

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS NA REGIÃO DE ITAQUERI, SP.

Aluno: Juliana Jovanini Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram a concluir essa etapa da melhor maneira possível.

Ao Professor Lázaro Valentin Zuquette, pela orientação, ajuda e ensinamentos.

À todos da Geotecnia, sobretudo do Mapeamento, pelo apoio nas dúvidas que surgiam, amizade e brincadeiras, que ajudavam na descontração. Principalmente à Claudinha, companheira de campo.

À minha família, principalmente à minha mãe, pelo apoio em todos os momentos, à minha irmã, que sempre ligava pra saber como estava meu trabalho, e à minha sobrinha, que mesmo pequena e sem usar palavras, me trazia alegria nas horas que precisava.

Ao Giácomo P. Righi e todos do “Persoras”, que me acompanharam, ajudaram e apoiaram em inúmeros momentos dessa etapa.

E ao CNPq, pela bolsa concedida.

RESUMO

GONÇALVES, J. J. **Avaliação de degradação das águas superficiais na região de Itaqueri, SP.** 2011. f. Monografia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Este trabalho consiste no estudo da degradação das águas superficiais da região da Serra de Itaqueri, no estado de São Paulo. Para isso, o georreferenciamento de cartas é uma ferramenta muito útil no auxílio ao gerenciamento ambiental e para a localização exata de informações necessárias. Nesse contexto, o presente estudo visou à criação de um banco de dados digital para mapeamento da região, no qual foi utilizado o programa ArcGis e o programa ENVI para ortorretificação das fotos aéreas, de vôos aéreos de 1988 e 2006, gerando um mosaico para cada voo. A partir do banco de dados foi feita uma análise da densidade de drenagem para os diferentes mosaicos criados, avaliando as modificações ocorridas. Também foram feitas análises da água de poços e minas distribuídas em toda extensão da região. Para a região em estudo, nota-se uma degradação dos corpos hídricos e águas superficiais, resultando em uma redução no número de canais, no volume de água e na densidade de drenagem.

Palavras-Chave: Degradação ambiental, Drenagem superficial, Água superficial, Serra do Itaqueri – SP

ABSTRACT

GONÇALVES, J. J. Evaluation of surface water degradation in the region of Itaqueri, SP, Brazil. 2011. f. Monografia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

This work is a study of environmental degradation of surface water in the region of Serra de Itaqueri in the state of São Paulo, Brazil. For this study, the georeferencing of charts and map is a very useful tool to aid the environmental analyses and the exact location of the information. In this sense, it was created a digital database for mapping the region and it was used the software ArcGIS and ENVI, for orthorectification of the aerial photos for 1988 and 2006 years, generating mosaics . Using the database, was made an analysis of drainage density for the different mosaics created by comparing the changes. Also, it was analyzed the water from wells and springs distributed on the region. For the region under study, there is a degradation of rivers and surface waters, resulting in a reduction in the number of channels, in the volume of water and in the drainage density.

Key-Words: Environmental degradation, Surface drainage, Surface water, Serra do Itaqueri – SP, Brazil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atividades que geram impacto ambiental e tipos de degradações associadas (modificado de Pons, 2006).	27
Tabela 2 - Mecanismos de influência da vegetação na estabilização de taludes (Fonte: NISHIYAMA, 1998).	35
Tabela 3 – Lista de geoindicadores (Fonte: traduzida de Berger, 1996).	40
Tabela 4 - Principais métodos utilizados na identificação direta e indireta de feições erosivas (SOUZA, 2001 apud FERREIRA, 2004).	44
Tabela 5 –Dados dos cursos d’água jacaré-pepira e Jacaré-Guaçu (FONTE: DAEE, 2000)	52
Tabela 6 - Nome e localização dos postos pluviométricos.	53
Tabela 7 - Total precipitado para os anos de 1988 e 2000 para o posto pluviométrico de São Pedro e para o primeiro semestre de 2006 para o Posto pluviométrico de Itirapina.	55
Tabela 8 - Esquema de cartas na escala 1:10.000 utilizado na montagem do mosaico.	59
Tabela 9 - Pluviosidade referente aos meses de Janeiro a Agosto de 2011.	71
Tabela 10 - Tabela com a pluviosidade para 3 horas (da 1:00 as 3:00) do dia 6/01/2001....	72
Tabela 11 - Tabela com a classe de declividades utilizada para a confecção do mapa de declividade e porcentagens de cada classe.	73
Tabela 12 - Tabela com as ordens dos rios e quantidade de segmentos observados obtidos pela análise de fotos aéreas de um vôo de 1988.	75
Tabela 13 - Tabela com as ordens dos rios e quantidade de segmentos observados obtidos pela análise de fotos aéreas de um vôo de 2006.	75

Tabela 14 - Tabela com os pontos levantados para coleta de água e localização.....	76
Tabela 15 - Tabela com o resultado das análises Fisico-químicas.	78
Tabela 16 – Condutividade para uma temperatura de referência de 20°C (FONTE: BATISTA E FILIPE, 2007).....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo hidrológico (modificado de http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html).	19
Figura 2: Classificação da ordem dos canais segundo a hierarquia de Strahler (1994).....	21
Figura 3: Esquema para aquíferos granulares (a), fissurais (b) e cársticos (c) (FONTE: Fagundes, 2007).	23
Figura 4: Componentes do balanço hidrológico próximo a superfície (FONTE: NISHIYAMA, 1998).	32
Figura 5: Formas de encostas, modificada de Ruhe (1975) apud Souza (2001).....	33
Figura 6: Comparação esquemática de ciclos hidrológicos em encostas não vegetadas (a) e vegetada (b) (modificado de GREENWAY, 1990 apud NISHIYAMA, 1988).	36
Figura 7: Localização da área de estudo (em vermelho).	48
Figura 8: Microbacias da região em estudo, rios em destaque (FONTE: SOS Mata atlântica e FEHIDRO, 2005).	51
Figura 9 : Gráfico com os valores para o ano de 1988, de Janeiro a Dezembro, para o posto localizado no município de São Pedro.....	53
Figura 10 : Gráfico com os valores para o ano de 2000, de Janeiro a Dezembro, para o posto localizado no município de São Pedro.....	54
Figura 11 : Gráfico com os valores para o ano de 2006, de Janeiro a Junho, para o posto localizado no município de Itirapina.....	54

Figura 12: Vegetação da região em estudo (FONTE: SOS Mata atlântica e FEHIDRO, 2005).	56
Figura 13: Fluxograma das atividades executadas.....	58
Figura 14: Primeiro pluviógrafo IRRIPLUS instalado, na latitude de 22°26'03,46'' S, longitude 47°54'49.21'' W e altitude de 948 metros, no bairro do Palmital.....	61
Figura 15: Segundo pluviógrafo IRRIPLUS instalado, na latitude 22°25'35'' S, longitude 47°59'13'' W e altitude de 825 metros.....	62
Figura 16: Funcionamento interno do pluviógrafo IRRIPLUS.	63
Figura 17: Estrutura do software para auxilio na obtenção dos dados.	63
Figura 18: Instrumento para medição da profundidade dos poços com galvanômetro acoplado. (instrumento desenvolvido pelo técnico Antonio Garcia do laboratório de Geotecnia da Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo).....	65
Figura 19: Armazenamento das amostras.....	66
Figura 20: Instrumento para retirada de amostra dos poços (instrumento desenvolvido pelo técnico Antonio Garcia do laboratório de Geotecnia da Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo)	66
Figura 21: Peagâmetro utilizado em laboratório para medição do pH.	68
Figura 22: Instrumento para medição do potencial de oxi-redução da solução (Eh).....	69
Figura 23: Condutivímetro utilizado para medição de condutividade elétrica.....	69
Figura 24 : Gráfico com os valores de precipitação para Janeiro a Agosto de 2011.....	71

SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
2	Objetivos	17
3	Revisão bibliográfica.....	18
3.1	Dinâmica da água no solo.....	18
3.2	Águas superficiais.....	20
3.3	Águas subterrâneas	21
3.4	Exploração de recursos hídricos	24
3.5	Solos	24
3.6	Impactos das modificações da cobertura vegetal, ação antrópica e áreas degradadas 25	
3.7	Tipos de degradação	27
3.7.1	Erosão	28
3.7.1.1	Erodibilidade.....	29
3.7.1.2	Erosividade	30
3.7.1.3	relevo.....	32
3.7.1.4	Cobertura vegetal.....	34
3.7.2	Alteração dos solos.....	37
3.7.3	Mudança da cobertura vegetal e alterações no ciclo hidrogeológico	37
3.7.4	Degradação da dinâmica da água	39
3.8	Métodos de estudo da degradação e suas classificações	39

3.9	Características gerais da região da Serra do Itaqueri.....	47
3.9.1	Geologia.....	48
3.9.1.1	Formação Itaqueri	49
3.9.1.2	Formação Botucatu	49
3.9.1.3	Formação Serra Geral	49
3.9.1.4	Formação Pirambóia	50
3.9.2	Pedologia	50
3.9.3	Declividade	50
3.9.4	Aspectos Fisiográficos.....	51
3.9.4.1	Climáticos	51
3.9.4.2	Hidrológicos.....	51
3.9.4.3	Pluviométricos	52
3.9.4.4	Vegetação nativa, uso e ocupação	55
4	Materiais e métodos.....	57
4.1	Composição da base de dados	58
4.2	Levantamento de dados pluviométricos	60
4.3	Mapa pedológico, de substrato rochoso e de materiais inconsolidados	64
4.4	Levantamento da ordem dos canais	64
4.5	Levantamento de poços e minas	64
4.6	Amostragem da água	65
4.7	Análises químicas	67
5	Resultados	70

5.1	Localização da área de estudo	70
5.2	Características básicas	70
5.2.1	Chuva.....	70
5.2.2	Documentos cartográficos	73
5.2.2.1	Carta de declividade.....	73
5.2.2.2	Mapa pedológico.....	73
5.2.2.3	Materiais inconsolidados	74
5.2.2.4	Substratos rochosos.....	74
5.2.3	Hidrografia.....	74
5.3	Resultados específicos	74
5.3.1	Áreas.....	74
5.3.1.1	Drenagem - 1988.....	74
5.3.1.2	Drenagem - 2006.....	75
5.3.2	Análises químicas	76
6	Propostas de recuperação	80
7	Conclusões.....	81
	Referencias Bibliográficas	82

Apêndice A - Imagem aérea atual/mapa de localização da área escolhida com a localização dos pluviógrafos, curvas de nível, rede de drenagem e vias de acesso.

Apêndice B - Carta de declividade da região com intervalo de <2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20% e > 20%.

Apêndice C - Mapa pedológico

Apêndice D - Mapa de materiais inconsolidados

Apêndice E - Mapa de substrato rochoso

Apêndice F - Mapa da rede de drenagem – 2006

Apêndice G - Mapa da rede de drenagem – 1988

Apêndice H - Mapa com a localização dos poços e minas estudados

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para o Homem. Não só pela necessidade do consumo, mas também pela sua utilização na produção de alimentos, na indústria ou mesmo no lazer. Atualmente, muitas comunidades e proprietários de terras reclamam da diminuição do volume de água nos corpos hídricos de suas propriedades. Na região da Serra do Itaqueri, que é bastante explorada pelo turismo, esse problema é frequentemente apontado pelos moradores, muitos deles donos de pousadas e estâncias turísticas, que alegam que algumas décadas atrás o volume d'água era de duas a três vezes maior que o atual.

A quantidade e a qualidade das águas superficiais e subsuperficiais de uma bacia hidrográfica podem ser alteradas por diversos fatores, destacando-se a declividade, o tipo de solo, o uso da terra, principalmente nas áreas de recarga. Assim, faz-se necessário o estudo de todas essas características, juntamente com as mudanças de cobertura vegetal e do uso e ocupação ao longo do tempo, ocasionadas, principalmente, pelas ações antrópicas.

A degradação de áreas importantes para a manutenção do volume de água dos corpos hídricos é um ponto que deve ser amplamente abordado na caracterização do problema, dando especial atenção aos processos de uso e ocupação do solo nas regiões das cabeceiras. São essas regiões que abastecem os corpos hídricos de pequeno porte e, conseqüentemente, formam as drenagens de grandes volumes.

Além disso, a área da Serra de Itaqueri é recoberta em sua parte mais elevada pelos sedimentos da Formação Itaqueri, constituída por materiais arenosos e grosseiros em grande parte (PEJON, 1992), sendo assim uma área bastante permeável. Devido a essa característica geológica, é nessas regiões que ocorre infiltração da água para abastecimento dos corpos hídricos e recarga dos aquíferos. A retirada da cobertura vegetal e utilização da região para monoculturas, principalmente de cana-de-açúcar, acarreta não só na intensificação dos processos erosivos, como também na mudança dos regimes hidrológicos e de infiltração no solo, diminuindo o volume d'água nos corpos da região.

Para a avaliação do grau de degradação das águas superficiais da região se torna necessário o levantamento de dados sistematizados, juntamente com a elaboração de mapas georreferenciados confiáveis, que irão compor o material de análise. Os sistemas de informações geográficas, assim como o georreferenciamento de cartas, mostram-se

ferramentas úteis para orientar esse gerenciamento ambiental e para promover a localização exata de informações necessárias, sendo de extrema importância na escolha de áreas potenciais para estudos e necessários para o estudo completo de uma determinada área.

O estudo e levantamento de dados em campo também se tornam essenciais para a confiabilidade e averiguação do conteúdo dos dados obtidos durante a pesquisa. No entanto, estudos de campo estão suscetíveis a alguns fatores que dificultam o andamento da pesquisa, como a dependência do clima e a distância, que dificulta a manutenção e o acompanhamento pleno do local.

Além disso, em relação à determinação dos aspectos hidrológicos da área foi necessária a instalação de equipamentos que registram chuvas com precisão temporal de um segundo, sendo possível, assim, a análise pluviométrica.

2 OBJETIVOS

Este trabalho buscou avaliar, através do levantamento e sistematização de dados, a degradação das águas superficiais da região de Itaqueri, no estado de São Paulo. Para esse estudo foram utilizados técnicas de fotointerpretação e sistemas informatizados de georreferenciamento (ArcGis) para o mapeamento e observação da diminuição das drenagens da região. Também foram recolhidos dados pluviométricos objetivando analisar a dinâmica da água na região.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO

O ciclo hidrológico é o percurso que a água faz na natureza, percorrendo a hidrosfera, a atmosfera e o solo, podendo ser apresentada como águas superficiais, subterrâneas ou presente nas plantas. A principal característica do ciclo hidrológico é a instabilidade e a mobilidade das águas superficiais localizadas em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas (TUNDISI, 2003), sendo todos os estados físicos da água, sólido, líquido e gasoso, parte desse ciclo dinâmico. A fase mais importante deste ciclo para o homem é a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização (TUNDISI, 2003).

Nesse ciclo, as principais variáveis consideradas são a evaporação, a umidade específica do ar, a precipitação, a intensidade de chuva, o deflúvio superficial ou vazão, a taxa de infiltração e a evapotranspiração (PALMA, 2004).

Apesar de ser um processo cíclico, como mostra a Figura 1, adota-se comumente a precipitação como ponto inicial. A precipitação, que tem como forma predominante o evento chuvoso (FAGUNDES, 2010), ocorrendo também na forma de granizo e neve, pode ter variações de quantidade (volume de chuva, dado em milímetros), duração (tempo de chuva, dado em minutos ou horas) e intensidade (taxa representada em função de uma quantidade por um tempo, podendo ser em milímetros por hora, por exemplo). Do volume que precipita, uma parte cai diretamente sobre os corpos hídricos, outra parte pode sofrer interceptação vegetal e o restante atinge o solo.



Figura 1: Ciclo hidrológico (modificado de <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>).

A interceptação vegetal é o processo de retenção da água pelas plantas, que pode ser modificado pelo tipo, densidade e estágio de crescimento da vegetação e pela velocidade do vento. Esse volume d'água irá, posteriormente, evaporar, representando a variável evapotranspiração. A quantidade de água que precipita sob as plantas e não é retida pelas mesmas, também cai sob o solo e esse processo é chamado de superação da capacidade de interceptação.

Do volume total de água que atinge o solo, proveniente, ou da precipitação, ou da superação da capacidade de interceptação, uma parte evapora. A evaporação é o processo no qual a água armazenada em lagos, mares, oceanos e solo retorna a atmosfera. O volume que permanece no solo pode infiltrar no material geológico ou formar o escoamento superficial (FAGUNDES, 2010).

A infiltração é caracterizada pela entrada de água pela superfície do solo, podendo ser afetada pelo tipo de solo, umidade do solo antes da chuva e a duração e intensidade da chuva. Essa parcela que infiltra pode tomar três diferentes destinos. Uma parte também sofre evaporação, outra é absorvida pelas raízes das plantas, para suprir suas necessidades vitais, retornando à atmosfera por transpiração e outra percola pelo solo até camadas mais profundas atingindo a zona saturada e efetivando a recarga dos aquíferos, que é responsável pela alimentação de base dos rios (fluxo de base) (FAGUNDES, 2010).

3.2 ÁGUAS SUPERFICIAIS

Toda a quantidade de água superficial ou subterrânea, presente em uma região ou bacia, disponível para qualquer tipo de uso é denominada recurso hídrico. Quando há excesso dessa água ou umidade no solo, ocorre a eliminação da mesma através de canais ou dutos, formando os canais de drenagem. Uma drenagem é qualquer feição linear negativa, produzida por água superficial que escoar, modelando a topografia de uma região.

Os canais de drenagem são os cursos de água naturais ou artificiais que contêm água em movimento, podendo ser contínuos (rios perenes) ou periódicos (rios intermitentes). Um curso d'água, cujo volume ou descarga contribui para aumentar outro, no qual desemboca é denominado afluente ou tributário. A jusante de um corpo hídrico é definida pela direção que acompanha o mesmo sentido da corrente do curso. Dessa forma, a margem direita é o lado direito do curso quando se olha para jusante e a margem esquerda é o lado esquerdo do mesmo.

Para o estudo da modificação da dinâmica de infiltração e avaliação do grau de degradação das águas superficiais e subsuperficiais também pode-se utilizar a modificação do número de canais segundo sua ordem conforme a hierarquia da rede de drenagem proposta por Strahler (1994). Essa hierarquia denomina que os menores canais, sem tributários, são os de primeira ordem, desde sua nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem são originários da confluência de dois canais de primeira ordem. Os canais de segunda ordem só poderão receber afluentes de ordem inferior, ou seja, canais de primeira ordem. No encontro de dois canais de segunda ordem, surge um canal de terceira ordem, que pode receber tanto tributários de primeira como de segunda ordem, que são inferiores a sua, como está esquematizado na Figura 2. Essa hierarquia segue a mesma lógica para as ordens superiores.

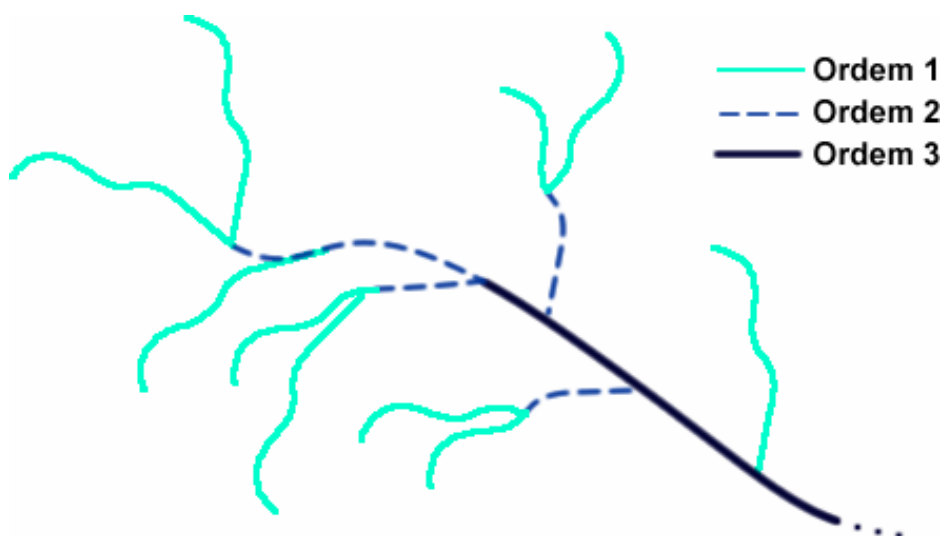


Figura 2: Classificação da ordem dos canais segundo a hierarquia de Strahler (1994).

O conjunto dos canais de drenagem constitui uma bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é a região compreendida entre divisores de água, em que toda a água precipitada escoar para um único ponto, o exutório. A região geográfica que tem as águas subterrâneas escoando para um só exutório é denominada bacia hidrogeológica, podendo não coincidir com a bacia hidrográfica. O número de segmentos de cursos d'água, de todas as ordens, em uma dada bacia, dividido pela área da mesma, é denominado densidade da rede hidrográfica. Já a densidade de drenagem é o comprimento dos segmentos dos canais de drenagem dividido pela área da mesma. Em um canal de drenagem, a parte mais baixa do vale é denominada leito fluvial. Esse leito é modelado pelo escoamento da água, ao longo da qual se deslocam, em períodos normais, água e sedimentos. O leito maior é a parte ocupada durante as cheias e o leito menor é a parte ocupada na época de seca. O fenômeno de obstrução de qualquer corpo d'água, pelo acúmulo de substâncias minerais, causando a redução da profundidade e da velocidade da correnteza, é chamado de assoreamento.

3.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Além da água superficial, que é a água que ocorre em corpos cuja superfície livre encontra-se em contato direto com a atmosfera, existe também a porção de água presente no interior do solo e das formações rochosas. Para que ocorra a alimentação dessa água subterrânea, é necessário que ocorra a recarga dos aquíferos. A recarga é toda a quantidade

de água recebida por um aquífero diretamente pela precipitação ou pela rede hidrográfica. Essa recarga ocorre principalmente na sua área de afloramento, que consiste na exposição em superfície, de rochas ou minerais, assim como qualquer outro tipo de exposição acessível à observação humana. A porosidade de uma rocha, que indica a quantidade de espaços vazios na mesma, está diretamente ligada a sua capacidade de armazenar fluidos e de permitir o fluxo através de sua seção. Quanto maior for a quantidade de poros ou espaços vazios e a comunicação entre esses poros, maior será o fluxo do fluido na rocha.

O estudo desse comportamento das águas subterrâneas, assim como sua ocorrência, estudo da origem, distribuição, escoamento e avaliação dos recursos hídricos é chamado hidrogeologia. A hidrogeologia tem como suas principais aplicações os estudos das características de solos e rochas, envolvendo o fluxo de fluidos em meios porosos.

A água subterrânea, quando presente, ocorre em extensas áreas. Se esta ocorrência coincide com áreas de demanda, não há a necessidade de sistema de distribuição, pois o aquífero pode ser acessado diretamente por poços. O crescimento da demanda é atendido com a perfuração de mais poços, respeitando a capacidade do aquífero.

Os materiais geológicos na subsuperfície podem ser divididos em duas partes principais: a zona não saturada e a zona saturada. Podem, também, ser divididos em três grupos, de acordo com a menor ou maior facilidade de armazenar e liberar as águas subterrâneas, podendo ser granular, fissural ou cárstico, conforme Figura 3. Segundo Fagundes (2010), aquíferos granulares são os que ocorrem em formações sedimentares constituídas de grãos minerais, como os arenitos, e os seus respectivos materiais inconsolidados. Os aquíferos fissurais são os que estão relacionados a rochas compactas, como as ígneas e as metamórficas, e dependem das fissuras das mesmas para estabelecer a transmissão de água. Já os aquíferos cársticos são os que a sua porosidade é resultante da dissolução do carbonato pela água, ocorrendo em rochas carbonáticas (FAGUNDES, 2010).

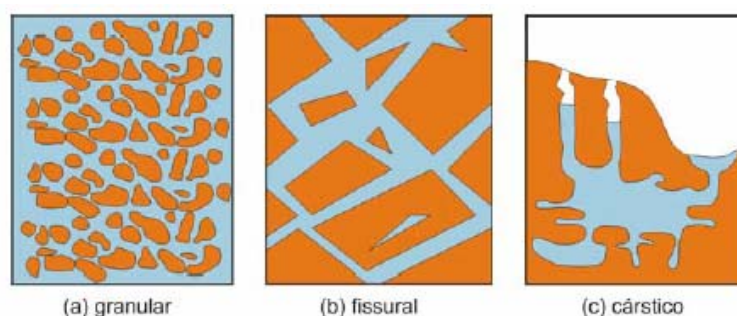


Figura 3: Esquema para aquíferos granulares (a), fissurais (b) e cársticos (c) (FONTE: Fagundes, 2007).

Os aquíferos podem ser classificados como livres ou confinados. Nos livres, a água se apresenta como em um reservatório ao ar livre, submetida apenas à pressão atmosférica. Já nos confinados, as águas se encontram entre camadas impermeáveis, sob pressão maior que a atmosférica.

Alguns parâmetros na hidrogeologia são de fundamental importância na caracterização dos aquíferos. Dentre esses, pode-se citar a condutividade hidráulica e a transmissividade. A condutividade hidráulica, ou coeficiente de permeabilidade (K), que possui dimensão de uma velocidade (m/s), refere-se à rapidez com que um determinado líquido percola no meio poroso, devido ao gradiente de potencial existente, indo da zona com maior potencial para a zona de menor potencial (PALMA, 2004). A transmissividade (T) é um parâmetro importante nos estudos, visando à captação de águas subterrâneas, pois permite avaliar a capacidade de transmissão dessas águas pelo meio geológico, através de toda sua espessura saturada. Pode ser determinada pelo produto da condutividade hidráulica da formação por sua espessura, conforme mostra a equação 1.

$$T = K \cdot E(m/s). \quad (1)$$

Quanto ao movimento, as águas subterrâneas, de um modo geral, escoam lentamente no subsolo, com velocidade relativamente pequena devido ao atrito nas paredes dos capilares e dos poros.

3.4 EXPLOTAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O poço perfurado, com a utilização de equipamentos rudimentares, tais como picaretas, enxadas e pás, para exploração de aquíferos livres superficiais é denominado poço amazonas ou cisterna. Esse tipo de poço apresenta diâmetro grande, variando de 1m a 4m, e pequena profundidade, em média em torno de 6m. Já o poço que capta a água de um aquífero confinado, é denominado poço artesiano. Esse tipo de poço tem diâmetro pequeno e profundidades elevadas, devendo ser perfurado por máquinas. O poço artesiano tem pressão suficiente para a subida da água à superfície. Existem também os poços semi-artesianos, que tem características semelhantes aos artesianos, no entanto, não tem pressão suficiente para a subida da água a superfície, sendo necessária a instalação de bombas.

Para a extração do recurso hídrico também podem ser utilizadas minas de água, que constituem o local onde se inicia um curso de água. Essas áreas correspondem aos pontos de descarga dos aquíferos, sendo assim as nascentes dos corpos hídricos.

3.5 SOLOS

Os solos são constituídos essencialmente por matéria mineral, associada quantidades de matéria orgânica, ar e água. A pedologia é a ciência que estuda a origem, morfologia, distribuição, mapeamento e classificação dos solos. As ciências do solo também tratam o solo como um recurso natural da superfície terrestre, incluindo o estudo da gênese, classificação e distribuição geográfica, juntamente com as propriedades físicas, químicas, mineralógicas, biológicas e de fertilidade, assim como as propriedades em relação ao seu uso e manejo.

Os solos podem ter diferentes texturas, que são determinadas pelas frações granulométricas que o compõe, podendo ser arenosa, siltosa ou argilosa, ou composições dessas. Solos de textura arenosa compreendem a classe de areia a areia fina, de textura argilosa as classes que apresentam na composição granulométrica de 35% a 60% de argila, de textura média as classes que apresentam na composição granulométrica menos de 35% de argila e mais de 25% de areia, excluídas as classes areia e areia fina, de textura muito argilosa as classes que apresentam na composição granulométrica mais de 60% de argila e de textura siltosa as classes que apresentam menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.

Solos que apresentam grande quantidade de argila tendem a ser menos permeáveis que solos mais arenosos, podendo sofrer uma maior compactação. A compactação do solo é a característica de pouca ou nenhuma permeabilidade a líquidos, normalmente em consequência de manejo e utilização inadequados. A permeabilidade do solo influencia na umidade presente na porção do solo situada acima da superfície do lençol freático, incluindo a água presente nos interstícios. Essa água pode estar disponível para ser utilizada pelas plantas, caracterizando a umidade disponível do solo.

Todos os processos de salinização, alcalinização, acidificação ou que alterem qualquer característica físico-química do solo, fazendo com que o mesmo fique pouco ou nada apto para o cultivo e utilização sem nenhuma remediação prévia são caracterizadas como degradação do solo. A mudança dos tipos ou formas de vegetação natural ou plantada que recobrem uma certa área também pode ser caracterizada como um tipo de degradação da região.

3.6 IMPACTOS DAS MODIFICAÇÕES DA COBERTURA VEGETAL, AÇÃO ANTRÓPICA E ÁREAS DEGRADADAS

O meio ambiente é o conjunto dos agentes físicos, químicos e biológicos e dos fatores sociais susceptíveis a exercer algum efeito sobre todos os seres vivos, inclusive o Homem. Todas as ações que causem alguma modificação nesse meio ambiente, positiva ou negativa, proveniente das atividades desenvolvidas pelo Homem, são denominadas ações antrópicas. Essas ações antrópicas podem gerar impactos ambientais, que consistem em quaisquer alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia, que afete a saúde, segurança e bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais, segundo a Resolução CONAMA n.º 306, de 5 de julho de 2002.

Os agroecossistemas, que são sistemas ecológicos naturais transformados em espaço agrário, utilizado para produção agrícola ou pecuária, também podem ser formas de impactos ambientais. Em muitos casos, esses agroecossistemas funcionam como monoculturas, causando diversos impactos negativos.

Modificações na cobertura vegetal alteram o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, produzindo alterações na disponibilidade dos recursos hídricos. A vegetação modifica os fluxos de volume e balanço de energia, uma vez que uma maior densidade de vegetação representa uma parcela maior de água que fica retida durante a precipitação (TUCCI e CLARKE, 1997).

A capacidade de infiltração de um solo também depende do uso e do tipo do mesmo. Solos com cobertura vegetal densa normalmente tem capacidade de infiltração alta, gerando um volume de escoamento superficial pequeno. Já os solos expostos ou com cobertura superficial degradada, que sofreram compactação, tem sua capacidade de infiltração reduzida, aumentando o volume do escoamento superficial. (TUCCI e CLARKE, 1997).

Conforme o Decreto Federal 97.632/89 degradação é: “o conjunto de processos resultantes de 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”. Nesse contexto, entende-se como área degradada qualquer região que perdeu alguma de suas características originais em função de qualquer processo prejudicial ao meio.

Para análise e recuperação de uma área degradada, se torna necessário o conhecimento da origem, evolução e estágio do processo degradador (PONS, 2006). Em relação a uma área degradada, podem ser aplicados os seguintes conceitos: restauração, recuperação ou reabilitação. A restauração de uma área degradada envolve a reprodução das condições exatas do local, exatamente como eram antes do processo de degradação. A recuperação visa gerar condições ambientais próximas às condições de origem, devolvendo ao local o equilíbrio e a estabilidade dos processos ambientais. E, por fim, a reabilitação envolve a utilização do local para uma outra finalidade, estabelecendo condições compatíveis com a ocupação do entorno (PONS, 2006).

Visando minimizar os impactos ambientais e a redução de áreas degradadas, aplica-se métodos de conservação, que prima pela utilização racional de um recurso qualquer, para obtenção de um bom rendimento, garantindo a renovação e a sustentabilidade. Dessa forma, a conservação do solo contempla uma exploração agrícola com adoção de técnicas de proteção contra erosão e redução de fertilidade.

3.7 TIPOS DE DEGRADAÇÃO

Segundo Pons (2006), os principais processos de degradação são as erosões, tanto pela água quanto pelo vento, a degradação química e a degradação física, como por exemplo, a compactação. Para terras agrícolas, também estão ligados aspectos relativos à perda de produtividade. Uma das principais causas da degradação do solo é o seu mau uso, impactando direta e indiretamente sobre o meio rural, como por exemplo, desmatamento; assoreamento dos córregos, rios, lagos e reservatórios em geral (PONS, 2003).

Para áreas degradadas pela implantação de agroecossistemas, principalmente de monoculturas, podem ser apontadas algumas atividades e seus respectivos tipos de degradação, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Atividades que geram impacto ambiental e tipos de degradações associadas (modificado de Pons, 2006).

Atividades	Tipos de degradação
Agricultura e pecuária extensiva (Grandes projetos agropecuários)	• Incêndios, destruição da fauna e flora; • Contaminação e assoreamento dos cursos d'água e erosão dos solos.
Construção de rodovias	• Alteração da cobertura vegetal; • Alteração dos solos; • Impactos socio-econômicos e culturais.
Grandes latifúndios	• Desmatamento, queimadas e degradação dos solos; • Dominação por grupos econômicos.
Grandes projetos agropecuários	• Desmatamento e queimadas; • Drenagens, erosão e assoreamento; • Poluição das águas, alteração dos solos.
Atividades consumidoras de madeiras como matéria-prima	• Desmatamento da vegetação nativa; • Degradação da fauna e da flora; • Comprometimento da biodiversidade.

Tabela 1 - Atividades que geram impacto ambiental e tipos de degradações associadas (modificado de Pons, 2006). CONTINUAÇÃO

Agricultura mecanizada com alto consumo de agrotóxicos	• Compactação, erosão, contaminação e diminuição da fertilidade dos solos; • Assoreamento e contaminação dos cursos d'água.
--	--

3.7.1 EROSÃO

A erosão do solo é um processo que envolve a desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos (NISHIYAMA, 1998). Então, primeiramente as partículas de solo se soltam do restante do material se tornando disponíveis para o transporte e depois, são carregadas para outros lugares, sendo pela força das águas, ventos, entre outros.

Os principais fatores que interferem na erosão, segundo Nishiyama (1998), é a erodibilidade, a erosividade, a configuração do relevo e a cobertura vegetal.

Os processos erosivos podem causar muitos problemas no solo, não só na área em que ocorre de fato a erosão, como também nas áreas afastadas, nas quais a erosão está se processando. Corpos hídricos afastados podem ser atingidos por partículas que se desprenderam e foram transportadas pela ação dos ventos ou das águas causando, o assoreamento.

O assoreamento consiste no depósito e obstrução do curso normal de um corpo hídrico pela presença de sedimentos, reduzindo sua profundidade. Esses sedimentos podem ser provenientes de áreas afastadas, a montante da área assoreada, ou originados pelo próprio desbarrancamento da margem.

A Equação Universal de Perdas de Solo é expressa da seguinte forma (equação 2):

$$A = R \times K \times SL \times C \times P, \quad (2)$$

em que A é a perda de solo por erosão, R é a erosividade da chuva, K é a erodibilidade do solo, SL é o fator topográfico (S é o fator grau de declividade e L é o fator de comprimento do declive), C é o fator uso do solo e manejo de culturas e P é o fator

prática de controle de erosão, também envolve os parâmetros citados por Nishiyama, além do “fator prática de controle de erosão”.

Todos os parâmetros dessa equação podem ser estudados e avaliados individualmente.

3.7.1.1 ERODIBILIDADE

Diferentes tipos de solo tem comportamentos distintos em relação ao evento chuvoso e ao escoamento superficial, apresentando diferentes graus de suscetibilidade à erosão (LAL, 1990).

A erodibilidade é a propriedade do solo que mede a suscetibilidade do mesmo a se desagregar e ser transportado por agentes erosivos. A quantificação desse fator é necessária para o entendimento dos processos erosivos atuantes no solo (LAL, 1994).

Conforme a Equação Universal da Perda de Solo, Equação 2, o termo K representa a erodibilidade do solo, e é expresso pela quantidade de partículas que é removida por uma unidade de área.

Segundo Nishiyama (1998), algumas das principais propriedades que influenciam na erodibilidade, são as propriedades mecânicas, de resistência ao cisalhamento, hidrológicas, reológicas, dos sistemas água/solo, químicas e mineralógicas e características diretas e indiretas do perfil. Dentro das propriedades mecânicas estão relacionados os seguintes fatores: textura, estrutura, tamanho dos torrões e cultivos do solo e formação da crosta. A textura influencia no destacamento e carregamento de partículas do solo, determina a facilidade de dispersão do solo e a força limite necessária para o destacamento. A estrutura influencia na formação de agregados resistentes a dispersão, aos efeitos de abrasão da água de escoamento e ao destacamento, no grau de agregação e distribuição dos agregados e no tamanho dos agregados. Já o tamanho dos torrões e o cultivo do solo influenciam nas características da superfície, como rugosidade, elevando a capacidade de retenção e a resistência à desagregação pela chuva e vento. Por fim, a formação da crosta causa uma alta taxa de escoamento superficial.

A granulometria afeta a erodibilidade de uma maneira indireta. Por exemplo, segundo Nogami e Villibor (1995), materiais pétreos, com granulometria de pedra e pedregulho, e siltes limpos são resistentes a erosão, areias limpas são estáveis em taludes,

porém sofrem erosão com laminais d'água em velocidades comuns e argilas texturais tem sua vulnerabilidade a erosão dependente da sua constituição mineralógica ou química e do ambiente em que se encontra. Além disso, o fator mineralógico influencia no desenvolvimento da agregação, sendo a laterização, que consiste no processo de intemperismo químico que leva o solo a se enriquecer em hidróxidos de ferro ou alumínio, um processo que atua na agregação e características mineralógicas. Outros dois fatores, referentes as propriedades químicas e mineralógicas, que interferem na erodibilidade, são a presença de matéria orgânica e de argilo-minerais. A matéria orgânica influencia na distribuição granulométrica, fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais, diminui o efeito da compactação, em micro-agregados, aumenta a resistência a desagregação e dispersão. Os argilo-minerais influenciam na resistência e estrutura do solo e interage com a matéria orgânica formando agregados mais estáveis (NISHIYAMA, 1998).

Ainda segundo Nishiyama (1998), dentro das propriedades hidrológicas está a retenção de água, a transmissão de água no solo, a permeabilidade e a infiltrabilidade. A retenção de água no solo modifica a resistência ao cisalhamento, influencia a resistência ao arrastamento pela água, devido a umidade inicial do solo, e fornece coesão entre as partículas. A transmissão de água e a permeabilidade determinam a mudança no volume de água do escoamento superficial.

3.7.1.2 EROSIVIDADE

A erosividade corresponde ao potencial erosivo de uma chuva e é expresso pela perda de solo por unidade de área, precipitada em uma região desprovida de cobertura vegetal. (LOMBARDI NETO, 1992 apud NISHIYAMA, 1998).

A erosividade refere-se a qualquer evento climático que pode ser agressivo e intensificar um processo erosivo, como chuva, vento e neve (LAL, 1990). Esse processo é caracterizado, principalmente, pela chuva atuante em uma superfície exposta, compreendendo os seguintes fenômenos: impacto das gotas de chuva, erosão laminar, erosão por sulcamento, englobando desde pequenas ravinas até grandes voçorocas (NOGAMI E VILLIBOR, 1995). No entanto, é importante que o vento pode ser um forte agente erosivo, associado as chuvas (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2010).

Segundo Nishiyama (1998), a erosividade de uma chuva é causada pelo impacto direto das gotas de chuva e parte ao escoamento superficial, e sua energia é calculada com base na intensidade e tamanho das gotas. O impacto direto da gota da chuva é um dos processos mais ativos para a desagregação e deslocamento das partículas no solo. A gota da chuva pode influenciar o processo erosivo de três maneiras distintas: rompendo os torrões e agregados do solo em partículas menores, deslocando partículas para outros locais (transporte) e causando turbulência em um processo de escoamento superficial, aumentando o poder erosivo do mesmo (ELLISON, 1947 *apud* NISHIYAMA, 1998). O efeito do impacto das gotas sobre a superfície exposta é proporcional ao tamanho e quantidade de chuva (NOGAMI E VILLIBOR, 1995).

Além do impacto direto da chuva no solo, quando o volume precipitado for maior que a capacidade de infiltração do solo, se forma uma lâmina d'água, o escoamento superficial. Esse fator também se apresenta um agente erosivo bem intenso, por causar, além do destacamento das partículas, o transporte e a deposição das mesmas. Como explicado anteriormente, na dinâmica da água no solo, a água da chuva, ao alcançar o solo, se subdivide em vários componentes. Da parcela que atinge o solo, parte preenche pequenas irregularidades da superfície, produzindo o armazenamento superficial e a outra parte escoar (NISHIYAMA, 1998), conforme mostra a Figura 4.



Figura 4: Componentes do balanço hidrológico próximo a superfície (FONTE: NISHIYAMA, 1998).

Existem vários parâmetros que podem ser utilizados para medir o potencial erosivo da chuva, entre eles está o total de precipitação, a intensidade da chuva, o momento e a energia cinética (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2010).

O potencial erosivo de uma chuva também é influenciado pela quantidade, intensidade e distribuição da mesma, que regula o balanço hídrico global e interfere na proporção que se torna o escoamento superficial. A distribuição da intensidade durante um evento chuvoso também afeta os processos erosivos, pois ocorre mudança da quantidade e da taxa de escoamento superficial ao longo do evento. Em termos de erosão, o termo chuva efetiva refere-se a proporção de água que atinge a superfície do solo diretamente, e não contribui pra o escoamento superficial (LAL, 1990).

3.7.1.3 RELEVO

Os três principais componentes do relevo que influenciam e condicionam a erosão do solo são as formas da encosta, a extensão e o grau de declividade.

A forma das encostas pode ser representada, considerando os aspectos longitudinais e laterais, o comprimento e a largura. A partir desses parâmetros os

tipos de encostas foram separados em linear (L), convexo (V) e concavo (C), conforme Figura 5.

Segundo Souza (2001), da combinação desses três tipos, as encostas podem ser classificadas em outros nove tipos.

- Grupo I. São as formas simples do tipo co-linear (LL)
- Grupo II. São as formas lineares em uma dimensão e curvas na outra dimensão, e são dos tipos convexo-linear (VL); côncavo-linear (CL); linear-convexo (LV) e linear-côncavo (LC).
- Grupo III. Engloba as formas mais complexas, ou seja, as que apresentam dupla curvatura e são dos tipos: convexo-convexo (VV), convexo-côncavo (VC), côncavo-convexo (CV) e côncavo-côncavo (CC).

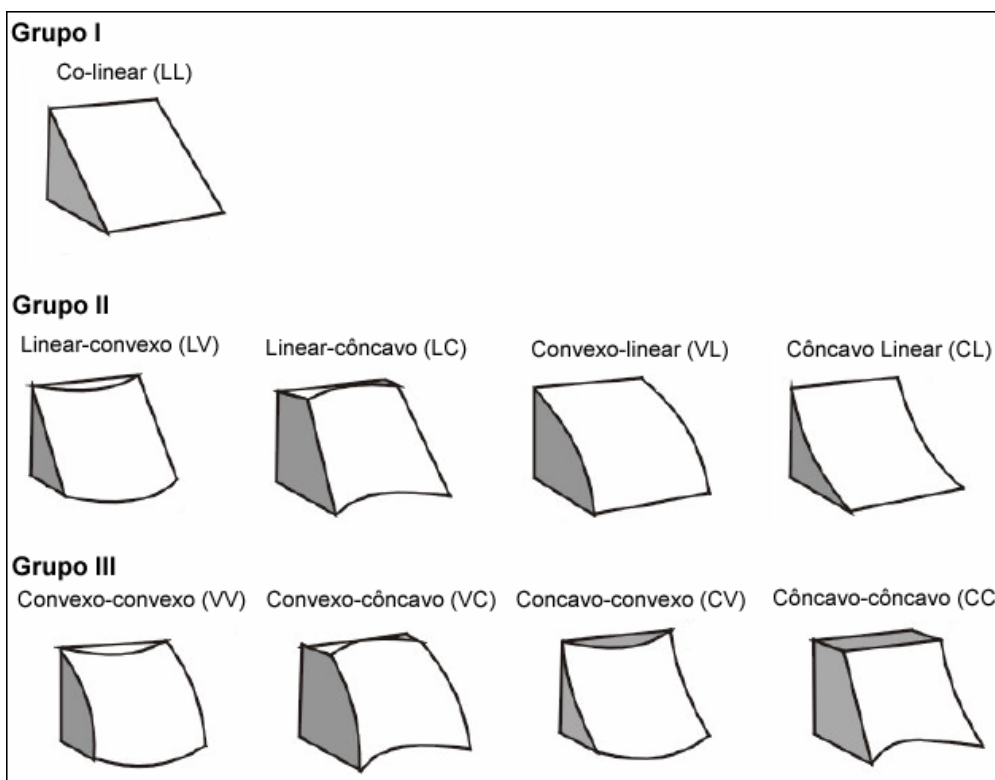


Figura 5: Formas de encostas, modificada de Ruhe (1975) apud Souza (2001).

Os principais tipos de encosta que propiciam os processos erosivos são, primeiramente, as encostas convexas coletoras (convexo-côncavo) e, secundariamente, as convexas dispersoras (convexo-convexo).

O comprimento da encosta também influencia no processo erosivo. O aumento do comprimento de uma encosta gera um aumento do volume de escoamento superficial. (NISHIYAMA, 1998).

Já a relação grau de declividade e erosão é direto, sendo, quanto maior o grau da declividade maior os efeitos do processo erosivo. Isso ocorre pois o deslocamento dos grãos e agregados aumenta conforme o grau de inclinação da superfície exposta.

Segundo Souza (2001), o atributo grau de declividade e comprimento da encosta interfere, principalmente, na velocidade e no volume do escoamento superficial. Ainda segundo a autora, a lamina d'água, formada pelo escoamento superficial, tende a se concentrar, causando sulcos, ravinas e voçorocas, que coincidem com as direções de maior declive.

3.7.1.4 COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal tem um papel fundamental no controle dos processos erosivos, minimizando a instabilidade das encostas. A proteção fornecida ao solo varia conforme o tipo e a intensidade da cobertura vegetal (NISHIYAMA, 1998).

A retirada ou mudança da cobertura vegetal influencia diretamente no processo de intensificação da erosão. Com a retirada total do material vegetal e consequente exposição do solo ocorre um contato direto da precipitação com a camada superficial.

Alguns agentes intensificadores dos processos erosivos naturais são as variações nas cotas ou as mudanças causadas pela implementação de monoculturas, que causam sulcos ou canais de escoamento preferencial. No cultivo de uma monocultura, alguns processos que levam à erosão do solo são ativados. Esses processos, principalmente a degradação e a compactação, são tão intensos que o recurso solo é, por alguns autores, como Cardoso, Potter e Dedeczek (1992), considerado como um recurso não renovável.

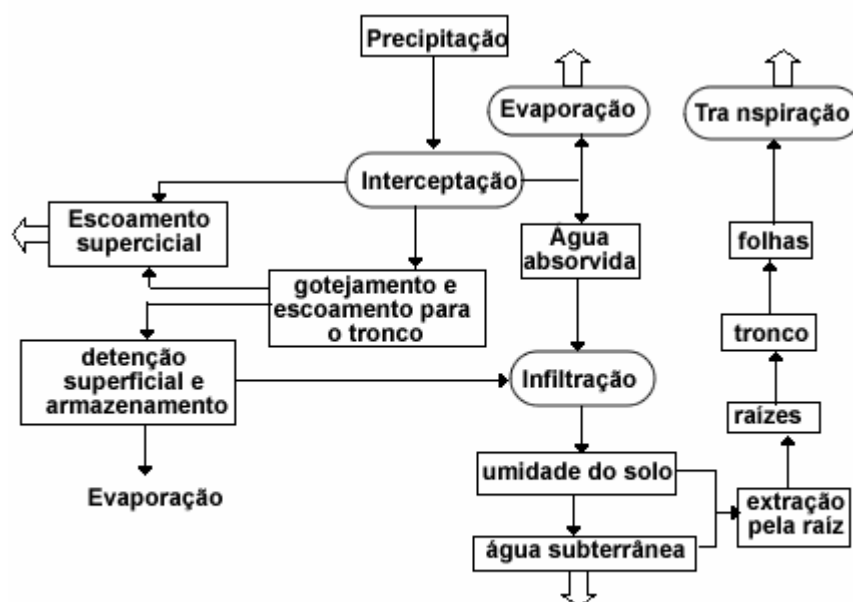
Segundo Greenway (1990) apud Nishiyama (1998), existem dois tipos de mecanismos na qual a vegetação pode influenciar na estabilidade das encostas. Esses mecanismos podem ser hidrológicos ou mecânicos, conforme exibido na Tabela 2 e na Figura 6.

Tabela 2 - Mecanismos de influência da vegetação na estabilização de taludes (Fonte: NISHIYAMA, 1998).

Mecanismos	Influencia	Efeitos	Consequência para a estabilidade
Hidrológicos	Interceptação da chuva pelo sistema foliar	Perda por evaporação e absorção	Benéfica
		Redução da chuva disponível para infiltração	
	Aumento da rugosidade superficial (raízes)	Aumento da permeabilidade	Adversa
		Aumento da capacidade de infiltração	
	Extração da umidade do solo	Perda por transpiração	Benéfica
	Perda de umidade do solo	Aumento da fissuração do solo	Adversa
		Aumento da capacidade de infiltração	
Mecânicos	Aumento da resistência do solo pela presença de raízes	Aumento da resistência ao cisalhamento	Benéfica
	Ancoragem da camada superior de solo a um estrato mais firme		Benéfica
	Vegetação exposta ao vento transmite esforços dinâmicos ao solo		Adversa
	Partículas são unidas pelas raízes	Redução da susceptibilidade a erosão	Benéfica



(a)



(b)

Figura 6: Comparação esquemática de ciclos hidrológicos em encostas não vegetadas (a) e vegetada (b) (modificado de GREENWAY, 1990 apud NISHIYAMA, 1988).

Segundo Eltz (1984) apud Nishiyama (1988), no estudo dos diferentes tipos de cobertura vegetal no controle da erosão, a de maior eficiência foi a pastagem, seguida pela cana-de-açúcar.

3.7.2 ALTERAÇÃO DOS SOLOS

Alterações no solo provocadas por qualquer tipo de atividade antrópica podem influenciar nas características do mesmo, alterando suas propriedades físicas e químicas.

A principal alteração física que pode ocorrer em um solo é a compactação, que consiste na perda de porosidade a partir da redução do volume de vazios entre as partículas. A principal atividade que contribui para isso é a construção de rodovias, que utiliza maquinário para a compactação e construção das vias de passagem.

Caso o grau de compactação seja elevado, a transmissão de água através do solo fica prejudicada, pois a água não consegue percolar através da superfície com uma velocidade maior do que a capacidade do solo de transmiti-la para uma camada inferior (NISHIYAMA, 1998). A entrada superficial da água no solo também pode ser impedida ou retardada pelo selamento superficial, devido ao carreamento de partículas finas para o interior dos vazios (NISHIYAMA, 1998).

Em relação às propriedades químicas, outro impacto no solo, gerado por diversas atividades, é a alteração da fertilidade. As principais atividades que culminam nesse tipo de degradação é a instalação de agricultura mecanizada com alto consumo de agrotóxicos e a compactação.

3.7.3 MUDANÇA DA COBERTURA VEGETAL E ALTERAÇÕES NO CICLO HIDROGEOLÓGICO

Os tipos de alterações sobre o uso do solo, segundo Tucci e Clarke (1997), podem ser classificados conforme o tipo de mudança, o tipo de uso da superfície e de como se dá o processo de mudança.

O tipo de mudança de superfície engloba o desmatamento, o reflorestamento e a impermeabilização. O tipo de uso da superfície, após a mudança da mesma, pode ser dividido entre culturas de subsistência, culturas permanentes, culturas anuais, reflorestamento para extração sistemática e urbanização. E, por fim, o método de alteração pode envolver a queimada, a remoção manual e retirada por equipamentos (TUCCI e CLARKE, 1997).

A cana de açúcar é um exemplo de cultura semi-perene que envolve modificações da cobertura de, em média, cinco em cinco anos. Esse tipo de cultura envolve a preparação do solo em determinadas épocas, resultando na redução da proteção do solo. Nesse período o

solo fica sujeito a energia do impacto das chuvas intensas e pode erodir facilmente, modificando as condições de infiltração (TUCCI e CLARKE, 1997). Além disso, esse tipo de cultura está associada a construção de estradas e utilização de maquinário para colheita e transporte do produto.

Culturas de eucalipto são exemplos de extração seletiva da madeira, a partir de uma vegetação plantada. Segundo Vital (2007), o ressecamento do solo em florestas de eucalipto depende não somente do consumo de água pelas plantas, mas também da precipitação pluviométrica da região de cultivo, sendo esse consumo equivalente a precipitações pluviométricas ao redor de 800 a 1.200 mm/ano. Dessa forma, se uma determinada região tem uma pluviosidade baixa ou inferior ao consumo equivalente desse tipo de cultura, o eucalipto causaria um rebaixamento no nível freático da região. Esse tipo de cultura também está associado a construção de estradas e utilização de maquinário para extração da madeira.

A laranja é um exemplo de cultura permanente que não sofre alterações freqüentes na estrutura principal. O principal impacto relacionado a esse tipo de cultura está ligado ao processo de transformação da cobertura (TUCCI e CLARKE, 1997).

A mudança ou retirada total da cobertura vegetal de uma determinada região altera a dinâmica das águas no local de variadas formas. A princípio, ocorre um aumento da vazão do escoamento superficial, pois, com o suprimento da vegetação, o volume retido pela interceptação vegetal é reduzido ou inexistente, restando um maior volume de água para escoamento direto. Ocorre também um aumento da velocidade de escoamento, pois não existem mais barreiras vegetais para servirem de redutores de velocidade. Outro aspecto do ciclo hidrológico que sofre modificações é a diminuição da infiltração, devido também à redução das barreiras físicas e raízes que retêm a água, diminuindo o volume de recarga dos aquíferos.

Além das mudanças no ciclo hidrológico devido ao aumento do escoamento superficial com a retirada da cobertura vegetal, o desmatamento também altera o regime de precipitações. Segundo Tucci (1997) as vegetações nativas absorvem maior radiação de onda curta, ocasionando uma menor flutuação da temperatura. Com a retirada da vegetação, o volume evaporado também é menor, devido à redução da interceptação vegetal, e ocorre uma menor variabilidade da umidade das camadas mais profundas do solo, uma vez que a cobertura vegetal mais evoluída pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6 metros.

3.7.4 DEGRADAÇÃO DA DINÂMICA DA ÁGUA

As mudanças da ocupação e uso do solo pelas diversas atividades agropecuárias podem alterar os processos que envolvem a dinâmica das águas. Essas alterações no uso do solo modificam a forma como o ciclo hidrológico natural se comporta no meio, alterando regimes de infiltração e diminuindo o volume d'água no corpo hídrico.

Um importante aspecto a ser analisado é o como se dão os processos de uso e ocupação do solo nas regiões das cabeceiras. Essas áreas são regiões responsáveis pela manutenção do volume d'água do restante dos corpos hídricos de pequeno porte e, conseqüentemente, formadoras das drenagens de grandes rios. Por serem áreas frágeis, que podem apresentar declividade elevada, ter grande número de nascentes ou ter muitas áreas de recarga de aquíferos, deveriam ser preservadas ou utilizadas aplicando-se sistemas agroflorestais com baixo impacto ambiental, que preservariam a matéria orgânica do solo mantendo a água no sistema, através da infiltração da chuva.

As modificações por ações antrópicas na cobertura vegetal das bacias hidrográficas e, principalmente, das regiões de cabeceiras influenciam o comportamento hidrológico, provocando os mais variados impactos sobre o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos (TUCCI e CLARKE, 1997). O plantio direto de uma determinada cultura, juntamente com a derrubada da vegetação nativa, tende a apresentar um aumento no escoamento superficial médio, se comparado com a floresta, devido à redução da evapotranspiração e interceptação (TUCCI e CLARKE, 1997). A tendência é que a substituição de florestas por plantio de monoculturas intensifique os processos erosivos e diminua as taxas de infiltração e recarga de aquíferos, diminuindo o fluxo de base dos rios.

3.8 MÉTODOS DE ESTUDO DA DEGRADAÇÃO E SUAS CLASSIFICAÇÕES

Dentro do estudo de uma determinada degradação ambiental, deve-se estabelecer alguns passos para análise do problema. Primeiramente, deve-se avaliar as condições ambientais, definindo o problema juntamente com a análise da sua ocorrência (intensidade). A partir disso, deve-se levantar as causas e propor soluções ou levantar encaminhamentos. (AGNEW e WARREN, 1995)

Para o estudo da degradação de um modo geral, utiliza-se atualmente, segundo Zuquette, Pejon e Collares (2004), imagens de satélite ou fotos aéreas de análise temporal,

investigação de campo para observação das mudanças ambientais e exames laboratoriais para determinação de características físico-químicas. Somado a isso, para alguns tipos específicos de estudo, pode-se adicionar o levantamento de dados, como por exemplo, o recolhimento de dados pluviométricos.

Para o auxílio do estudo da degradação da terra, muitos autores utilizam a classificação de geoindicadores proposta por Berger (1996). Os indicadores ambientais tem como principal objetivo a quantificação e simplificação da informação sobre fenômenos complexos e se apresenta como uma ferramenta para a avaliação integrada do ambiente natural e ecossistemas. Os geoindicadores também podem ser utilizados como uma ferramenta para classificação da degradação.

O conceito de geoindicadores tem sua origem no trabalho de Berger (1996), que produziu uma tabela listando os vinte e sete principais geoindicadores para avaliação da condição ambiental de diferentes locais.

A partir desses conceitos pode-se listar os geoindicadores relacionados aos diferentes tipos de degradação que atuam sobre a área em estudo, como por exemplo, a erosão e o assoreamento, as alterações do solo, a mudança da cobertura vegetal, a degradação da dinâmica da água, entre outros, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Lista de geoindicadores (Fonte: traduzida de Berger, 1996).

Geoindicador	Mudanças
Química dos corais e temperatura padrão de crescimento	Temperatura dos oceanos e da água superficial da costa e salinidade
Crostras superficiais e fissuras no deserto	Aridificação
Formação de dunas e reativação	Velocidade e direção do vento, aridez, umidade e disponibilidade de sedimentos

Tabela 3 – Lista de geoindicadores (Fonte: traduzida de Berger, 1996). CONTINUAÇÃO

Magnitude e frequência de tempestades de areia	Transporte de areia, desertificação e uso da terra
Atividade de solo congelado	Clima, hidrologia, movimento descendente - especialmente na camada ativa
Flutuações glaciais	Precipitação, escoamento do derretimento
Qualidade da água subterrânea	Poluição de indústrias, da agricultura e urbana, intemperismo em solos e rochas, uso da superfície, chuva ácida e radioatividade
Química da água subterrânea na zona não saturada	Intemperismo e uso do solo
Nível da água subterrânea	Recarga
Atividade Cárstica	Química e fluxo das águas subterrâneas, clima, cobertura vegetal, escoamento fluvial
Nível e salinidade dos lagos	Clima, uso do solo, vazões e escoamento superficial
Nível relativo do mar	Elevação e subsidência costeira, clima, sedimentação e compactação
Seqüência e composição dos sedimentos	Uso do solo, erosão e deposição
Sismicidade	Tensões naturais da terra ou induzidas pelo Homem

Tabela 3 – Lista de geoindicadores (Fonte: traduzida de Berger, 1996). CONTINUAÇÃO

Posição do litoral	Erosão costeira, transporte e deposição de sedimentos, uso da terra, nível do mar e clima
Colapso das vertentes (escorregamentos)	Estabilidade da encosta, movimento de massa e uso do solo
Erosão de solos e sedimentos	Escoamento superficial, vento e uso do solo
Qualidade dos solos	Uso químico do solo, processos físicos e biológicos
Fluxo fluvial	Precipitação, drenagem da bacia hidrográfica e uso da superfície
Morfologia de canais fluviais	Carga de sedimento, taxa de fluxo, clima, uso do solo e deslocamento na superfície
Acumulação e carga dos sedimentos nos rios	Carga de sedimento, taxa de fluxo, clima, uso do solo e descarga na superfície
Regime de temperatura da subsuperfície	Clima, fluxo de calor e cobertura vegetal
Deslocamento da superfície	Falhamento geológico e elevação e sedimentação de terra
Qualidade da água superficial	Uso do solo, interação água-solo-rocha e escoamento superficial
Atividade vulcânica	Movimento do magma próximo a superfície, degaseificação magmática e fluxo de calor

Tabela 3 – Lista de geoindicadores (Fonte: traduzida de Berger, 1996). CONTINUAÇÃO

Extensão, estrutura e hidrologia das áreas úmidas	Uso da superfície e fluxo dos canais
Erosão eólica	Uso da superfície e cobertura vegetal

Para a análise das mudanças associadas a cada geoindicador podem ser levantados alguns métodos de estudo descritos por alguns autores.

Para o estudo do parâmetro qualidade da água subterrânea pode ser feita a análise de indicadores de poluição, como a presença de focos de poluição concentrada ou difusa. Além disso, podem ser feitas análises químicas através da coleta de água e análise laboratorial.

No estudo da estabilidade das encostas podem ser listados inúmeros fatores que influenciam na ocorrência de movimentos de massa gravitacionais. Segundo Ahrendt (2005), os grupos de fatores são divididos em agentes geológicos, morfológicos, físicos e antrópicos. Dentro dos agentes geológicos estão os materiais alterados, enfraquecidos ou intemperizados, os materiais cisalhados, fissurados ou fraturados, os contrastes na permeabilidade e os contrastes na espessura. Os agentes morfológicos envolvem qualquer tipo de erosão, o tectonismo ou vulcanismo, a deposição no topo ou na base da encosta e a remoção da vegetação. Já os agentes físicos envolvem as chuvas intensas e prolongadas e o intemperismo. E por fim, os agentes antrópicos envolvem as escavações de encosta ou da sua base, a urbanização, a sobrecarga no topo ou na encosta, a diminuição do nível dos reservatórios, o desmatamento, a irrigação, a mineração, a vibração artificial e os vazamentos. Para esse estudo são feitos, principalmente, técnicas de investigações de campo e criação de modelos específicos para cada área, analisando a condição natural do meio físico e os eventos que possam gerar instabilidades. (AHRENDT, 2005)

No estudo do processo de compactação do solo observa-se que diferentes classes de solos apresentam comportamentos distintos quando submetidos ao processo de compactação. Assim, para a análise desse parâmetro, se torna necessária o estudo de algumas variáveis, como a textura, umidade, teor de matéria orgânica, densidade, porosidade, estrutura e compressibilidade do solo e resistência à penetração (RICHART et al, 2005).

No estudo dos processos erosivos se torna necessária a aplicação de modelos para simplificação dos processos reais. As simulações utilizam-se de um modelo para estimar, ajustar, verificar e prever um processo erosivo.

O geoprocessamento pode ser utilizado em estudos sobre os processos erosivos (FERREIRA, 2004), conforme lista a Tabela 4.

Tabela 4 - Principais métodos utilizados na identificação direta e indireta de feições erosivas (SOUZA, 2001 apud FERREIRA, 2004).

Recurso utilizado			Emprego		Objetivos	Recuperações
			Campo (direto)	Laboratório (indireto)		
Georreferenciados	Produtos cartográficos	Mapas topográficos	X	X	Localização, delimitação e monitoramento das feições erosivas	Utilizar escala adequada de acordo com o objetivo
		Ortofotos	X	X	Localização, delimitação e monitoramento das feições erosivas	
		Perfilagens		X	Representação de uma maneira gráfica da evolução das feições no período de monitoramento	
	Sensoriamento remoto	Fotografias aéreas	X	X	Cadastramento, análise temporal (avanço, recuo e estabilização) das feições	Adequar escalas de acordo com o objetivo
		Imagens de satélites		X		

**Tabela 4 - Principais métodos utilizados na identificação direta e indireta de feições erosivas
(SOUZA, 2001 apud FERREIRA, 2004). CONTINUAÇÃO**

	Equipamentos	GPS	X	X	Localização, delimitação do contorno das feições, calculo de áreas e comprimento	Adequar a precisão do equipamento com a escala de trabalho
		Geodímetro (estação total)	X	X	Delimitação do contorno das feições, calculo de áreas e comprimento	
		Teodolitos	X		Delimitação do contorno das feições, calculo de áreas e comprimento	
		Clinômetros	X		Inclinação das faces internas das feições erosivas	
Fotográficos	Fotografias de baixa altitude (35 mm)		X	X	Cadastramento atualizado, monitoramento da evolução e recuo das feições erosivas	Adotar ponto de referencia
	Fotografias terrestres		X	X		
Geológicos	Dendrocronologia		X	X	Auxiliar indiretamente nos estudos de monitoramento de processos erosivos, principalmente das erosões marginais	
	Datação C14		X	X		
	Estruturas sedimentares		X	X		

Tabela 4 - Principais métodos utilizados na identificação direta e indireta de feições erosivas (SOUIZA, 2001 apud FERREIRA, 2004). CONTINUAÇÃO

Materiais diversos	Estacas de madeira	X		Para dimensionar o avanço, o recuo e a estabilização	Fixação adequada, usos de trena e bússola
	Pinos	X		Medir o grau de erosão por meio da superfície de exposição dos pinos	Variam de acordo com o tipo e magnitude dos processos erosivos

Para a análise do fluxo fluvial, um dos principais métodos de estudo é a obtenção de dados pluviométricos do local, assim como a análise da drenagem da bacia em questão. Para isso, se torna necessário o estudo de modelos de infiltração, que relacionam a evolução da taxa de infiltração com o tempo e a intensidade da chuva. Existem vários modelos de infiltração para estudo da dinâmica superficial da água e a escolha do modelo depende, segundo Palma (2004), da aplicação do modelo, das condições de chuva e das características dos perfis estudados.

A infiltração pode ser afetada pelo tipo de solo, umidade do solo antes da chuva e a duração e intensidade da chuva. Além desses fatores, outros também influenciam na infiltração da água no solo. Dentre os principais estão a quantidade de água disponível para infiltração (não só decorrente da intensidade da chuva, mas também dos processos de irrigação e de escoamentos oriundos de outras áreas), o tipo do solo (incluindo textura, estrutura, grau de evolução, composição química e mineralógicas), declividade do terreno, vegetação, uso e ocupação e profundidade do substrato rochoso, entre outros (NISHIYAMA, 1998).

Esse processo de infiltração pode ocorrer por gravidade ou capilaridade, caminhando da superfície para o interior do solo. Para quantificar essa infiltração é utilizado o parâmetro velocidade ou taxa de infiltração (AHRENDT, 2005), que é a quantidade de água que atravessa uma determinada unidade de área da superfície do solo durante um determinado tempo.

Durante o processo de infiltração, partindo do estado inicial de solo seco, essa taxa de infiltração decresce com o tempo e atinge um valor constante, que é denominado capacidade de infiltração (AHRENDT, 2005).

Solos com cobertura vegetal apresentam valores de taxas de infiltração mais elevadas do que solos expostos. A presença de vegetação aumenta o tempo de contato entre a água e a superfície do solo, propiciando que uma maior quantidade de água infiltre no solo. A presença de raízes também aumenta a porosidade, aumentando a capacidade de infiltração (NISHIYAMA, 1998).

3.9 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA REGIÃO DA SERRA DO ITAQUERI

A Serra do Itaqueri abrange os municípios de Brotas, Itirapina, Santa Maria da Serra, São Pedro, Rio Claro e Piracicaba. Na serra do Itaqueri se encontra o distrito de Itaqueri (Itaqueri da Serra), pertencente ao município de Itirapina, no interior do estado de São Paulo. Está localizado a 18 km da cidade de Itirapina e entre as cidades de São Carlos, Rio Claro, Analândia e São Pedro, conforme Figura 7, utilizando as folhas SF-22-Z-B-III-4 (Brotas), SF-23-M-I-3 (Itirapina), SF-22-Z-B-VI-2 (Santa Maria da Serra), SF-23-M-III-1 (São Pedro), SF-23-M-I-4 (Rio Claro) e SF-23-M-III-2 (Piracicaba).

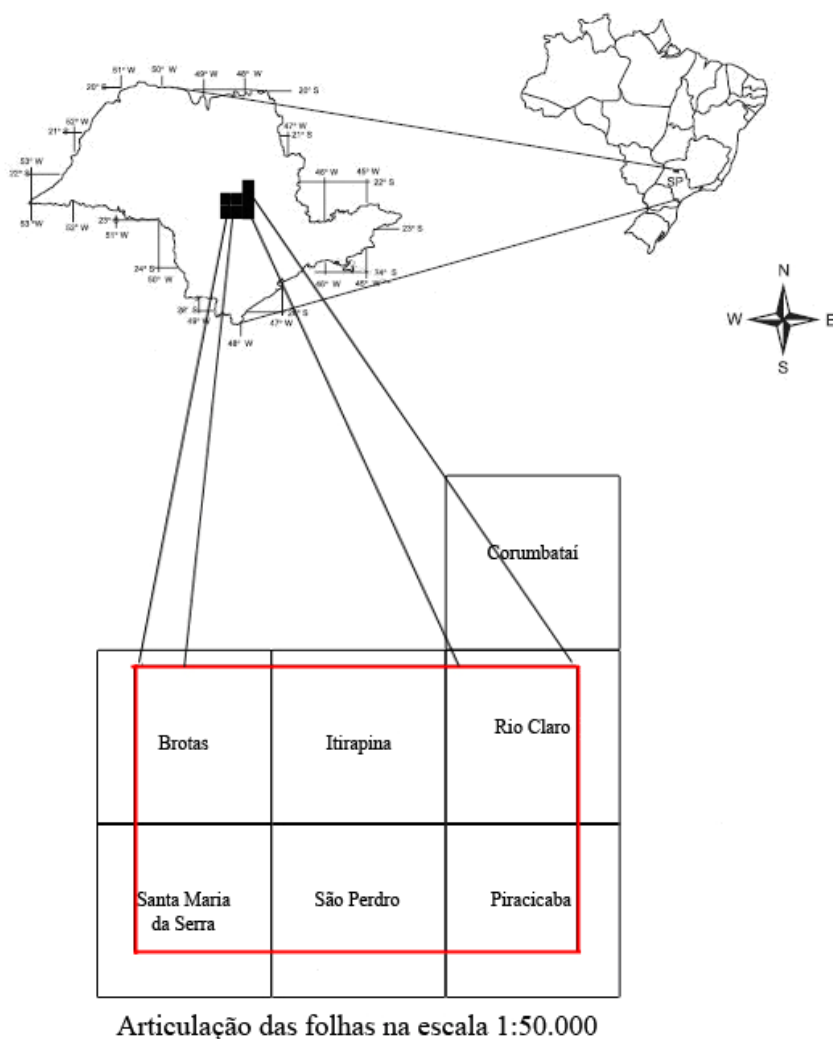


Figura 7: Localização da área de estudo (em vermelho).

Para a descrição e análise da área foram escolhidos aspectos relativos à geologia e pedologia, à declividade, à vegetação, assim como seu uso e ocupação, além das características climáticas, pluviométricas e hidrológicas. Esses aspectos são necessários para análise geral da área, do comportamento hídrico superficial e determinação de possíveis alterações nesses comportamentos. Abaixo estão descritos cada um desses aspectos para a área de estudo.

3.9.1 GEOLÓGIA

A área da Serra de Itaqueri é tradicionalmente reconhecida pelos sedimentos da Formação Itaqueri que a recobrem. Esta ocorre, na área, ora sobreposta aos basaltos da

Formação Serra Geral, ora sobreposta aos arenitos eólicos da Formação Botucatu, além da Formação Pirambóia, que está localizada nas cotas inferiores da área serrana.

As diferentes formações encontradas na área em questão são descritas abaixo:

3.9.1.1 FORMAÇÃO ITAQUERI

Essa formação está restrita ao reverso das cuestas da serra, sendo constituída por arenitos imaturos, grosseiros em grande parte, conglomeráticos e com seixos de arenitos e quartzitos. Apresentam cores variegadas e sua espessura é da ordem de dezenas de metros (PEJON, 1992).

3.9.1.2 FORMAÇÃO BOTUCATU

Esta formação está restrita às escarpas de São Pedro e é composta de arenitos de granulometria fina a média, com cores amareladas, bem selecionadas e silificadas. Também apresenta grande resistência ao intemperismo, o que ajuda a sustentar o relevo escarpado da área. Essa camada atinge a espessura de aproximadamente 100 metros (PEJON, 1992).

Estruturas marcantes nesta unidade são as estratificações cruzadas planares de grande porte e tangenciais na base. (NISHIYAMA, 1991)

3.9.1.3 FORMAÇÃO SERRA GERAL

Basaltos toleíticos de coloração preta, com granulação muito fina, textura afanítica e intenso fraturamento colunar. Esta restrita às escarpas de região serrana, onde, conjuntamente com os arenitos da Formação Botucatu, sustenta um desnível de aproximadamente 200 metros. Nos afloramentos são comuns declividades acentuadas associadas à rápida alteração do basalto, indicando alto grau de alteração por intemperismo físico e provocando escorregamentos (PEJON, 1992). Também apresenta corpos de arenitos intercalados, semelhante à Formação Botucatu, o que indica uma recorrência das condições ambientais (NISHIYAMA, 1991).

3.9.1.4 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

É constituída por arenitos finos com baixa porcentagem de argila na parte superior, aumentando gradativamente até o contato com a formação inferior adjacente, a Formação Corumbataí. Esses arenitos são de cores vermelha, branca e amarela e estrutura predominante de estratificações cruzadas de pequeno porte. A área de afloramento apresenta cimentos de baixa resistência. (PEJON, 1992)

3.9.2 PEDOLOGIA

Na análise do mapeamento geotécnico da quadricula de Piracicaba pode-se perceber que a região em estudo, em relação a pedologia, apresenta um predomínio de solos podzólicos, com texturas de muito argilosas a muito arenosas, com espessura pequena, associados a materiais litólicos, especialmente nas formações Corumbataí e Pirambóia. Também apresenta, ao norte da cidade de Piracicaba latossolos vermelhos-escuros e roxos, associados às áreas em que ocorrem magmáticos básicos. (PEJON, 1992).

Já na análise do mapeamento geotécnico da quadricula de São Carlos observou-se a presença de latossolos vermelho-amarelo, que são solos relacionados às formações Pirambóia e Botucatu, de textura média a muito argilosa, podzólicos vermelho-amarelo, que apresentam textura média a argilosa e espessura inferior a 1,5 metros, sendo solos muito ácidos, também relacionados a formação Pirambóia, e, em menor quantidade, areias quartzozas, que são solos de espessura maior que 2 metros, composição essencialmente arenosa, cores variando de vermelho-acinzentado a bruno-avermelhado e localizados na base da escarpa da Serra, nas formações Pirambóia e Botucatu. (NISHIYAMA, 1991).

3.9.3 DECLIVIDADE

Para a análise da declividade da área em estudo foi elaborado um mapa de declividade em porcentagem com intervalos adotados: <2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20% e > 20%, a partir dos dados de curvas de níveis digitalizados, conforme Apêndice B.

3.9.4 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

3.9.4.1 CLIMÁTICOS

Como a altitude predominante nas serras está entre 800 e 1000 metros, o tipo climático da região em estudo pode ser classificado como Cwb (segundo Sistema de Koppen-Geiger), que consiste no clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C, tendo uma média anual de 19°C.

3.9.4.2 HIDROLÓGICOS

A área em estudo está localizada na bacia Tietê/Jacaré, e os principais canais de drenagem localizados na área são os rios Itaqueri, Jacaré-Pepira, Jacaré-Guaçu, Corumbataí, Passa-Cinco e da Cabeça, conforme mostra a Figura 8.

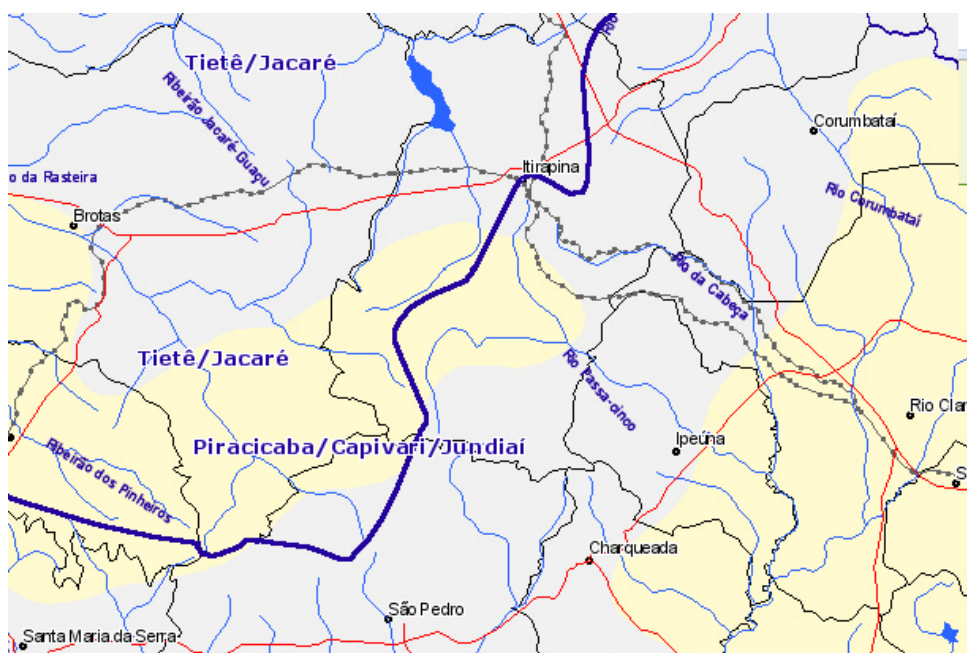


Figura 8: Microbacias da região em estudo, rios em destaque (FONTE: SOS Mata atlântica e FEHIDRO, 2005).

O DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) tem dados fluviométricos para alguns cursos d'água. Conforme Tabela 5 abaixo podemos observar os dados da área de drenagem do Jacaré-Guaçu e do Jacaré-pepira.

Tabela 5 –Dados dos cursos d'água Jacaré-pepira e Jacaré-Guaçu (FONTE: DAEE, 2000)

Curso d'água	Nome	Área (km ²)	Latitude	Longitude	Prefixo do posto
Jacaré Pepira	Brotas	442	22°17'31"	48°06'59"	5D-028
Jacaré Guaçu	Fazenda Palmeiras	1867,00	21°51'54"	48°16'49"	5C-013

Tanto os rios Passa-Cinco e da Cabeça, quanto o Corumbataí drenam a região mais baixa da serra, coincidente com a Formação Pirambóia.

3.9.4.3 PLUVIOMÉTRICOS

Em relação à determinação dos aspectos pluviométricos da área, existem poucos dados para o estudo do local. Quando existentes, não se sabe a metodologia utilizada para a obtenção ou a precisão é baixa para o estudo em questão.

Para suprir isso, foram instalados dois pluviógrafos no local, conforme citado anteriormente na descrição da metodologia da pesquisa. Esses dados serão inseridos e trabalhados na seção referente às características básicas da área de estudo.

No entanto, o SIGRH (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos) de São Paulo possui um Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo onde é possível localizar dados de chuva diária (entre outros) para diversos municípios. Esse banco de dados exhibe todas as estações pluviométricas que o município possui. Analisando o banco de dados dos municípios de Itirapina, Brotas e São Pedro, foi possível localizar dois postos pluviométricos que são compatíveis a área de estudo, conforme está listado na

Tabela 6.

Tabela 6 - Nome e localização dos postos pluviométricos.

Município	Nome	Altitude	Latitude	Longitude	Bacia
São Pedro	São Pedro	600	22°32'	47°55'	Piracicaba
Itirapina	Itaqueri da Serra	894	22°21'	47°55'	Rio Jacaré-Guaçu

O posto pluviométrico de São Pedro tem dados disponíveis para o ano de 1988 e 2000, entre outros, conforme mostra a Figura 9 e a Figura 10, e o posto de Itirapina tem dados apenas para o ano de 2006, para os meses de Janeiro a Junho, como mostra a Figura 11.

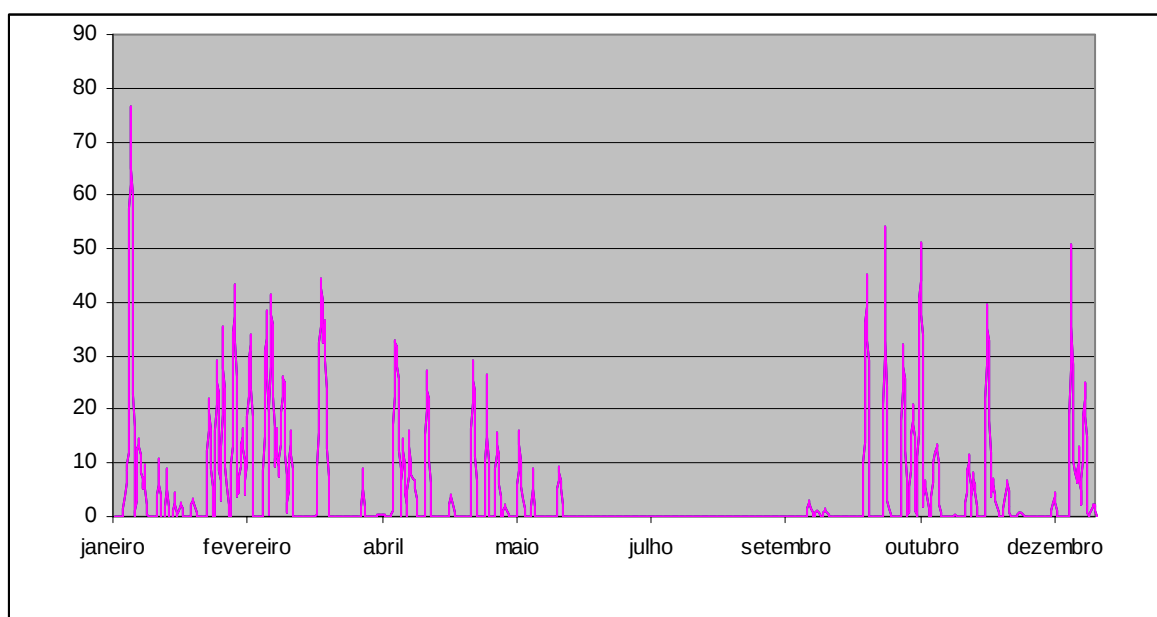


Figura 9 : Gráfico com os valores para o ano de 1988, de Janeiro a Dezembro, para o posto localizado no município de São Pedro.

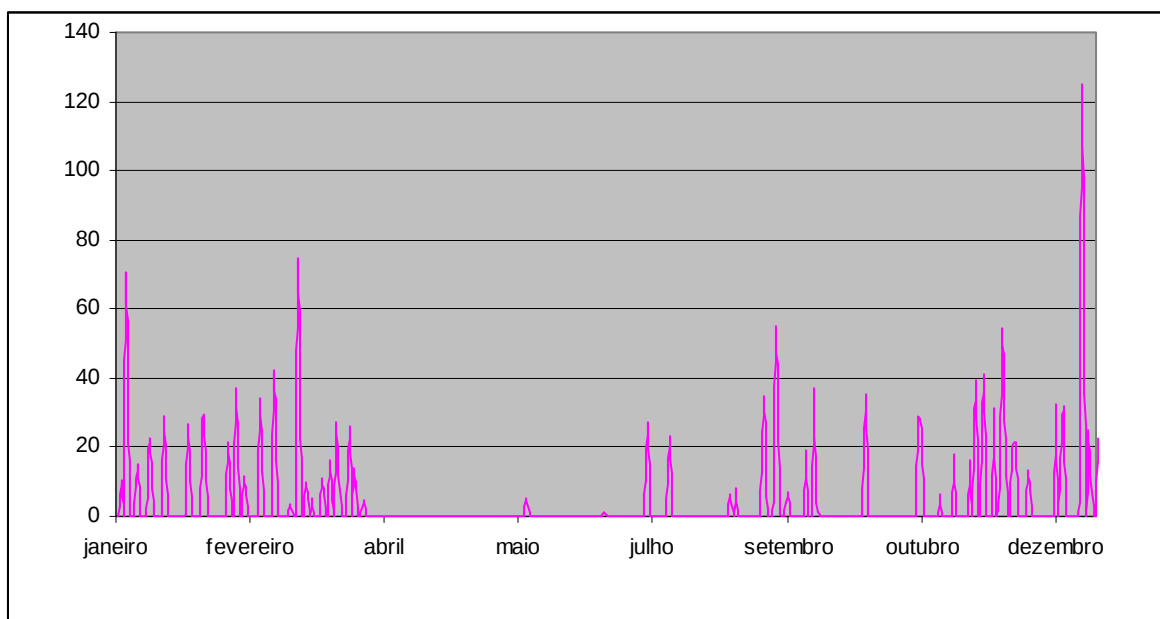


Figura 10 : Gráfico com os valores para o ano de 2000, de Janeiro a Dezembro, para o posto localizado no município de São Pedro.

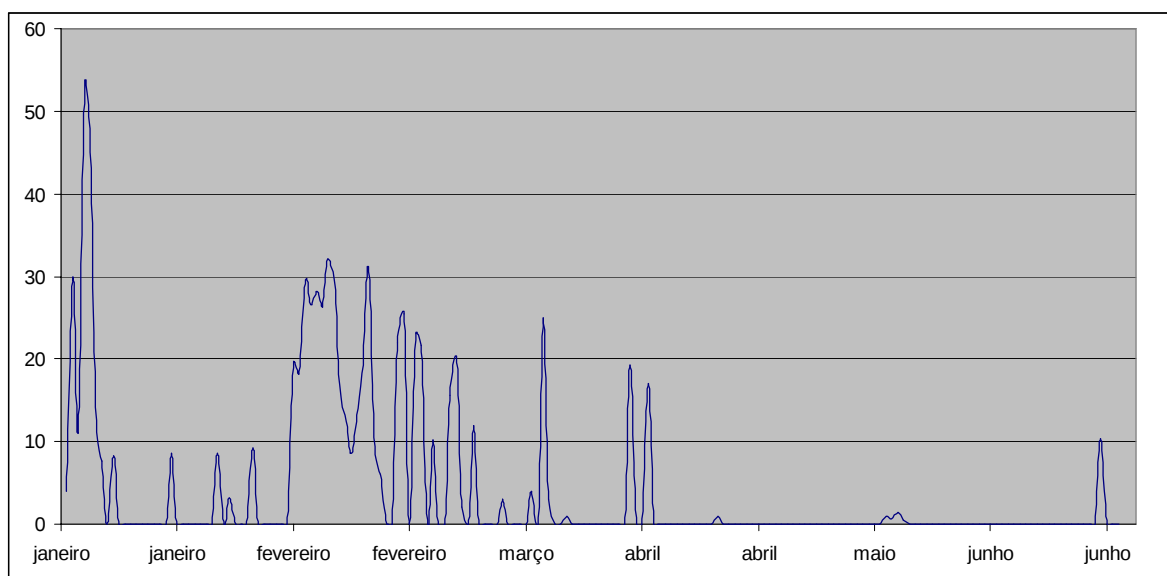


Figura 11 : Gráfico com os valores para o ano de 2006, de Janeiro a Junho, para o posto localizado no município de Itirapina.

A partir desses dados, pode-se obter o total precipitado para os anos de 1988, 2000 e 2006, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Total precipitado para os anos de 1988 e 2000 para o posto pluviométrico de São Pedro e para o primeiro semestre de 2006 para o Posto pluviométrico de Itirapina.

Posto pluviométrico / Ano	Período	Total precipitado (mm)
São Pedro / 1988	Janeiro a Dezembro	1406,6
São Pedro / 2000	Janeiro a Dezembro	1536,8
Itirapina / 2006	Janeiro a Julho	767,8

3.9.4.4 VEGETAÇÃO NATIVA, USO E OCUPAÇÃO

A região estudada encontra-se na zona de transição entre uma mata mesófila e o cerrado (BRASIL, 1977), preservados parcialmente em alguns bolsões e nas encostas. As zonas das frentes das cuestas apresentam-se em sua maioria desprovidas de vegetação, expondo as formações rochosas. Nas áreas de mais difícil acesso a mata original ainda está preservada, com apenas algumas partes modificadas por ações antrópicas.

Pode-se apontar a ausência de mata ciliar no médio e baixo curso dos rios da Bacia do Corumbataí, ocupado geralmente pelo cultivo de cana ou pastagens, sendo alguns remanescentes de mata ciliar encontrados ao longo do Rio da Cabeça e do Rio Passa Cinco (ZAINÉ, 1996), além de drenagens de menor porte, como pode ser observado na Figura 12.

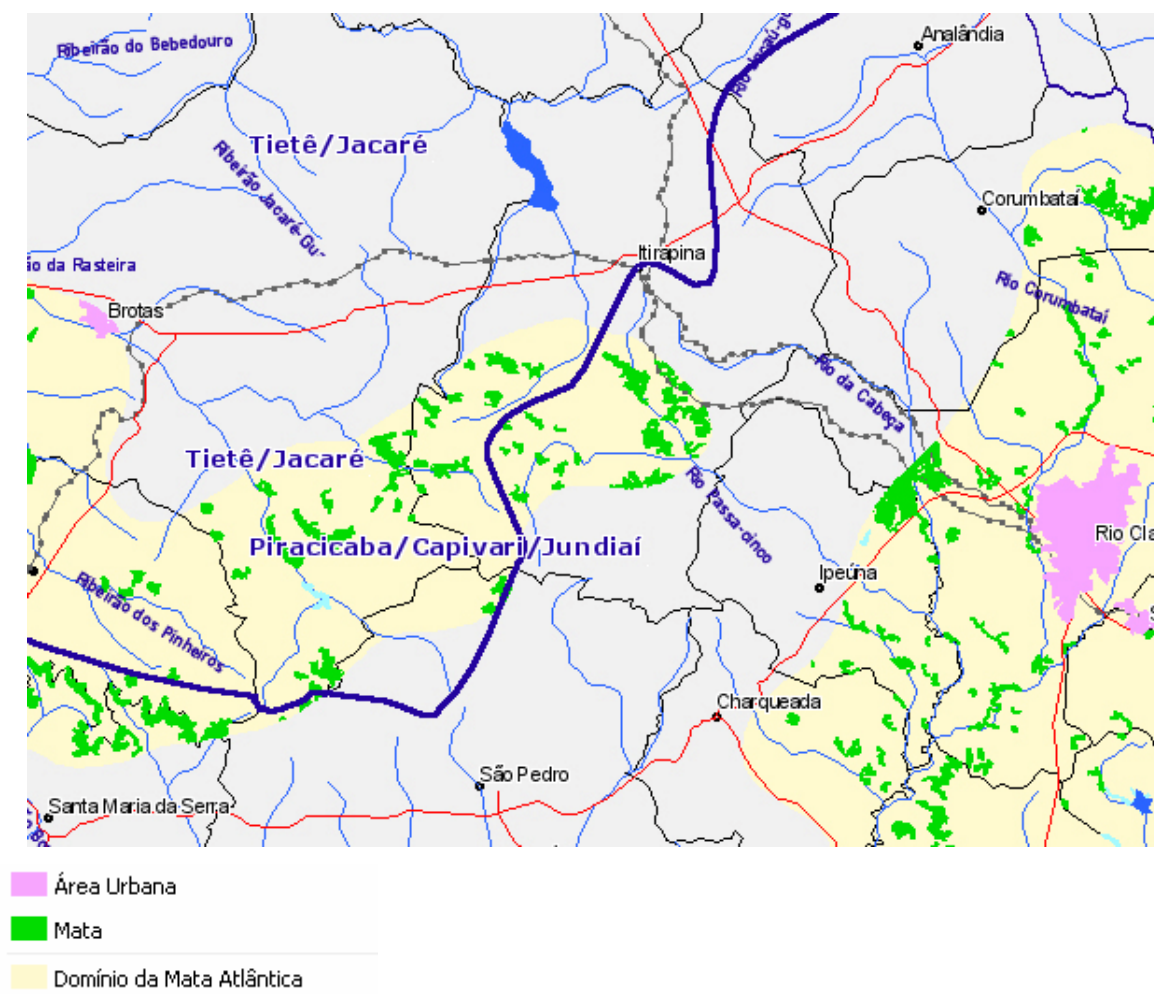


Figura 12: Vegetação da região em estudo (FONTE: SOS Mata atlântica e FEHIDRO, 2005).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução total do projeto foi dividida em várias etapas. Primeiramente, foi feita a composição da base de dados cartográficos, seguida da composição das imagens aéreas. A partir desse banco de dados cartográficos foi escolhida uma bacia menor, dentro da grande área da Serra do Itaqueri para direcionar os estudos e levantamento dos dados, assim como a identificação do número de corpos d'água e do grau de degradação dos mesmos.

Paralelamente a isso se realizou a coleta de dados pluviométricos através da instalação de pluviômetros em duas regiões. Também foram executadas visitas a campo para reconhecimento da área, visualização e análise da modificação da densidade da rede hidrográfica e levantamento de poços e minas, juntamente com a amostragem de águas dos mesmos.

A execução do estudo pode ser observada conforme fluxograma exibido na Figura 13.

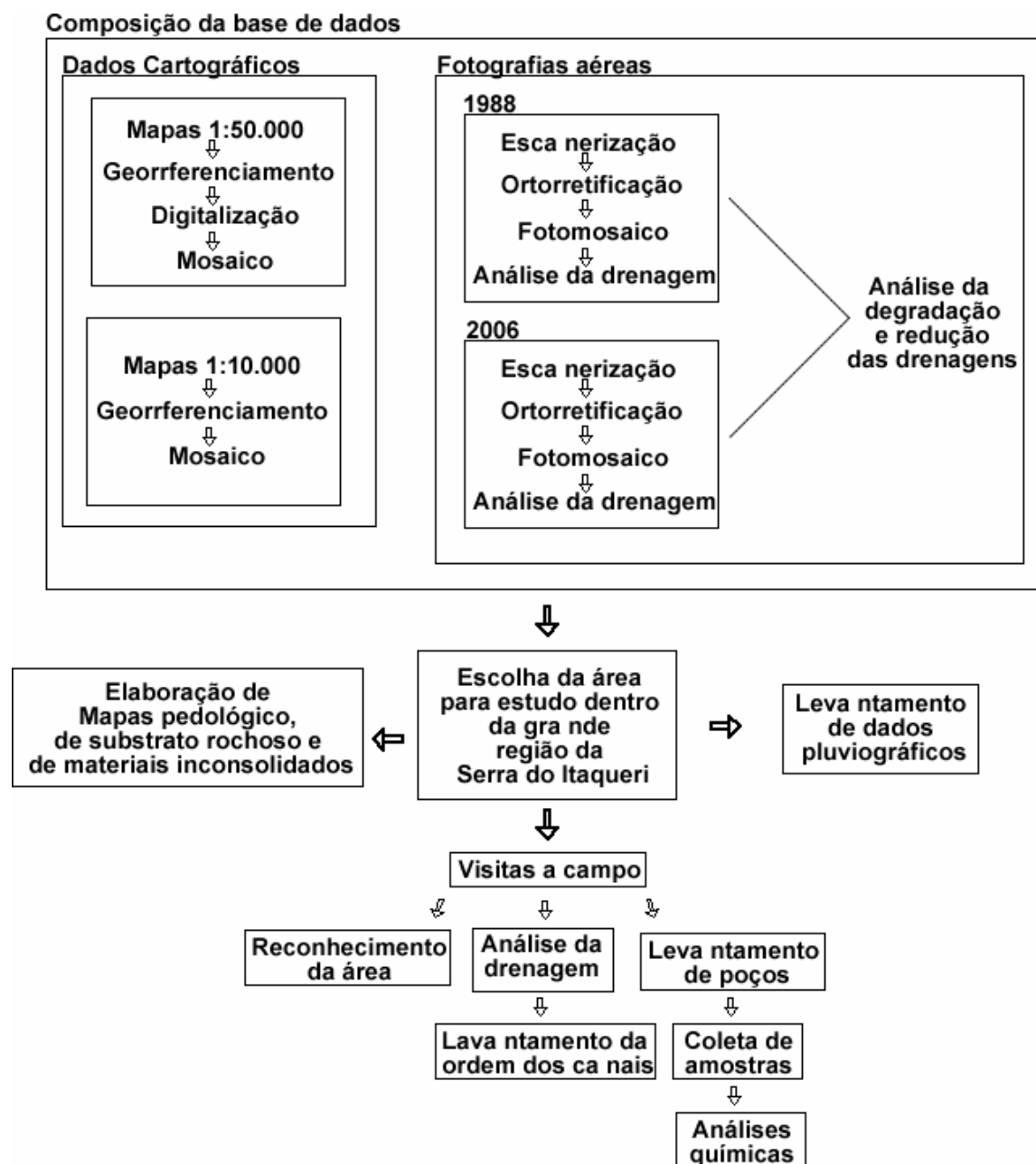


Figura 13: Fluxograma das atividades executadas.

4.1 COMPOSIÇÃO DA BASE DE DADOS

Na primeira etapa foi feito o georreferenciamento de mapas na escala de 1:50000 dos municípios de Brotas, Itirapina, Corumbataí, Santa Maria da Serra, São Pedro, Piracicaba e Rio Claro, assim como a digitalização das vias de acesso, curvas de nível e canais de drenagens. Para esse processo foi utilizado o programa ArcGis. A partir desses

mapas elaborou-se um mosaico. Essa etapa do trabalho foi importante para um reconhecimento da área geral, analisando vias de acesso e redes de drenagens.

Também foi feito o georreferenciamento de cartas na escala de 1:10.000, juntamente com a montagem de outro mosaico. Para a montagem desse mosaico foram utilizadas 65 cartas conforme mostra o esquema da Tabela 8.

Tabela 8 - Esquema de cartas na escala 1:10.000 utilizado na montagem do mosaico.

	81	82	83	84	85	86	87	88	89
60	--	SF-22- Z-B-III- 2-SE-E	SF-22- Z-B-III- 2-SE-F	--	--	SF-23- Y-A-I-1- SE-E	SF-23- Y-A-I-1- SE-F	--	--
61	SF-22- Z-B-III- 4-NO-B	SF-22- Z-B-III- 4-NE-A	SF-22- Z-B-III- 4-NE-B	SF-23- Y-A-I-3- NO-A	SF-23- Y-A-I-3- NO-B	SF-23- Y-A-I-3- NE-A	SF-23- Y-A-I-3- NE-B	SF-23- Y-A-I-4- NO-A	SF-23- Y-A-I-4- NO-B
62	SF-22- Z-B-III- 4-NO-D	SF-22- Z-B-III- 4-NE-C	SF-22- Z-B-III- 4-NE-D	SF-23- Y-A-I-3- NO-C	SF-23- Y-A-I-3- NO-D	SF-23- Y-A-I-3- NE-C	SF-23- Y-A-I-3- NE-D	SF-23- Y-A-I-4- NO-C	SF-23- Y-A-I-4- NO-D
63	SF-22- Z-B-III- 4-NO-F	SF-22- Z-B-III- 4-NE-E	SF-22- Z-B-III- 4-NE-F	SF-23- Y-A-I-3- NO-E	SF-23- Y-A-I-3- NO-F	SF-23- Y-A-I-3- NE-E	SF-23- Y-A-I-3- NE-F	SF-23- Y-A-I-4- NO-E	SF-23- Y-A-I-4- NO-F
64	SF-22- Z-B-III- 4-SO-B	SF-22- Z-B-III- 4-SE-A	SF-22- Z-B-III- 4-SE-B	SF-23- Y-A-I-3- SO-A	SF-23- Y-A-I-3- SO-B	SF-23- Y-A-I-3- SE-A	SF-23- Y-A-I-3- SE-B	SF-23- Y-A-I-4- SO-A	SF-23- Y-A-I-4- SO-B
65	SF-22- Z-B-III- 4-SO-D	SF-22- Z-B-III- 4-SE-C	SF-22- Z-B-III- 4-SE-D	SF-23- Y-A-I-3- SO-C	SF-23- Y-A-I-3- SO-D	SF-23- Y-A-I-3- SE-C	SF-23- Y-A-I-3- SE-D	SF-23- Y-A-I-4- SO-C	SF-23- Y-A-I-4- SO-D
66	SF-22- Z-B-III- 4-SO-F	SF-22- Z-B-III- 4-SE-E	SF-22- Z-B-III- 4-SE-F	SF-23- Y-A-I-3- SO-E	SF-23- Y-A-I-3- SO-F	SF-23- Y-A-I-3- SE-E	SF-23- Y-A-I-3- SE-F	SF-23- Y-A-I-4- SO-E	SF-23- Y-A-I-4- SO-F
67	SF-22- Z-B-VI- 2-NO-B	SF-22- Z-B-VI- 2-NE-A	SF-22- Z-B-VI- 2-NE-B	--	--	SF-23- Y-A-IV- 1-NE-A	SF-23- Y-A-IV- 1-NE-B	SF-23- Y-A-IV- 2-NO-A	SF-23- Y-A-IV- 2-NO-B

Para o processo de georreferenciamento foi necessária a escolha de três ou mais pontos espaçados com as coordenadas de latitude e longitude marcadas na área da carta ou mapa. No processo de georreferenciamento dos mapas de escala 1:50.000 foram utilizados, em média, seis pontos para cada mapa. Já nas cartas de escala 1:10.000 foram utilizados quatro pontos em cada, sendo um em cada extremidade da carta. Para o georreferenciamento deve ser respeitado um nível mínimo de erro aceitável, determinado para cada escala, conforme a equação abaixo:

$$e = 0,0002 * \text{denominador da escala}$$

Sendo o erro máximo (e) igual a dois para a escala de 1:10000 e dez para a escala de 1:50000.

Na segunda etapa do estudo da área, foram escanerizadas fotos aéreas de dois diferentes vôos, um do ano de 1988, com escala de 1:40.000 e um do ano de 2006, com escala de 1:30.000. Para a utilização dessas imagens, foi feita a correção das distorções (ortorretificação), que são provenientes do movimento do aparelho de fotografia, das variações da velocidade do vôo, da rotação e curvatura da Terra, da altitude e posição da plataforma e das distorções de panorama e topografia. Nesse processo de ortorretificação foram usadas as cartas georreferenciadas anteriormente (para obtenção das coordenadas latitudinais, longitudinais e de altitude), o certificado de calibração (que lista os parâmetros da câmara fotográfica) e o programa ENVI.

A partir dessas imagens ortorretificadas foi feito um fotomosaico para cada vôo, sendo possível assim avaliar o grau de degradação da cobertura vegetal e dos corpos hídricos.

A partir desse levantamento de dados referentes a toda região da Serra do Itaqueri, foi possível identificar uma área com características de mudança de cobertura de solo, quantidade de corpos d'água e localização adequadas ao presente estudo. A área escolhida foi a margem direita do rio Jacaré Pepira, desde as nascentes, até a formação da represa do Patrimônio, localizada no bairro do Patrimônio, em Brotas, conforme mapa no Apêndice A.

Essa área foi escolhida devido a três principais fatores. A importância para as redes de drenagem da região, já que representa uma área de nascentes do rio Jacaré-pepira, a facilidade de acesso a área, pois seriam necessárias visitas a campo e existe uma via de acesso muito próxima a área e por representar uma região que traria resultados significativos para o estudo em questão.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para o estudo pluviométrico da região, foram instalados dois pluviógrafos IRRIPLUS, conforme mostram as Figura 14 e Figura 15, localizados, um na latitude de 22°26'03,46'' S, longitude 47°54'49.21'' W e altitude de 948 metros, no bairro do Palmital, e outro na latitude 22°25'35'' S, longitude 47°59'13'' W e altitude de 825 metros, conforme ilustrado no Apêndice A. Esses equipamentos registram chuvas com precisão

temporal de um segundo, sendo possível a análise pluviométrica do local. Existiu um intervalo entre a instalação dessas duas unidades de medição, sendo analisada, no presente trabalho, apenas os dados referentes ao primeiro pluviógrafo instalado.



Figura 14: Primeiro pluviógrafo IRRIPUS instalado, na latitude de 22°26'03,46'' S, longitude 47°54'49.21'' W e altitude de 948 metros, no bairro do Palmital.



Figura 15: Segundo pluviógrafo IRRIPLUS instalado, na latitude 22°25'35'' S, longitude 47°59'13'' W e altitude de 825 metros.

Para a instalação desses equipamentos foi feita a calibração prévia dos aparelhos. Essa calibração consistiu na aferição do volume interno registrado por batida. A batida consiste no armazenamento de um pequeno volume de água em uma pá, conforme mostra a Figura 16, que quando cheia fica pesada e despeja o conteúdo interno, marcando esse volume em um sensor acoplado.

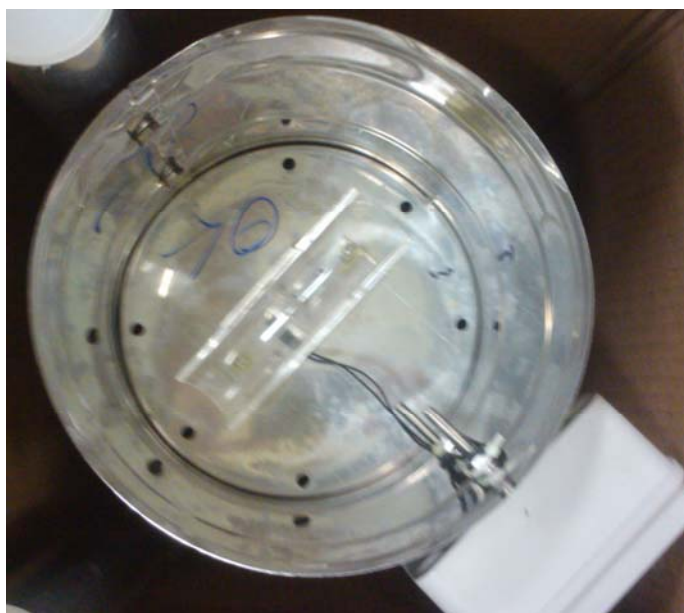


Figura 16: Funcionamento interno do pluviógrafo IRRIPLUS.

Uma vez vazia essa pá entra em um novo ciclo. Cada batida é registrada na memória interna do equipamento, sendo possível calcular a lâmina a partir da área de coleta da chuva e do número de batidas. Na obtenção dos dados utiliza-se um hardware com o software específico (Figura 17) instalado. Esse software consegue executar a leitura do aparelho, sendo possível a manipulação dos dados no programa Microsoft Office Excel.

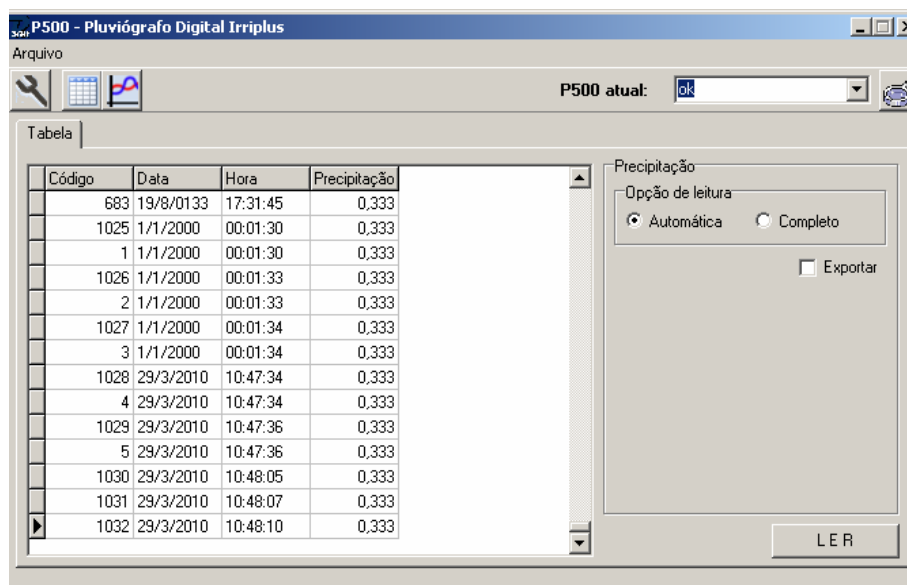


Figura 17: Estrutura do software para auxílio na obtenção dos dados.

4.3 MAPA PEDOLÓGICO, DE SUBSTRATO ROCHOSO E DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

A partir da escolha da área, foi feita uma análise dos materiais inconsolidados, do substrato rochoso e do material pedológico da região e levantado as formações e materiais predominantes na região. A partir da obtenção de cartas para esses três quesitos na região, foi feita a digitalização e elaboração de mapas para a área em estudo.

4.4 LEVANTAMENTO DA ORDEM DOS CANAIS

Também foi feito um levantamento do número de canais conforme hierarquia da rede de drenagem proposta por Strahler (1994). Para esse levantamento foi feito a digitalização da rede de drenagem para fotos aéreas de 1988 e 2006. Esse levantamento do número de canais também foi acompanhado por visitas a campo, que determinaram as características e condições desses corpos d'água atualmente.

4.5 LEVANTAMENTO DE POÇOS E MINAS

Foi feita uma análise da profundidade do lençol através do levantamento de poços e minas na região em estudo. Para cada poço ou mina disponível para análise foi feita a retirada das coordenadas UTM para o ponto e aferição da altitude com a utilização de um GPS, foi medida a profundidade no caso dos poços e retirada uma amostra de água para análise química.

Para a medição da profundidade do poço utilizou-se um instrumento, conforme mostra a Figura 18.



Figura 18: Instrumento para medição da profundidade dos poços com galvanômetro acoplado. (instrumento desenvolvido pelo técnico Antonio Garcia do laboratório de Geotecnia da Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo)

Esse instrumento é composto de um galvanômetro, que é um instrumento para medição de correntes elétricas de baixa intensidade ou diferença de potencial elétrico entre dois pontos, com um fio de corrente bem longo e graduado. Esse fio é desenrolado e em sua extremidade encontra-se o sensor de corrente, que é levado até o nível de água do poço. Quando essa ponteira do galvanômetro atinge a água o visor, que está preso a base que ficou na parte superior do poço, indica uma corrente, sinalizando que o sensor atingiu o nível de água do poço. Assim pode-se aferir a profundidade olhando o fio que tem uma escala métrica.

4.6 AMOSTRAGEM DA ÁGUA

Para a retirada de amostras para análises químicas, utilizaram-se garrafas plásticas novas. Essa amostragem é feita coletando-se 0,5 litros da água na garrafa. O recipiente deve ser lavado com a própria água do local que se deseja amostrar e após isso se deve encher e identificar com dados referentes ao local da coleta e data. Caso as amostras tenham que ficar armazenadas antes da análise, essa deve ser colocada sob refrigeração até o chegar ao

laboratório, conforme mostrado na Figura 19. Deve-se atentar para o fato de não deixar a amostra entrar em contato com as mãos.



Figura 19: Armazenamento das amostras.

Para a retirada de amostras dentro do poço, em profundidade, foi utilizado o instrumento conforme Figura 20.



Figura 20: Instrumento para retirada de amostra dos poços (instrumento desenvolvido pelo técnico Antonio Garcia do laboratório de Geotecnia da Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo)

Esse instrumento é composto de uma manivela com uma corda resistente enrolada, que contem um recipiente de coleta na sua extremidade. Esse recipiente tem uma ponta mais pesada na extremidade inferior e dois furos na extremidade superior. Ao entrar em contato com a água esse recipiente afunda e enche de água. A partir da água contida nesse recipiente executa-se o mesmo procedimento já citado para coleta.

Caso não seja possível coletar a amostra diretamente de dentro do poço, deve-se obtê-la o mais próximo possível da fonte, não sendo recomendado coletar de caixas d'água e reservatórios. Neste caso, deve-se abrir a torneira, deixar correr a água por um determinado tempo, e então fazer a coleta.

No caso das minas, deve-se evitar coletar muito próximo a margem. É recomendado aprofundar um pouco a garrafa para fazer a coleta. Caso a lâmina d'água seja muito rasa, deve-se utilizar um outro recipiente, como um béquer ou até mesmo uma seringa, bem próximo a superfície, sem entrar em contato com o chão.

4.7 ANÁLISES QUÍMICAS

Após essa coleta foram feitas análises químicas de pH, Eh e condutividade de todos os pontos amostrados.

Para a análise dos três parâmetros deve-se dispor as amostras em um béquer, previamente lavado, primeiramente com água destilada e depois com a própria amostra, quando em quantidade suficiente. As análises devem ser feitas na seguinte ordem: Condutividade, Eh e pH, pois para a medição do pH o aparelho utiliza-se de uma pequena quantidade de solução de referência que pode alterar a condutividade da amostra.

Na análise do pH foi utilizado um peagâmetro, conforme mostra a Figura 21. Para o prosseguimento das análises foi feita a calibração prévia utilizando uma solução padrão com pH igual a 7, seguida de uma solução tampão de pH igual a 4.



Figura 21: Peagâmetro utilizado em laboratório para medição do pH.

Após a calibração e disposição da amostra em um béquer, a haste do P-agâmetro, composta por um bulbo de vidro, é inserida na amostra e, após sinalização do aparelho, o valor é aferido.

Na análise do Eh, que consiste na medida do potencial de oxi-redução de uma solução, expresso em milivolts, foi utilizado um aparelho, conforme mostra Figura 22. Esse aparelho utiliza eletrodo de dupla junção de Platina (Pt) e referência Prata/Cloreto de Prata (Ag/AgCl). Esse instrumento também foi previamente calibrado, com utilização de solução padrão, com potencial de oxi-redução de $476 \text{ mV} \pm 5 \text{ mV}$

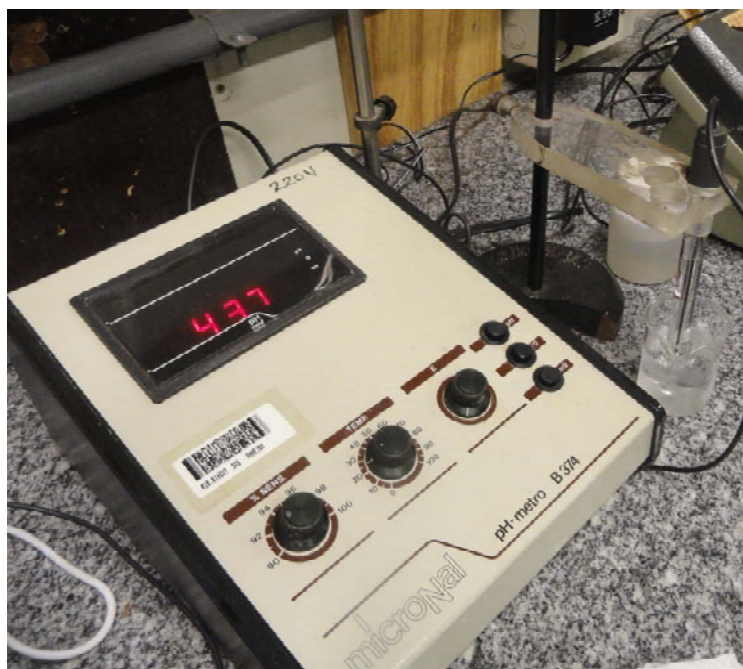


Figura 22: Instrumento para medição do potencial de oxi-redução da solução (Eh).

Por fim, para as análises de condutividade foi utilizado um condutivímetro, conforme mostra Figura 23.



Figura 23: Condutivímetro utilizado para medição de condutividade elétrica.

Esse aparelho também foi previamente calibrado, utilizando uma solução padrão. Os valores para condutividade são expressos em micro-Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

5 RESULTADOS

5.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A partir da análise geral da região da Serra do Itaqueri, foi possível escolher uma área menor para estudo aplicado, juntamente com visitas a campo, execução de ensaios, levantamento de poços para confecção de uma malha pra definir o nível da zona saturada, entre outros.

A área escolhida para o presente estudo corresponde a porção exibida conforme Apêndice A. Essa área representa a margem direita do rio Jacaré-Pepira e está localizada entre as coordenadas longitudinais $48^{\circ}1'5''$ W e $47^{\circ}53'58''$ W e latitudinais $22^{\circ}24'37''$ S e $22^{\circ}28'3''$ S. Está localizada a norte da cidade de São Pedro – SP e na sua porção esquerda está localizada a represa do Patrimônio, localizada no Bairro do Patrimônio, a 25 quilômetros do centro de Brotas – SP.

5.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

5.2.1 CHUVA

A partir da instalação dos pluviógrafos pode-se obter uma tabela de dados para chuvas. A partir dessa tabela foi elaborado um gráfico com valores da chuva em milímetros de lâmina, pelo tempo, no intervalo de Janeiro a Agosto de 2011, conforme mostra Figura 24.

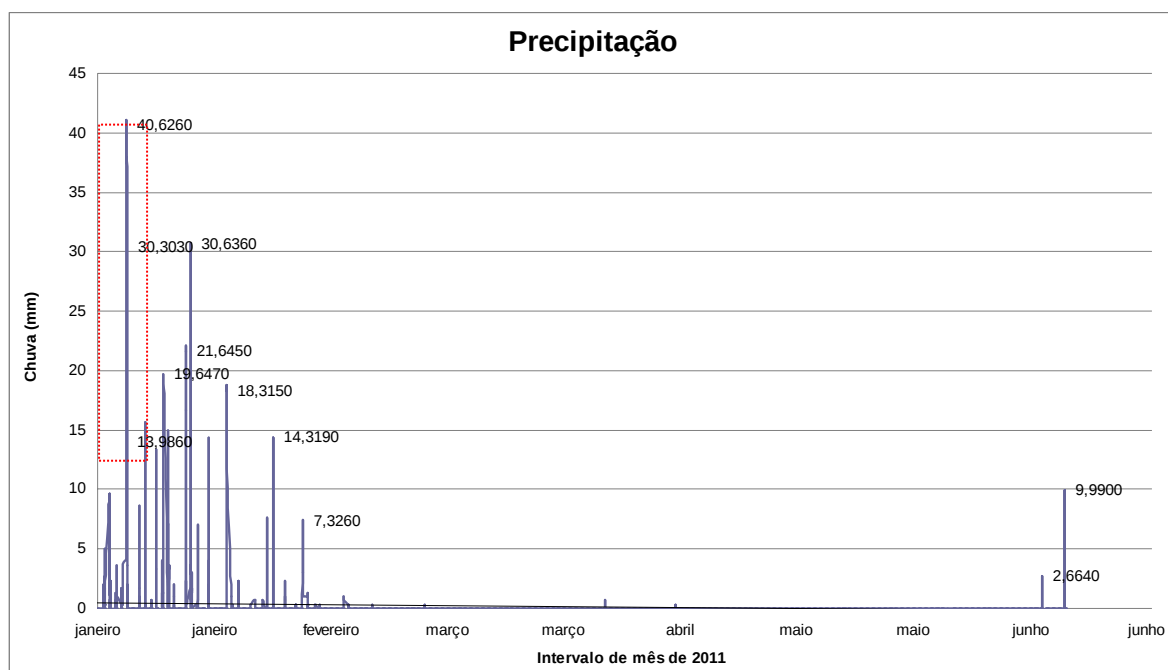


Figura 24 : Gráfico com os valores de precipitação para Janeiro a Agosto de 2011.

Para uma análise menos detalhada, foi feita uma síntese para a precipitação em milímetros de cada mês do período em que os dados foram coletados, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Pluviosidade referente aos meses de Janeiro a Agosto de 2011.

Meses do ano de 2011	Precipitação em milímetros de chuva
Janeiro	547,785
Fevereiro	46,953
Março	0,666
Abril	0,333
Maio	0
Junho	12,654
Julho	0
Agosto	0

No entanto, para a análise do comportamento da infiltração da água no solo no regime das chuvas não importa apenas o volume de água que precipita em um mês, e sim qual é a intensidade de chuva em um determinado período de tempo. Dentro do período de um mês, pode ocorrer a saturação do solo e infiltração para as camadas mais profundas inúmeras vezes, no entanto em um período de horas ou dias, a partir do momento que o solo satura, se inicia o processo de escoamento superficial. Dessa forma, é importante a análise de chuvas em um intervalo de tempo reduzido.

Como pode ser notado, no dia 6 de janeiro de 2010 (destacado no Figura 24), por exemplo, em um período de 3 horas, choveu aproximadamente 85 milímetros, o equivalente a um sexto de toda a precipitação do mês de janeiro, conforme mostra a Tabela 10. Inclusive, essa precipitação, no período de três horas, foi maior que a precipitação de todos os outros meses apontados no presente estudo.

Tabela 10 - Tabela com a pluviosidade para 3 horas (da 1:00 as 3:00) do dia 6/01/2001.

Horário e dia	Precipitação em milímetros de chuva
01:00 às 02:00 do dia 6/01/2011	13,986
02:00 às 03:00 do dia 6/01/2011	40,959
03:00 às 04:00 do dia 6/01/2011	30,24
Total	85,24

Esse tempo reduzido, com uma intensidade de chuva elevada, demonstra que desse total precipitado apenas uma pequena parte infiltrou no subsolo e caracterizou a recarga do aquífero, enquanto grande parte do volume escoou superficialmente devido a rápida saturação da camada superficial do solo. Processo diferente do que ocorre para uma chuva de intensidade baixa com período longo, onde os processos de saturação do solo e início do escoamento superficial ocorrem de formas distintas.

5.2.2 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

5.2.2.1 CARTA DE DECLIVIDADE

Cartas de declividade contêm informações a respeito do relevo da região, indicando em porcentagem a inclinação do terreno em relação a um plano horizontal.

Para a análise da declividade da região em estudo, também foi elaborada uma carta de declividade em porcentagem com intervalos adotados conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Tabela com a classe de declividades utilizada para a confecção do mapa de declividade e porcentagens de cada classe.

Classe de declividade	Intervalos em porcentagem	Porcentagem encontrada
1	<2%	40,53
2	2% a 5%	49,75
3	5% a 10%	8,22
4	10% a 20%	1,35
5	>20%	0,15

A partir das porcentagens encontradas, pode-se verificar que em média, a declividade da região é baixa, com aproximadamente 90% da área com declividade inferior a 5%. Poucos pontos tem declividades superiores a 10%, representando uma área menor que 2% da total.

A carta de declividade gerada está no Apêndice B.

5.2.2.2 MAPA PEDOLÓGICO

Quanto a classificação pedológica, podem ser apontados sete diferentes classes de solo: Latossolo Roxo, Latossolo vermelho escuro, Podzólico vermelho amarelo, Latossolo vermelho amarelo, Solos hidromórficos, Areias Quartzozas Profundas e Solos Litólicos. Na região predomina o Latossolo vermelho amarelo, conforme mostra o Apêndice C.

5.2.2.3 MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Quanto aos materiais inconsolidados, estão presentes na área em estudo, principalmente os residuais da formação Itaqueri argiloso, mas também é encontrado residuais da Formação Botucatu, residuais da Formação Serra Geral, retrabalhado misto e concreções lateríticas, conforme exibido no mapa do Apêndice D.

5.2.2.4 SUBSTRATOS ROCHOSOS

O substrato rochoso da região é constituído pela litologia da Formação Itaqueri em sua grande extensão, sendo presente também uma porção da Formação Serra Geral e Formação Botucatu, conforme mostra o mapa presente no Apêndice E.

5.2.3 HIDROGRAFIA

A partir da digitalização dos corpos hídricos da região em estudo foi possível elaborar um mapa com a rede de drenagem atual da área, conforme Apêndice F.

5.3 RESULTADOS ESPECÍFICOS

5.3.1 ÁREAS

Para o estudo da degradação das águas superficiais foi feita uma análise comparativa entre a densidade de drenagem, classificando os corpos hídricos conforme a hierarquia da rede de drenagem proposta por Strahler (1994), entre os anos de 1988 e 2006.

5.3.1.1 DRENAGEM - 1988

Para a caracterização da rede de drenagem para o ano de 1988, 23 anos atrás, foram digitalizadas as redes de drenagem a partir da sobreposição de fotos aéreas do voo de 1988, conforme exibido no Apêndice G.

A partir da digitalização foi feita a classificação da ordem dos rios, obtendo os seguintes dados, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Tabela com as ordens dos rios e quantidade de segmentos observados obtidos pela análise de fotos aéreas de um voo de 1988.

Ordem dos rios	Quantidade de segmentos observados
1	95
2	24
3	4

Também foi calculado, a partir do programa ArcGis, a extensão da rede de drenagem, obtendo o valor de 110,4 quilômetros. Como a bacia em estudo tem uma área aproximada de 66,1 quilômetros quadrados a densidade de drenagem é, para o ano de 1988, de 1,67 km/km².

5.3.1.2 DRENAGEM - 2006

Já para a caracterização da rede de drenagem deste ano, foram digitalizadas as redes de drenagem a partir da sobreposição de fotos aéreas do voo de 2006, conforme exibido no Apêndice F.

A partir da digitalização foi feita a classificação da ordem dos rios, obtendo os seguintes dados, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Tabela com as ordens dos rios e quantidade de segmentos observados obtidos pela análise de fotos aéreas de um voo de 2006.

Ordem dos rios	Quantidade de segmentos observados
1	63
2	15
3	3

Para este ano, também foi calculado a extensão da rede de drenagem, obtendo o valor de 93,2 quilômetros. Para o valor de 66,1 de área da bacia a densidade de drenagem é, atualmente, de 1,4 km/km².

A partir dessa análise pode ser observada uma diminuição na densidade de drenagem para a bacia em um período de 23 anos. A redução do número de canais foi de 32 para canais de ordem um e de 9 para canais de ordem dois. A redução da extensão total da rede de drenagem foi de 17,2 quilômetros e da densidade de drenagem foi de 0,27 km/km². A redução de 42 segmentos de canais nesse período, também revela uma diminuição de 0,63 segmentos por quilômetros quadrados na densidade da rede hidrográfica.

Isso demonstra uma redução significativa na densidade de drenagem e na densidade da rede hidrográfica, proveniente da diminuição do volume de água que permanece no ciclo hidrogeológico na forma de infiltração. Essa redução da infiltração resulta numa diminuição do número de nascentes, que originam os canais de ordem um. Além da diminuição do número de segmentos e do comprimento total, observa-se também uma redução no volume de água dos canais de ordem maior, o que revela uma diminuição no afloramento ao longo dos corpos hídricos, no contato geológico entre camadas mais permeáveis e pouco permeáveis (basalto).

5.3.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Para a análise química da água foi feito um levantamento de poços e minas da região, conforme mostra a Tabela 14. Os pontos amostrados também podem ser observados no mapa em Apêndice H.

Tabela 14 - Tabela com os pontos levantados para coleta de água e localização.

Ponto	Localização UTM			Altitude do ponto aferida por GPS	Profundidade do poço*	Características do ponto
	Zona	E	N			
1	23K	199636	7516533	935	0	Mina
2	23K	199339	7517732	931	3,45	Cisterna
3	23K	192115	7518186	830	0	Mina
4	23K	198685	7513438	889	10	Cisterna
5	23K	198617	7513428	891	11	Cisterna
6	23K	198747	7513477	885	0	Mina

Tabela 14 - Tabela com os pontos levantados para coleta de água e localização. CONTINUAÇÃO

7	23K	198337	7513712	882	9	Cisterna
8	23K	200638	7516348	926	312	Poço artesiano
9	23K	198346	7517960	890	0	Mina
10	23K	197342	7517260	880	0	Mina
11	23K	195586	7517533	879	0	Mina
12	23K	194774	7517297	875	0	Mina
13	23K	192526	7516767	865	105	Poço semi-artesiano
14	23K	191523	7515208	835	0	Mina
15	23K	192512	7516066	847	0	Mina
16	23K	194148	7514947	864	0	Mina
17	22K	807338	7515343	822	0	Mina
18	23K	198379	7514214	898	0	Mina
19	23K	197367	7512046	853	0	Mina
20	23K	197300	7511982	859	8	Cisterna
21	23K	200003	7515571	924	3,5	Cisterna
22	23K	196640	7514534	889	0	Mina

*o valor zero (0) corresponde a minas

A partir de um levantamento feito com os próprios proprietários e moradores da região, constatou-se uma diminuição no nível d'água dos poços e volume d'água de nascentes e corpos hídricos. Muitos acabaram recorrendo a perfuração de dois ou mais cisternas, uso conjunto de cisternas e minas ou até mesmo perfuração de poços semi-artesianos.

Para cada poço ou fonte foi coletada amostra de água e feitas medidas de pH, Eh e condutividade elétrica. Os dados obtidos a partir das análises químicas podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 - Tabela com o resultado das análises Físico-químicas.

Ponto	Tipo de fonte	pH	Condutividade (uS/cm)	Eh (mV)
1	Mina	5	80,5	402
2	Cisterna	5,3	12	360
3	Mina	5,5	19,3	368
4	Cisterna	5,2	6,9	375
5	Cisterna	5,5	11,6	388
6	Mina	5,5	8,6	238
7	Cisterna	5,5	9,9	280
8	Poço artesiano	6,1	29,6	370
9	Mina	5,4	7,5	354
10	Mina	5,9	8,6	218
11	Mina	5,9	19	141
12	Mina	6	23,6	126
13	Poço semi-artesiano	7	66,7	340
14	Mina	6,4	22,9	337
15	Mina	5,7	7,3	318
16	Mina	5,9	10,1	295
17	Mina	6,4	8	179
18	Mina	5,1	9,5	384
19	Mina	5,7	21,5	278
20	Cisterna	5,4	7,2	366
21	Cisterna	5,6	12,8	279
22	Mina	5,8	8,2	331

A partir desses resultados pode-se observar que a água da região estudada tem uma ligeira acidez. Porém nada que prejudique a produtividade das culturas. A utilização de fertilizantes também pode acarretar em uma acidez do solo e conseqüentemente da água subterrânea.

A condutividade elétrica é a capacidade de uma solução em conduzir corrente elétrica, sendo essa capacidade função dos íons presentes na água, na qual quanto maior a concentração iônica, maior sua condutividade. Vários fatores podem influenciar a composição iônica, tais como geologia, regime de chuvas, temperatura e pH.

Segundo Batista e Filipe (2007), os valores para condutividade elétrica para águas ultra pura, destilada, de torneira e na literatura estão exibidos na Tabela 16.

Tabela 16 – Condutividade para uma temperatura de referência de 20°C (FONTE: BATISTA E FILIPE, 2007).

Tipo de água	Condutividade (uS/cm)
Ultra Pura	0,487
Destilada	7,873
Torneira	462,4
Literatura *	0,055

* Detectada por equipamento sensível a 25 °C

Para esse parâmetro obtiveram-se valores baixos, provavelmente devido a baixa presença de íons de sais minerais, característico da formação geológica.

Para o Eh, que corresponde ao potencial de oxi-redução de uma solução, obteve-se valores, em média, superiores a 220 mv, o que corresponde a uma solução oxidante. No entanto, alguns pontos apresentaram valores inferiores ou muito próximos a 220 mV, o que representa soluções redutoras. Esses valores são encontrados nos pontos 6, 10, 11, 12 e 17, que correspondem a minas.

6 PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO

Para a eliminação ou minimização do impacto sobre as águas superficiais da região, se torna necessária a implantação de um programa de recuperação, visando a redução dos efeitos adversos decorrentes das intervenções e alterações ambientais inerentes ao processo de ocupação antrópica e mudança de cobertura vegetal para a implantação de monoculturas.

Para um projeto como este seria necessário o levantamento de alguns fatores juntamente com a avaliação da viabilidade dos mesmos, como por exemplo:

- Análise e levantamento das regiões de recarga de aquíferos visando a proteção do recurso subterrâneo;
- Análise da topografia das áreas a reabilitar;
- Análises físico-químicas do solo das áreas a reabilitar;
- Manutenção dos remanescentes de vegetação natural;
- Seleção e mensuração do tipo de uso mais adequado, considerando um manejo sustentável da área;
- Análise da vegetação ocorrente na região das áreas a reabilitar;
- Levantamento e introdução de atividades de preparo e correção do solo para plantio, em conjunto com os produtores locais;
- Controle e monitoramento dos processos utilizados para a colheita mecanizada;
- Controle e monitoramento da utilização de químicos nas plantações;
- Atividades de plantio integradas ao cultivo da região, considerando áreas de agroflorestas e;
- Atividades de manutenção dos plantios, entre outras propostas.

7 CONCLUSÕES

A partir do estudo em questão pode-se concluir que ocorreu uma redução no número de segmentos de canais durante um período de 23 anos (de 1988 a 2006) de 42 canais, revelando uma diminuição de 0,63 segmentos por quilometro quadrado de bacia hidrográfica.

Ocorreu também uma diminuição da extensão total da rede de drenagem e da densidade de drenagem. Esses valores foram reduzidos em 17,2 quilômetros para a extensão total e 0,27 km/km² para a densidade.

Ocorreu também uma redução no número de canais de ordem um, o que revela uma redução do número de nascentes. A redução de canais de ordem um tem como consequência a diminuição do volume de água dos canais de maiores ordem.

As águas amostradas tem um valor médio de 5,76 para pH, revelando uma água ligeiramente ácida, diretamente relacionada as características dos materiais geológicos. A condutividade elétrica também é relativamente baixa, revelando a baixa presença de íons de sais minerais, característico da formação geológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNEW, C.; WARREN, A. A framework for tackling drought and land degradation. Department of Geography, University College London, U.K., 1995.

AHRENDT, A. Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: Aplicação na área urbana de Campos do Jordão - SP. Tese (Doutor em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ARAÚJO, T. P. Novos Métodos Aplicados ao Processamento Digital de Imagens na Região de Mangaratiba – Angra dos Reis, RJ.. 95 f. Monografia (título de geólogo) - Departamento de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRuralRJ, 2008.

BATISTA, E. FILIPE, E. A influência da variação da condutividade e densidade da água na calibração gravimétrica - Instituto Português da Qualidade (IPQ) ã Rua Ant nio Gi.,o, 2 ã Caparica ã Portugal, 2007.

BERGER, A. R. The geoindicator concept and its application: an introduction. In: Berger AR, Iams WJ (eds) Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems. Balkema, Rotterdam, pp 1–14, 1996.

BERGER, A. R. Assessing rapid environmental change using geoindicators.. Environmental Geology 32(1):36–44, 1997.

BRASIL.. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (Convênio DNPM-CPRM). Projeto Sapucaí. São Paulo: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Diretoria da área de Pesquisas, Superintendência Regional de São Paulo. 615 p., 1997.

CARDOSO, A.; POTTER, R.O.; DEDECEK, R.A. 1992 Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no noroeste do Paraná. Pesq. Agropec. Brás., Brasília, fev 1992.

FAGUNDES, J. R. T. Estudo integrado das características geol gicogeot cnicas com vista   avaliação de recarga de a  ifero: região de São Carlos - SP. Tese (Doutor em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FERREIRA, M. D. Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação – Córrego do Tucum (São Pedr/São Paulo). Tese (Doutor em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos – Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,. 340p., 2010.

LAL, R. Soil erosion in the tropics – principles and management. McGraw-Hill, New York, 580p., 1990.

LAL, R. Soil erosion Research methods. Second Edition. Soil and water conservation society, 1994

MONTEIRO, R. C.; RIBEIRO, L. F. B. Espeleogênese de Cavernas Areníticas: algumas considerações aplicadas à Província Espeleológica da Serra de Itaqueri, Estado de São Paulo, BRASIL. 26º Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2001.

NOGAMI, J. S; VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor. 240p., 1995.

NISHIYAMA, L. Mapeamento geotécnico preliminar na quadrícula de São Carlos-SP. Dissertação (Mestre em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

NISHIYAMA, L.; ZUQUETTE, L. V. Carta para deposição de rejeitos sépticos da região da Quadrícula de São Carlos – SP: Estudo preliminar. 2º Simpósio de Geologia do Sudeste, pp 315-322 – São Paulo, 1991.

NISHIYAMA, L. Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000, aplicados ao município de Uberlândia - MG. Tese (Doutor em Engenharia Civil: Área de Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PALMA, J. B. Avaliação integrada, em diferentes escalas, dos atributos que controlam a dinâmica das águas: Aplicação para análise de risco de contaminação das águas subsuperficiais na região entre São Carlos e Ribeirão Preto. Tese (Doutora em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PEJON, O.J. Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. 223 f. Volume I. Tese (Doutor em Engenharia Civil: Área de geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O.J. Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. Volume II. Tese (Doutor em Engenharia Civil: Área de geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Elaboração de cartas de zoneamento geotécnico: exemplo da folha de Piracicaba, São Paulo – escala 1:100.000. Revista do Instituto Geológico, vol. Esp. , pp 65-69, São Paulo, SP, 1995.

PONS, N. A. D. Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos - SP, com auxílio de Geoprocessamento. Tese (Doutora em

Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SOUZA, M. L. de. Proposta de um sistema de classificação de Feições Erosivas voltados a Estudos de Procedimentos de Análises de Decisões quanto a Medidas Corretivas, Mitigadoras e Preventivas: Aplicação no Município de Umuarama (PR). Tese (Doutorado). UNESP. Rio Claro, 2001.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 2 n.1 Jan/Jun. Instituto de pesquisas Hidráulicas – UFRGS, 1997.

TUNDISI, J. G. Gestão das águas - CICLO HIDROLÓGICO E GERENCIAMENTO INTEGRADO. Cienc. Cult. vol.55 no.4 São Paulo Oct./Dec., 2003.

VITAL, H. F. M. 2007 Impacto ambiental de florestas de Eucalipto. Revista do BNdes, Rio de Janeiro, v. 14, N. 28, P. 235-276, dez. 2007.

ZAINE, M. F. Patrimônios Naturais da região de Rio Claro, Ipeúna e Serra dos Padres – análise da compatibilidade com a ocupação atual e considerações sobre sua exploração e conservação. 83 f. Relatório Final (Pós-Doutorado) - Centro de Análise e Planejamento Ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O. J.; COLARES, J.Q. dos S. Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil. Environmental Geology, 2004.