Fonte: Adaptado de Almeida (2016) e EMBRAPA (2019).

Outra técnica de recuperação complementar à revegetação que poderia ser utilizada em conjunto seria o plantio em contorno, com semeadura direta ou plantio de mudas de espécies arbóreas nativas ao redor das feições erosivas. Segundo Zonta *et al.* (2012), essa prática, quando associada com outras técnicas, é fundamental para o controle da erosão, pois atua como barreira para o escoamento superficial.

6.12.2 Obras de microdrenagem

O sistema de drenagem caracteriza-se por um conjunto de infraestrutura de coleta, transporte e lançamento final das águas superficiais. Segundo Rotta (2012), estas estruturas são fundamentais para o controle da erosão, pois evitam que o escoamento superficial ocorra diretamente sobre o solo.

As obras de microdrenagem contariam com a instalação de bocas de lobo e galerias para evitar o acúmulo de água nas porções mais baixas do terreno e, conseqüentemente, o avanço das erosões. As bocas de lobo devem ser localizadas em pontos específicos, com o objetivo de captar a água pluvial, conduzindo adequadamente as vazões superficiais para as galerias (ROTTA, 2012). É importante destacar que a implantação de um sistema de drenagem demanda um estudo detalhado, com planta em escala de detalhe (1:2000), com informações dos divisores de bacia, áreas de contribuição e trechos de escoamento (BIDONE & TUCCI, 1995).

6.12.3 Uso futuro da área

O tipo de recuperação indicado para a área de estudo teria como objetivo principal atribuir uma nova forma de uso do solo, ou seja, reabilitar a área degradada. O intuito é transformar o local em um Centro de Educação Ambiental. É preciso sensibilizar a comunidade da região por meio de práticas de educação ambiental, de modo a compreender a importância de não descartar resíduos sólidos ou outros objetos no entorno e dentro das voçorocas, além de preservar a vegetação tendo em mente seus benefícios para o solo, e para a proteção dos canais de primeira ordem. Assim como foi feito no projeto Maria de Barro, a realização de cursos, oficinas, palestras e visitas ao local degradado mostram-se necessárias para que haja o envolvimento da população e para que entendam a verdadeira dimensão dos prejuízos causados pelas áreas degradadas por erosão.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo analisar, de forma temporal, a influência dos fatores condicionantes na evolução das duas feições erosivas localizadas no município de São Pedro (SP) e propor soluções quanto à recuperação.

A utilização de técnicas de geoprocessamento foi imprescindível para a análise quantitativa das mudanças que ocorreram na área de estudo ao longo dos anos. Através do *software* ArcGis 10.5 foi possível produzir novos mapas e quantificar os atributos analisados.

Na análise dos fatores condicionantes, foram considerados os naturais e antrópicos que contribuíram para a evolução das voçorocas, foram eles: declividade, chuva, vegetação e área edificada. Os índices pluviométricos em 2013 provavelmente estão associados com a evolução das voçorocas ao longo deste ano. Quanto à declividade, o predomínio de terreno inclinado, geralmente com relevo ondulado e com velocidade de escoamento superficial média/rápida contribuiu para o surgimento e evolução das voçorocas.

Em relação à vegetação, esta apresentou baixo índice de cobertura vegetal nos anos de 2007 e 2019, proporcionando a possível evolução devido à ausência de proteção do solo nos taludes. Por fim, em relação à área edificada, foi possível notar um aumento contínuo em seus percentuais ao longo dos anos, representando maior influência da ação antrópica no meio devido principalmente à ausência de obras de planejamento.

As técnicas de recuperação utilizadas tiveram como objetivo principal conter o avanço das feições erosivas. Sendo assim, as técnicas de recuperação escolhidas foram: revegetação (ecológica) e instalação de bocas de lobo e galerias (obras de microdrenagem). Além disso, considerando o estágio atual das erosões e as práticas irregulares que ocorrem hoje na área, o projeto de recuperação teria como enfoque principal a reabilitação do local. Ou seja, a área hoje degradada poderia se tornar um Centro de Educação Ambiental, onde seriam realizadas práticas de educação ambiental, conciliando não só a estabilidade dos processos erosivos atuais, como também práticas socioambientais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13030: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Rio de Janeiro, 1999.

ALMEIDA, D. S. **Modelos de recuperação ambiental**. In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica. Ilhéus, BA: Editus, pp. 100-137, 2016.

AMARAL, R.; GUTJAHR, M. R. **Desastres naturais**. São Paulo, 94p. 2014.

ARAUJO, M. G. C. **Classificação, evolução e controle das feições erosivas na área de implantação do bairro Jardim Botânico - São Pedro (SP)**. 2008. 141 f. TCC (Graduação) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BERTONI, J.; NETO, L. F. **Conservação do Solo**. Piracicaba, SP: Editora Livroceres, 392 p. 1985.

BIDONE, F.; TUCCI, C. E. M. **Microdrenagem**. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, p. 77-106, 1995.

BITAR, O. Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, 247 p. 1995.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. Defining and debating the problem. In: BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. (editores). **Land degradation and society**. Estados Unidos e Canadá: Routledge, 299 p. 1987.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

BRASIL. **Decreto Federal nº 97.632**, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências, Brasília, 1989.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. **Lei Florestal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. 2018. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_566.html>. Acesso em: 12 ago. 2018.

COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. **Parque Metropolitano do Iguaçu: Minerações de areia no combate a enchentes**. Areia e brita, São Paulo: ANEPAC, n.5, p.12-17, abr/jun. 1998.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia para avaliação do potencial de contaminação em imóveis**. São Paulo: CETESB, 2001.

DANTAS-FERREIRA, M. **Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação – Córrego do Tucum (São Pedro/SP)**. 2004. 171 f. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

DAEE/IPT (1989). **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas**. São Paulo. 2ª edição, 92 p. 1989.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Argissolos**. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html>. Acesso em: 10 set. 2018.

EMBRAPA. **Estratégias de recuperação**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/estrategias-e-tecnicas-de-recuperacao>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Latossolos**. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 10 set. 2018.

EMPLASA – **Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano**. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

FACINCANI, E. M. **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro/SP: proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos**. 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

FILHO, G.S.A. Controles de erosão. **Fundações & Obras Geotécnicas**, São Paulo, p.72-83, 2015.

FONTANAILLES, G. **Solos: práticas agrícolas e os problemas ambientais no mau uso dos solos no Brasil e no mundo**. 2013. Disponível em: <<https://geografalando.blogspot.com/2013/05/solos-praticas-agricolas-e-os-problemas.html>>. Acesso em: 21 maio 2019.

FOURNIER, F. **Climat et érosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques**. Paris: Presses Universitaires de France, 201p. 1960.

GALETI, P. A. **Conservação do solo: reflorestamento e clima**. 2. ed. Campinas: Instituto campineiro de Ensino Agrícola, 1979.

GOMES, D. M. **Mapeamento geotécnico para análise de feições erosivas concentradas na Bacia do Ribeirão do Meio, São Pedro/SP, na escala 1:20.000.** 2002. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2002.

GRAMINHA, C. A. **Caracterização morfológica, química e mineralógica de microagregados de um latossolo roxo de Iracemápolis, SP e de Pelotas produzidas por cupins.** 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GUERRA, A.J.T.; Processos erosivos nas encostas. In. GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. (p.149-209). 345p. 1994.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos.** Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, v. 19, n. 7, p.93-114, nov. 1996.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 2ª edição, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 339 p. 2005.

GUERRA, A.J.T. **O Início do Processo Erosivo.** In: Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações. Orgs. A.J.T. GUERRA; A.S. SILVA; R.G.M. BOTELHO. Editora Bertrand Brasil, 3ª edição, Rio de Janeiro, p.15-55, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística Populacional São Pedro.** 2018. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=3550407>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo. Disponível em: <<http://pesquisa.icea.gov.br/climatologia/>> Acesso em: 8 jun. 2019.

IENSEN, R. E. **Relação entre erosão e declividade e as consequências erosivas na área do Morro Cerrito em Santa Maria - RS.** 2006. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. 1970. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

JOHNSON, D.N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E.; SAUL, M.; JOHNSON, D.L.; AM-BROSE, S.H.; BASSETT, T.J.; BOWEN, M.L.; CRUMMEY, D.E.; ISAACSON, J.S. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, v.26, n.3, p.581-589, 1997.

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management**. Nova York: McGraw-Hill, 580 p. 1990.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

LUIZ, S.; SANTOS, A. R. S.; BRENNER, T. L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, p. 581-587, 21-26. abr. 2007.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion and Conservation**. Longman Group, Inglaterra, 298p. 1986.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion and Its Control**. Nova York: van Nostrand Reinhold Company, 336 p. 1986.

MOSS, A.J.; GREEN, P.; HUTKA, J. **Small channels their formation, nature and significance**. *Earth Surface Processes and Landforms*. 7, p. 401-415, 1982.

NEVES, M. P. **Análise dos processos erosivos na bacia do Córrego do Meio - Município de São Pedro (SP): Estudo do desencadeamento das erosões**. 2017. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. **The extraction of drainage networks from digital elevation data**. Camberra, Australia. 22 p. 1984.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP, escala 1:100000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos**. 1992. 224f. 2v. (Tese de Doutorado), EESC – USP, São Carlos, 1992.

PMSB – **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Prefeitura Municipal de São Pedro (SP). 2013. Disponível em: < <https://www.saopedro.sp.gov.br/>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Viçosa, 2006.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J. R. **Modelos de Predição de Perdas de Solo: Uma ferramenta para Manejo e Conservação do Solo**. Inf. Agropecuário 11(128), Belo Horizonte, p. 38–53, 1985.

RIBEIRO, M. T. F.; FERREIRA, V. M.; FERREIRA, R. R. M. Diálogos socioambientais: a experiência do projeto Maria de Barro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, n. 22, p.83-98, jul./dez. Editora UFPR. 2010.

RICCIARDI, C.T.R.; SÁNCHEZ, E.L. **Reabilitação e Novo Uso de Áreas Mineradas: Um apanhado de alguns casos em São Paulo**. Areia e Brita, São Paulo: ANEPAC, n. 27, p. 26-34, 2004.

ROTTA, C. M. dos S. **Estudo da recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: procedimentos e eficiência dos métodos**. 2012. 168 f. Dissertação - Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ROTTA, C. M. S.; ZUQUETTE, L. V. Estudo da recuperação de áreas degradadas por erosão no Município de Franca, São Paulo, Brasil. **Revista de Geologia Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**, Buenos Aires, n. 29, p.41-58, 2012.

SAMANI, A. N.; AHMADI, H.; JAFARI, M.; BOGGS, G.; GHODDOUSI, J.; MALEKIAN, A. **Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed)**. Journal of Asian Earth Sciences [S.I.], v. 35, p. 180-189, 2009.

SANCHEZ, M. C. **Os municípios de São Pedro e Charqueada: aspectos de sua geografia agrária**. 1969. 135 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Rio Claro, 1969.

SANCHEZ, M. C. **Contribuição ao conhecimento das bases naturais dos municípios de São Pedro e Charqueada (S.P)**. Notícia geomorfológica. Campinas, v.11, n. 21-22, p.47-60, 1971.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 495 p. 2008.

WILLIAMS, D. D.; BUGIN, A.; REIS, J.L.B.C. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação**. Brasília: MINTER/Ibama. 96p, 1990.

WU, F.; CHANG, M. R. C. Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste do estado de São Paulo. **Revista IG**, São Paulo, p.58-68, jun. 1992.

YOUNG, R.A.; WIERSMA, J.L. **The role of rainfall impact in soil detachment and transport**. *Water Resources Research*, Washington, v.9, n.6, p.1629-36, 1973.

ZONTA, J.H.; SOFIATTI V.; COSTA A.G.F.; SILVA O.R.R.F.; BEZERRA J.R.C.; SILVA C.A.D.; BELTRÃO N.E.M.; ALVES I.; JÚNIOR A.F.C.; CARTAXO W.V.; RAMOS E.N.; OLIVEIRA M.C.; CUNHA D.S.; MOTA M.O.S.; SOARES A.N.; BARBOSA H.F.; **Práticas de Conservação de Solo e Água. Circular Técnica**, Campina Grande, p.1-24, 2012.

ZUQUETTE, L. V.; RODRIGUES, V. G. S.; PEJON, O. J. **Recuperação de Áreas Degradadas**. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 592 e 594. 2013.