



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Câmpus de Presidente Prudente

FERNANDO RETTORE DA SILVA PARANHOS

**PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DE NASCENTE
EM ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE ÁLVARES
MACHADO- SP.**

Presidente Prudente

2012

FERNANDO RETTORE DA SILVA PARANHOS

**PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DE NASCENTE
EM ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE ÁLVARES
MACHADO- SP.**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Campus de Presidente Prudente, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Graduação.

Orientador: Professor Doutor João Osvaldo Rodrigues Nunes

Presidente Prudente

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Paranhos, Fernando Rettore da Silva.
P243p Proposta de recuperação e manejo de nascente em área rural do
município de Álvares Machado – SP / Fernando Rettore da Silva Paranhos. -
Presidente Prudente: [s.n], 2012
77 f. : il.

Orientador: João Osvaldo Rodrigues Nunes
Trabalho de graduação (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

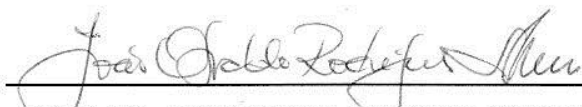
1. Nascente. 2. Proposta. 3. Recuperação. I. Nunes, João Osvaldo
Rodrigues. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e
Tecnologia. III. Proposta de recuperação e manejo de nascente em área rural
do município de Álvares Machado – SP.

TERMO DE APROVAÇÃO

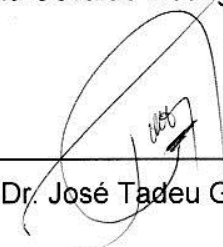
Fernando Rettore da Silva Paranhos

"PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DE NASCENTES EM ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE ÁLVARES MACHADO-SP"

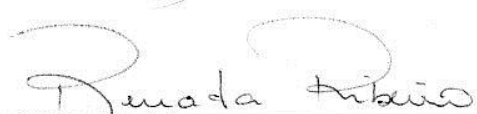
Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes (Orientador)



Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli



Profa. Dra. Renata Ribeiro de Araújo

Presidente Prudente, 26 de novembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de algumas pessoas a quem devo agradecer:

Ao Professor Doutor João Osvaldo Rodrigues Nunes, orientador deste trabalho, por todo apoio, confiança, paciência e ensinamentos. Pela forma profissional e humana que me tratou ao longo do trabalho, e por aceitar me orientar mesmo com a carga de trabalhos.

Aos funcionários do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) André de Oliveira Silva e Alvaro Yanagui e ao Diego da Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo (CODASP), pelas informações fundamentais no enriquecimento do trabalho e pela disposição em ajudar.

Aos meu pais, Alberto e Flavia, por sempre me apoiarem, pelo carinho e afeto e por batalharem tanto em prol do meu conforto.

Aos meus irmãos, Gustavo e André, pela amizade, pelos ensinamentos, por sempre estarem ao meu lado e querer meu melhor

A Gabriela Nakahara, pelo apoio, companheirismo, amizade e momentos de alegria.

Aos amigos de república, pela amizade e as risadas, principalmente ao Engenheiro Ambiental Lucas de Arruda Páscoli, pelas discussões e pelo auxílio no trabalho.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

A falta de planejamento adequado em obras de intervenção do escoamento superficial de águas em propriedades rurais e em vias rurais públicas acarreta em prejuízo econômico e perda da qualidade ambiental. O impacto da ação sem embasamento técnico gera erosão de solos, assoreamento de mananciais, prejuízos a qualidade e disponibilidade da água, inviabilizando áreas para cultivo e criação de animais. A conservação de nascentes exige além da regeneração das características ambientais a recuperação e o manejo dos cursos de água degradados de forma a controlar os processos erosivos. Este trabalho de graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP Presidente Prudente apresenta uma proposta de recuperação e manejo de nascente na área rural do município de Álvares Machado, Estado de São Paulo, através do método de “drenagem profunda” aplicado ao caso de uma estrada rural próxima ao afloramento de água. Esta técnica consiste na instalação de estruturas drenantes em áreas sub-superficiais da estrada, seja no sub-leito e/ou as margens da plataforma de rodagem com objetivo de conduzir o fluxo subterrâneo da água e reduzir a perda de sedimento no escoamento hídrico. Para tanto, foi realizado o levantamento histórico de uso e ocupação do solo no município de Álvares Machado, retratando as transformações da paisagem ocasionadas pela ação do homem. Foram coletados dados da geologia, geomorfologia, pedologia e hidrogeologia da área de estudo a fim de estabelecer os condicionantes que propiciaram a situação atual de degradação e formular uma eficiente estratégia de intervenção por obra civil.

Palavras-chave: nascentes, degradação, recuperação, manejo, Álvares Machado.

ABSTRACT

The lack of proper planning in intervention works of runoff water on rural properties and rural public roads leads to economic damage and loss of environmental quality. The impact of the action without technical base is soil erosion, siltation of water sources, loss of the quality and availability of water, invalidating areas for cultivation and livestock. The conservation of headwaters requires beyond regeneration of the environmental characteristics the repair and management of the degraded watercourse in order to control erosion. This graduate work in Environmental Engineering from Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - UNESP Presidente Prudente proposes a headwater recuperation and management in rural area of Álvares Machado municipality, São Paulo State, through the method of "deep drainage" applied to the case of a rural road near the outcrop of water. This technique consists in the installation of draining structures in sub-areas of the road surface, or sub-gutter and/or in the platform border in order to conduct the underground flow of water and reduce the loss of sediment in water flow. Therefore, was performed a historic study of use and occupation of land in the municipality of Álvares Machado, portraying transformations of the landscape caused by human action. Geology, geomorphology, pedology and hydrogeology data were collected from the study area in order to establish the conditions that led into the current situation of degradation and formulate an effective intervention strategy for civil works.

Keywords: headwaters, degradation, recuperation, management, Álvares Machado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E PROCESSOS EROSIVOS	16
4.1 Águas Subterrâneas	18
4.1.1 Fluxo e Distribuição Vertical das Águas Subterrâneas	19
4.1.2 Aquíferos	22
4.1.3 Nascentes	24
4.2 Estudo das Interações Água-Erosão	27
4.2.1 Processos Erosivos	29
4.2.2 Agentes Controladores	31
4.2.3 Tipos de Erosão	34
5 HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE ÁLVARES MACHADO	35
5.1 Histórico de fundação do município	35
5.1.1 As erosões rurais e seus impactos aos recursos hídricos e à produção agrícola	37
5.1.2 Uso e ocupação atual	39
6 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS REGIONAIS DA ÁREA DE ESTUDO	41
6.1 Geomorfologia	41
6.2 Geologia	43
6.3 Solos	47
6.4 Hidrogeologia	51
6.4.1 Aquífero Bauru	54
7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA A APLICAÇÃO DE PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DE NASCENTE	58
7.1 Estrada rural	60
7.2 Nascentes	63
8 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DA NASCENTE 1	66
8.1 Metodologia	66

9 CONCLUSÃO	73
10 BIBLIOGRAFIA.....	74

1 INTRODUÇÃO

A água doce é um elemento essencial para a manutenção das atividades humanas e para o equilíbrio de ecossistemas terrestres. As nascentes, que são afloramentos freáticos, dão origem a riachos e rios e têm inestimável valor na composição das bacias hidrográficas. A conservação destas áreas de manifestação superficial de águas subterrâneas exige além da regeneração das características ambientais a recuperação e o manejo dos cursos de água degradados, de forma a controlar a evolução dos processos erosivos.

A erosão dos solos, o assoreamento de mananciais, a degradação de nascentes, da qualidade e disponibilidade de recursos hídricos e a inviabilização de áreas para cultivo e criação de animais são resultados de desconformidades na ocupação e uso do solo no ambiente rural. A falta de planejamento adequado em obras de alteração do escoamento superficial de águas em propriedades rurais e em vias rurais acarreta em prejuízo econômico e perda da qualidade ambiental. Assim, as estratégias de intervenção dos cursos de água tornam-se instrumentos imprescindíveis para o desenvolvimento das atividades humanas nas regiões da bacia de drenagem.

Este trabalho de graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP Presidente Prudente apresenta uma proposta de recuperação e manejo de nascente na área rural do município de Álvares Machado, Estado de São Paulo (Figura 1), através do método de “drenagem profunda” aplicado ao caso de uma estrada rural próxima ao afloramento de água.

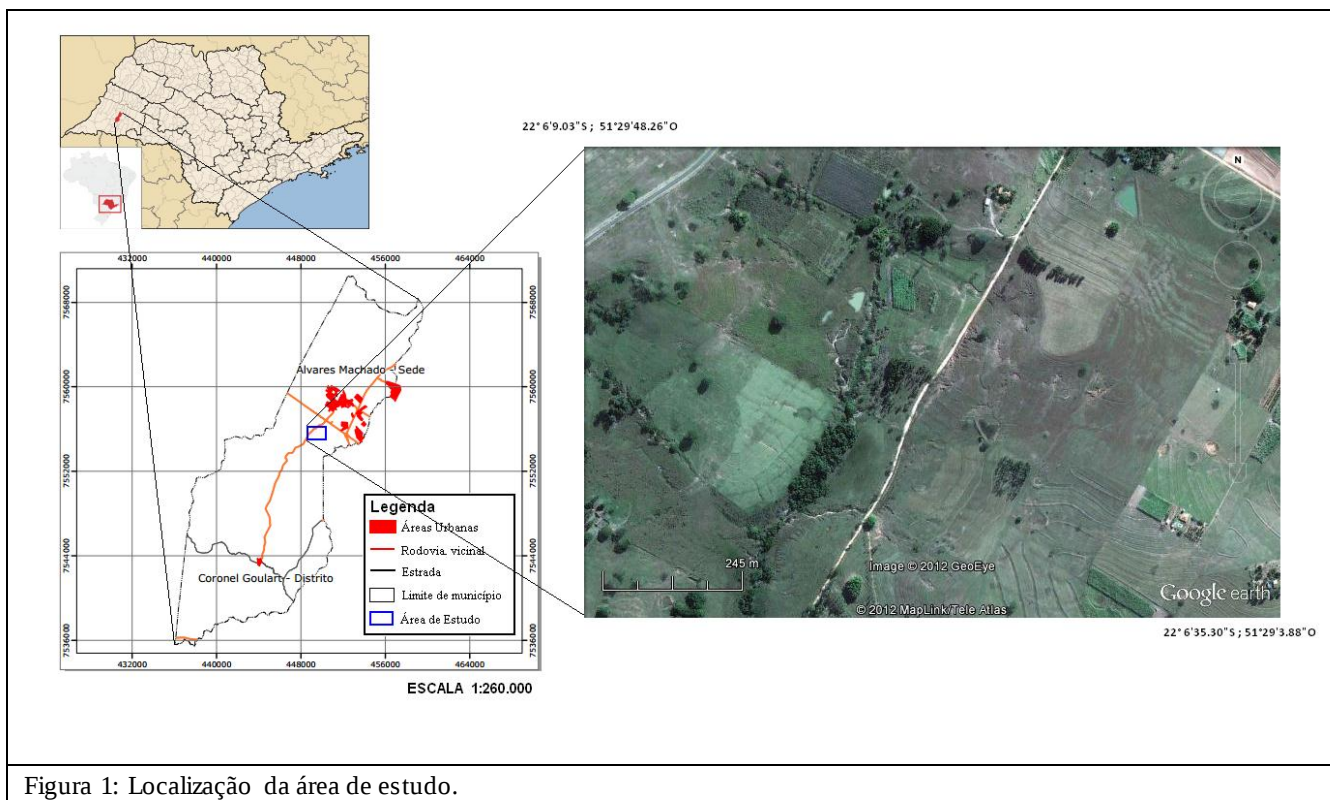


Figura 1: Localização da área de estudo.

Esta técnica consiste na instalação de estruturas drenantes em áreas sub-superficiais da estrada, seja no sub-leito e/ou as margens da plataforma de rodagem com objetivo de conduzir o fluxo subterrâneo da água e reduzir a perda de sedimento no escoamento hídrico. Para tanto, foi realizado o levantamento histórico de uso e ocupação do solo no município de Álvares Machado, retratando as transformações da paisagem ocasionadas pela ação do homem e foram coletados dados da geologia, geomorfologia, pedologia e hidrogeologia da área de estudo, a fim de estabelecer os condicionantes que propiciaram a situação atual de degradação e formular uma eficiente estratégia de intervenção por obra civil.

O caso descrito no presente estudo relata uma estratégia pontual de intervenção técnica, porém de uso abrangente, visto que estradas rurais são comumente construídas nas margens de rios e riachos, ou próximo a nascentes por serem estes terrenos naturalmente mais planos. O levantamento físico da área de estudo, da dinâmica de escoamento superficial e da história de ocupação e uso do solo consiste em uma etapa fundamental na elaboração de projetos de drenagem pois permite a escolha da estratégia mais viável e colabora para tomada de decisão do proprietário, empreendedor ou órgão público responsável pela obra, uma vez que demonstra a causa do problema além da possível solução.

Compreendendo a importância da disseminação de procedimentos de alteração de cursos de água em ambientes rurais que contemplem a preservação do ambiental, o escopo deste trabalho limita-se a retratação do uso de uma técnica de drenagem profunda em ambiente rural onde sua aplicação garante a integridade física de uma nascente de água próxima a região de intervenção. No entanto, faz-se necessário conjuntamente ao plano de drenagem o plano de reestruturação de leitos de cursos de água através do plantio de vegetação ciliar, admitindo caráter transdisciplinar à conservação de nascentes.

Pretende-se com este estudo divulgar um procedimento de drenagem de curso de água adjacente a estrada rural que contribua ao plano de conservação de nascentes na região de Álvares Machado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como principal objetivo a recuperação e manejo de nascente em área rural do município de Álvares Machado.

2.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo principal, foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- Ter conhecimento técnico dos processos relacionados a nascentes;
- Entender a situação de degradação ocasionada na paisagem de Álvares Machado;
- Estudar e correlacionar os aspectos ambientais regionais: a geomorfologia, geologia, solos e hidrogeologia;
- Avaliar a área de estudo e os condicionantes de degradação;
- Apresentar a proposta de recuperação e manejo de nascente.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram feitas observações de campo com a finalidade de realizar o reconhecimento da área, analisando os processos naturais e sociais que atuaram e atuam na formação do espaço geográfico, indo de encontro com situação atual das nascentes identificadas. Nesta condição, a familiarização com produtos cartográficos como imagens de satélite (Google Earth) e cartas topográficas (IBGE) auxiliaram na compreensão da paisagem da área bem como permitiram esclarecer o valor das nascentes da região.

Buscou-se correlacionar diversos autores que conceituam os processos referentes à nascente, abordando o ciclo hidrológico e a influência da água na paisagem. Discutiu-se sobre a dinâmica das águas que ocorrem em subsolo (água subterrânea) e os fatores influentes nesse meio. Seguindo o raciocínio, procurou-se embasar sobre as condições de afloramento de água subterrânea em superfície, relacionando o meio subterrâneo com a morfodinâmica da paisagem.

Visto os inúmeros processos erosivos decorrentes da ação da água na área de estudo e por esses possuírem estreita relação com a temática do trabalho, fez-se necessário a fundamentação teórica da interação água – erosão, onde foram discutidos sobre os principais processos erosivos, os agentes controladores e os tipos de feição erosiva.

Na ânsia de entender o cenário atual em que a área se encontra, foi feito o levantamento do histórico de uso e ocupação do solo do Município de Álvares Machado focado nas áreas rurais, baseado em trabalhos como o de Pierre Monbeig (1984) e Valdery Santos (2001).

Posteriormente, caracterizaram-se alguns aspectos físicos da região como a geomorfologia, a geologia, os solos e a hidrogeologia. No caráter geomorfológico, utilizou-se a classificação de acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, elaborado por Ross e Moroz (1996). Na geologia, optou-se pela caracterização baseada na versão do mapeamento geológico do Estado realizado pelo IPT (1981), na escala 1:250.000. Para substanciar a caracterização, em ambas foram utilizadas referências que abordam a região do oeste paulista como a de Nunes (2002) e Godoy (1999).

O solo foi caracterizado segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo elaborado pela EMPRAPA (1999), na escala 1:500.000. Já na hidrogeologia, foram abordados diversos aspectos, desde a formação das unidades aquíferas do Estado de São Paulo até uma descrição mais detalhada do aquífero Bauru, o qual a área está inserida.

Subseqüentemente, foi realizada a descrição da área de estudo buscando detalhar os processos de degradação que ocorrem na área, principalmente o da nascente de estudo, da estrada de terra onde ela nasce e do córrego que se origina. A descrição da área visa subsidiar o método que foi proposto.

Para melhor entendimento, foram compilados três mapas: um de localização das nascentes, um de uso e ocupação do solo e um mapa hipsométrico. Para tal, em visita a campo, com o GPS, foram cotadas as coordenadas das nascentes e de alguns pontos do córrego estudado até seu desague no córrego tributário. Esse procedimento teve imediatos registros fotográficos, que documentam a situação da área e dos recursos envolvidos e que são utilizados para exemplificação ao longo do trabalho.

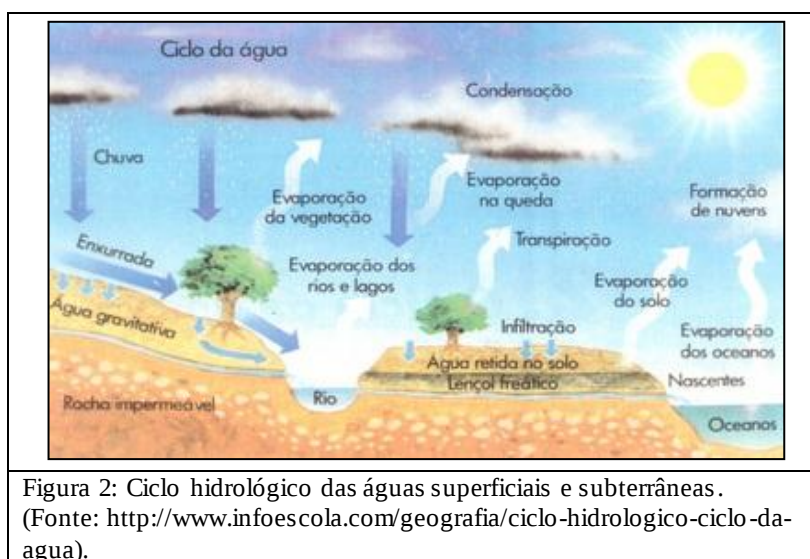
A compilação dos mapas foi feita com uso do software ArcGis 9.3 (licenças disponíveis na FCT/UNESP), utilizando como base de dados a folha topográfica de Presidente Prudente SF-22-Y-B-III, na escala 1:50.000, disponibilizadas pelo IBGE, e imagens de satélite obtidas a partir do software livre *Google Earth*.

Por fim, foi proposto e explicado um método de recuperação e manejo de nascentes em leitos de estrada vicinal de terra desenvolvido pela Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo (CODASP), que consiste na utilização/instalação de estruturas drenantes em áreas sub-superficiais da estrada.

4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E PROCESSOS EROSIVOS

De toda água existente no nosso planeta, 97,3% é água salgada e apenas 2,7% é água doce. Da água doce disponível na Terra, 77,20% se encontra em forma de gelo nas calotas polares, 22,40% se trata de água subterrânea, 0,35% se encontra nos lagos e pântanos, 0,04 % se encontra na atmosfera e apenas 0,01% da água doce está nos rios.

Quando se fala de água e sua relação com o ambiente, não se pode deixar de citar o ciclo hidrológico, pois a partir dele entende-se a dinâmica da água e suas interações com diversos ambientes que a compõe, podendo ser visto e estudado em diferentes escalas. O ciclo descreve a sequência da transferência de água proveniente da precipitação para as águas superficiais e subterrâneas, para o armazenamento e escoamento superficial e para o eventual retorno à atmosfera pela evaporação/evapotranspiração. A Figura 2 ilustra o ciclo hidrológico, mostrando os principais caminhos trilhados pela água.



O ciclo hidrológico é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Esse movimento é alimentado principalmente pela força da gravidade e pela energia solar.

Ao longo do ciclo, a água se apresenta nos seus três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) até chegar a seu destino, que pode ser rios, lagos e mares, depois retornando a atmosfera ou então podendo ficar armazenada no solo e rocha por tempo variável.

Na atmosfera, as águas evaporadas da superfície e que se apresentam na forma de gotículas, se acumulam, formando as nuvens, e se agregam até que a força peso da gotícula

for maior que a força de flutuação, provocando as precipitações, que vem na forma de chuva, granizo, orvalho e neve.

A variabilidade de água na atmosfera depende essencialmente da radiação solar na superfície terrestre, disponibilidade de água na superfície e ventos. (CARVALHO E SILVA, 2006).

Quando essa água chega à superfície terrestre, os caminhos percorridos por ela e sua interação com o ambiente se faz, resumidamente, da seguinte forma:

- Infiltra e percola (passagem lenta de um líquido através de um meio) no solo ou nas rochas, aonde ela pode ser armazenada, ressurgir na superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos (freáticos). Em tais ações, a água flui lentamente entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas, podendo ficar armazenada por um período muito variável, formando os aquíferos.

Esse processo vai ser influenciado pelas propriedades do solo e rocha, características da chuva, tipo de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e microtopologia da superfície do terreno. (GUERRA, 1999).

- Escoa sobre a superfície, que ocorre, na maioria dos casos, quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo, podendo posteriormente infiltrar ou desaguar em algum recurso hídrico.

Carvalho e Silva (2006) dizem que os fatores que influenciam no escoamento superficial podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia. Dentre os fatores climáticos destacam-se a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração. Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento. Dentre os fatores fisiográficos, destacam-se o tipo de solo e a topografia do terreno.

De acordo com o tipo de solo, analisado por suas características físicas, como porosidade e densidade, relaciona-se a capacidade de absorção de água. Quanto mais denso e menos poroso, o solo tende a absorver menos água, alimentando o escoamento superficial (GUERRA, 1999).

Marciano e Mello (2007) enfatizam o uso e ocupação do solo como outro fator interferente. Este aspecto é especialmente importante, uma vez que feito sem preocupação com o ambiente, com técnicas conservacionistas de solo e com o destino da água da chuva, pode ser danoso para o ambiente. Deve-se estudar e aplicar técnicas que interfiram ao mínimo no caminho natural da água e visem aumentar sua infiltração no solo, reduzindo o escoamento superficial direto.

- Evapotranspiração da água dos solos, vegetação, rios, lagos e oceanos, retornando à atmosfera.

Apresentados as etapas que a água percorre em seu ciclo, vê-se que a quantidade, a qualidade e a velocidade com que ela circula nas diferentes fases são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.

Estes fatores estão em constantes modificações causadas, principalmente, pelas ações humanas. E essas mudanças geram, normalmente, impactos negativos ao ambiente, levando a sua degradação.

Conforme a urbanização acontece, as mudanças na hidrologia natural de uma área são inevitáveis. Mudanças hidrológicas e hidráulicas ocorrem em resposta à limpeza do terreno, à terraplenagem e à adição de superfícies impermeáveis (Schueler, 1987). Os maiores problemas são o grande aumento nos volumes de escoamento superficial e as subseqüentes cargas de erosão e sedimentos às águas superficiais que acompanham essas mudanças na paisagem. (GUERRA, 2010; p. 64).

E uma vez interferido em alguma etapa do ciclo, as etapas subseqüentes também serão afetadas. Fetter (1988) confirma, dizendo que o aumento do escoamento superficial causados pela urbanização por sua vez influenciam os níveis da água subterrânea e os regimes de fluxo nos aquíferos.

4.1 Águas Subterrâneas

Dentre as reservas de água doce do planeta, as águas subterrâneas tomam a frente no que se diz respeito ao potencial para uso humano, devido ao relativo baixo custo de captação e à qualidade dessa água. Estima-se que mais de 1,5 bilhão de pessoas que vivem em núcleos urbanos e uma grande parcela da população rural tenham suas necessidades supridas pelo manancial subterrâneo (HIRATA, 2002).

Além disso, esse manancial tem extrema influência para a manutenção do ecossistema como um todo, a qual é suporte fundamental da biomassa vegetal da Terra e dos organismos vivos presentes nesse meio e na recarga de rios e lagos.

Frente a essa realidade, entende-se a importância da conservação desse recurso e de seu uso racional e sustentável.

As águas subterrâneas representam a parcela da hidrosfera que ocorre na subsuperfície da Terra. Elas têm três origens principais: meteórica, conata e juvenil.

As águas subterrâneas de origem meteórica são aquelas provenientes da recarga natural pela infiltração de uma fração das precipitações (chuva, neve e neblina), que caem nos domínios emersos da Terra. As águas subterrâneas dessa origem são de longe as mais importantes, em termos práticos, à medida que constituem cerca de 97% dos estoques de água doce nas terras emersas (REBOUÇAS, 2002).

As águas conatas são aquelas retidas nos sedimentos desde as épocas de formação dos depósitos e são, por isso, chamadas de “água de formação”. Em razão ao tipo dessas águas (oceânicas e água doce) e ao longos períodos de interações água/matriz rochosa, são águas tipicamente com altas concentrações de sais.

As águas juvenis são aquelas geradas por processos magmáticos, integrando-se ao gigantesco mecanismo de circulação das águas da Terra por meio dos mecanismos geológicos de circulação de massa e energia, relacionados com a tectônica de placas. Entretanto, a quantidade de água de origem juvenil é insignificante, comparativamente aos volumes de água subterrânea de origem meteórica.

Dois aspectos são de fundamental importância em relação à disponibilidade de águas subterrâneas de uma região. Os fatores geológicos, que regulam as condições de ocorrência (aquífero livre, confinado ou intermediário), as características hidráulicas e hidrodinâmicas das rochas da área (porosidade e permeabilidade intergranular ou primária, de fissuras ou secundária), a extensão, espessura e profundidade dos aquíferos, entre outros aspectos. Por sua vez, a quantidade e o regime de ocorrência das precipitações determinam as taxas e os processos de recarga (REBOUÇAS, 2002).

4.1.1 Fluxo e Distribuição Vertical das Águas Subterrâneas

Quando a água de origem meteórica atinge a superfície, ela tende a infiltrar, penetrando através dos espaços vazios interconectados do solo e do subsolo e ao longo de linhas de fratura das rochas. Parte da água que infiltra fica aderida as partículas de solo,

reconstituindo sua unidade. Outra parte percola verticalmente, na medida em que a força da gravidade superem as forças de adesão e a capilaridade do subsolo em apreço. Quando essa água de percolação encontra um meio relativamente menos permeável, acumula-se, progressivamente, para formar o manancial subterrâneo propriamente dito (REBOUÇAS, 2002).

Por sua vez, os fluxos subterrâneos percorrem trajetórias mais ou menos longas, dirigindo-se dos setores de potenciais hidráulicos mais elevados para aqueles, comparativamente mais baixos. Nas condições específicas de aquífero livre, isso significa que os fluxos se realizam dos setores de colinas para os vales (REBOUÇAS, 2002; p. 127).

Desta forma, configura-se três tipos de fluxos subterrâneos: local, regional e intermediário (Figura 3). No local, a água percorre pequenos trajetos no subsolo, descarregando nas imediações das áreas onde ocorreram as infiltrações ou recargas. No regional e intermediário os caminhos são mais longos.

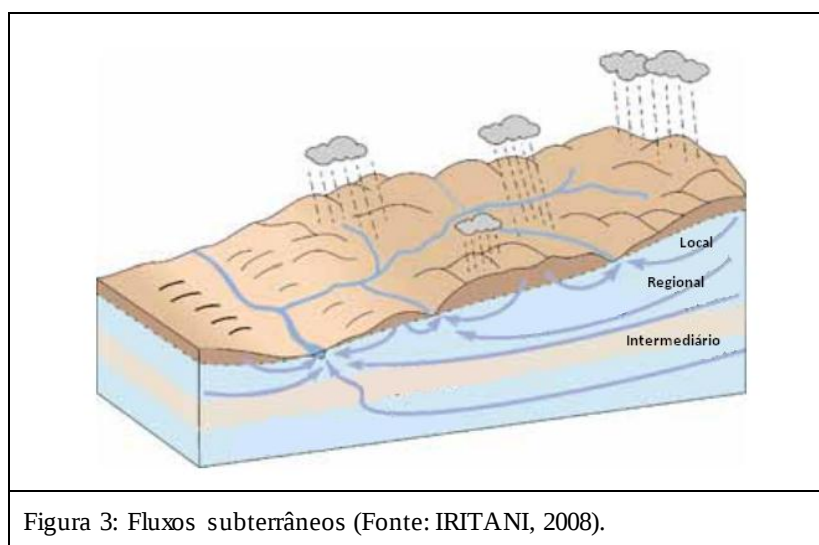


Figura 3: Fluxos subterrâneos (Fonte: IRITANI, 2008).

A nível microscópico o fluxo de água subterrânea em um meio poroso pode ser muito complexo devido a irregularidade dos poros através dos quais o fluido deve passar. Em 1856, o francês Henry Darcy conseguiu demonstrar que existe uma relação entre o fluxo de água que atravessa um meio poroso e o gradiente hidráulico. Nasce então o conceito de condutividade hidráulica como propriedade do meio.

A condutividade hidráulica é fortemente dependente do tipo de material poroso. Os solos arenosos conduzem mais facilmente a água do que os solos argilosos, e a infiltração e a

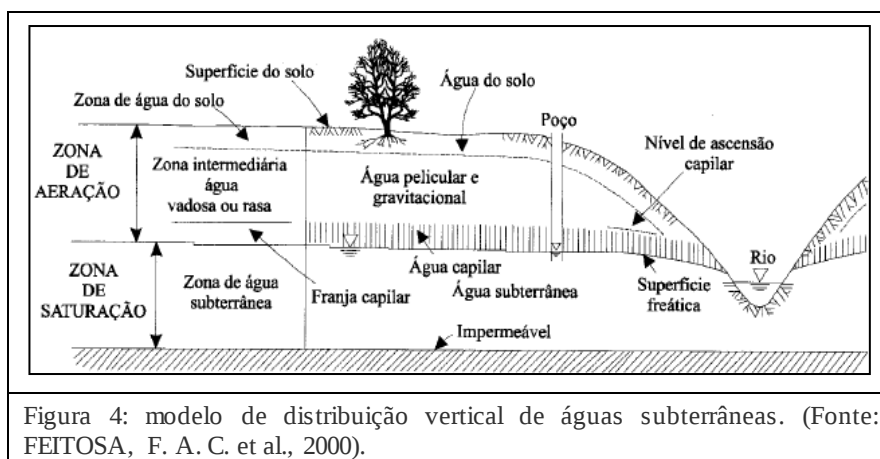
percolação da água no solo são mais intensas e rápidas nos solos arenosos do que nos solos argilosos.

A condutividade hidráulica das rochas também depende do tipo de rocha, sendo maior em rochas sedimentares, como o arenito, e menor em rochas ígneas ou metamórficas, exceto quando estas são muito fraturadas, neste caso sua condutividade pode ser relativamente alta (COLLISCHONN, 2011).

A ocorrência de águas subterrâneas no subsolo pode ser dividida em zonas de saturação e aeração. Na zona de saturação, todos os poros estão preenchidos com água sob pressão hidrostática. A zona de aeração consiste de poros parcialmente ocupados por água e parcialmente por ar. Na maioria das massas terrestres, uma única zona de aeração sobrepõe-se a uma única zona de saturação, que se estende para cima até a superfície. A zona saturada é limitada no topo, ou por uma superfície limítrofe de saturação, ou por estratos impermeáveis subjacentes, tais como leitos de argila ou de rocha. Na ausência de estratos impermeáveis sobrejacentes, a superfície superior da zona de saturação é o nível da água ou superfície freática (TODD, 1959).

Na zona de aeração, ocorre a água suspensa. Como ilustrado na Figura 4, esta zona pode ser subdividida em zona de água do solo, zona intermediária e zona capilar. A zona de água do solo estende-se da superfície do solo para baixo, através da maior parte da zona das raízes e sua espessura varia com o tipo de solo e com a vegetação. A zona intermediária estende-se da extremidade inferior da zona de água à extremidade superior da zona de capilaridade. E a zona capilar estende-se do nível de água para cima, até o limite da subida capilar da água.

A presença de água nessas zonas depende da quantidade de água que infiltra e vai se armazenando, até a sua saturação.



4.1.2 Aquíferos

Uma camada confinante é uma unidade geológica que possui pouca, ou quase nenhuma, permeabilidade intrínseca. As camadas confinantes são divididas em aquitardes, aquicludes e aquífugo. Um aquitarde é uma camada de baixa permeabilidade que pode armazenar água subterrânea e também transmiti-la lentamente de um aquífero a outro. Um aquiclude é também uma unidade de baixa permeabilidade, mas está localizada no limite superior ou inferior de um sistema de fluxo de água subterrânea. Um aquífugo é uma unidade absolutamente impermeável que não irá transmitir qualquer quantidade de água. (FETTER, 1988 apud BOVOLATO, 2006).

Já aquífero, é uma formação geológica ou material rochoso capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água através de seus poros e/ou fissuras. Os aquíferos podem ser classificados segundo a litologia, ou seja, constituição geológica (sedimentar, fissurado, cárstico) e as condições de confinamento (livre ou confinado).

A litologia do aquífero é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Essa litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcárias), determinando os diferentes tipos de aquíferos.

Aquífero poroso ou sedimentar é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de partículas variadas. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente.

Aquífero fraturado ou fissural é formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico.

As rochas ígneas formam-se pelo resfriamento do magma, sendo o granito o mais comum. Os gnaisses, xistos, quartzitos e metacalcários são exemplos de rochas metamórficas, geradas quando rochas ígneas ou sedimentares foram submetidas a mudanças significativas de

temperatura e pressão. Como são rochas maciças e compactas, que não apresentam espaços vazios entre os minerais que as compõem, a água circula nas fraturas formadas durante e após o resfriamento da lava ou posteriormente à formação da rocha, decorrentes dos esforços gerados na movimentação das placas tectônicas (IRITANI, 2008).

A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras.

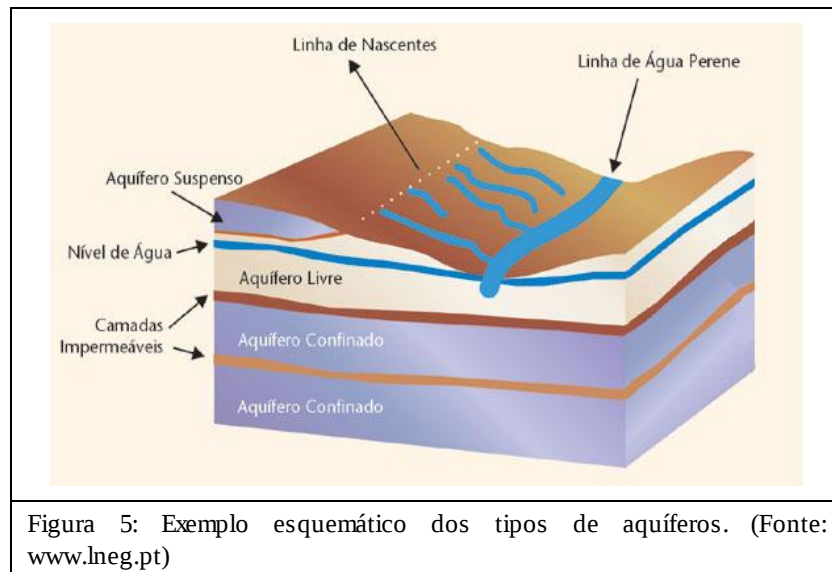
O aquífero cárstico - formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore.

Por sua vez, os aquíferos podem também ser classificados quanto às suas características hidráulicas, em livres ou confinados, dependendo da pressão a que estão submetidos.

Todd (1959; p. 86) define aquífero livre como sendo “[...] aquele que o nível de água serve como superfície superior da zona de saturação. É também conhecido como não confinado, freático ou não artesianos[...]”. O aquífero freático está mais próximo à superfície, onde a zona saturada tem contato direto com a zona não saturada, ficando submetido à pressão atmosférica.

Os aquíferos confinados, também conhecidos com artesianos ou aquíferos sob pressão, ocorrem quando o nível da água está confinado sob pressão maior do que a atmosférica por estratos sobrejacentes relativamente impermeáveis. A água entra na camada aquífera confinada em uma área em que o leito confinante sobe até a superfície ou termina no subsolo e o aquífero torna-se não confinado (TODD, 1959).

Um caso especial de aquífero não confinado é o suspenso. Ele ocorre quando um volume de água subterrânea está separado da água subterrânea principal por um extrato relativamente impermeável de pequena extensão em área e por uma zona de aeração acima do corpo principal da água subterrânea. As lentes de argila em depósitos sedimentares têm frequentemente volumes de água suspensos rasos sobrejacentes a eles (TODD, 1959).



4.1.3 Nascentes

Denomina-se fonte, olho da água ou nascente quando uma descarga concentrada de água subterrânea aflora espontaneamente à superfície do terreno. Ela ocorre em determinadas condições topográficas e geológicas e caracteriza uma área de descarga dos aquíferos.

Uma nascente ocorre quando a topografia apresenta feições que favorecem a intersecção da zona saturada com a superfície do terreno, como em terrenos declivosos, falhas geológicas, depressões e vales.

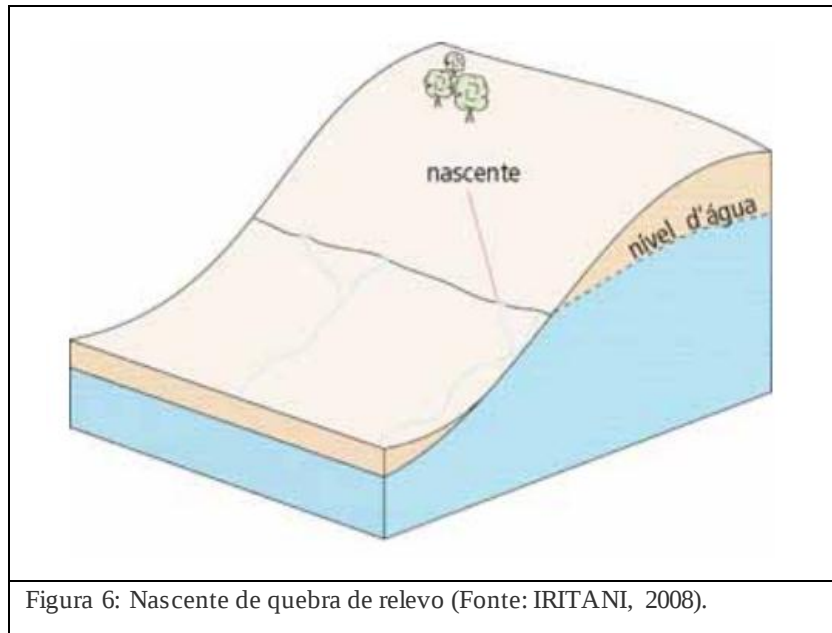
Elas podem ser caracterizadas segundo sua origem, formação e vazão. A origem das nascentes relaciona-se ao tipo de aquífero que a água subterrânea aflorante é proveniente, podendo ser de aquíferos confinados ou livres, fraturados ou sedimentares.

Todd (1959) classificou fontes em dois tipos: (a) as que não resultam de forças gravitacionais e (b) as que resultam de forças gravitacionais.

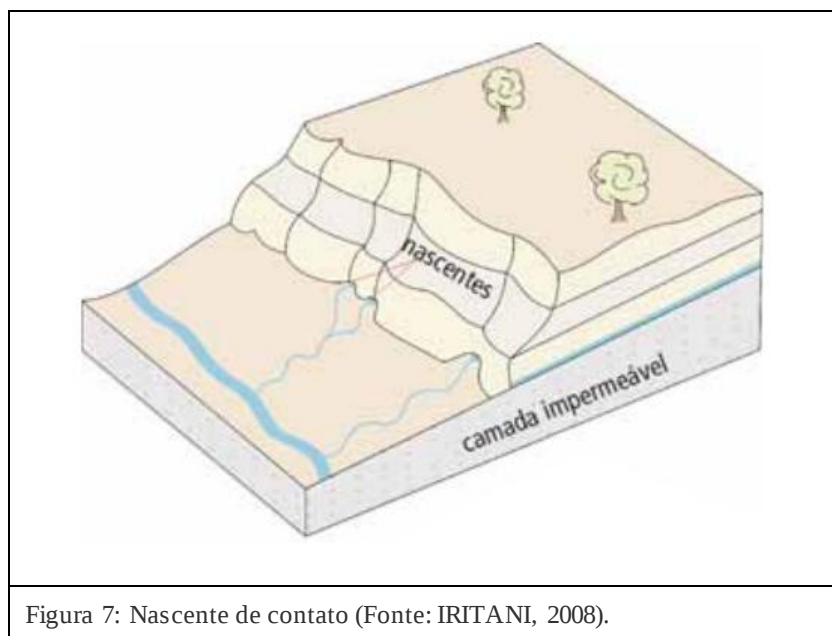
a) Nessa categoria, incluem-se as nascentes vulcânicas, associada às rochas vulcânicas, e as nascentes em fissuras, resultantes de aquíferos fissurais, nos quais as fraturas estendem-se a grandes profundidades na crosta terrestre. Tais fontes são geralmente termais.

b) Há diferentes configurações de fontes gravitacionais:

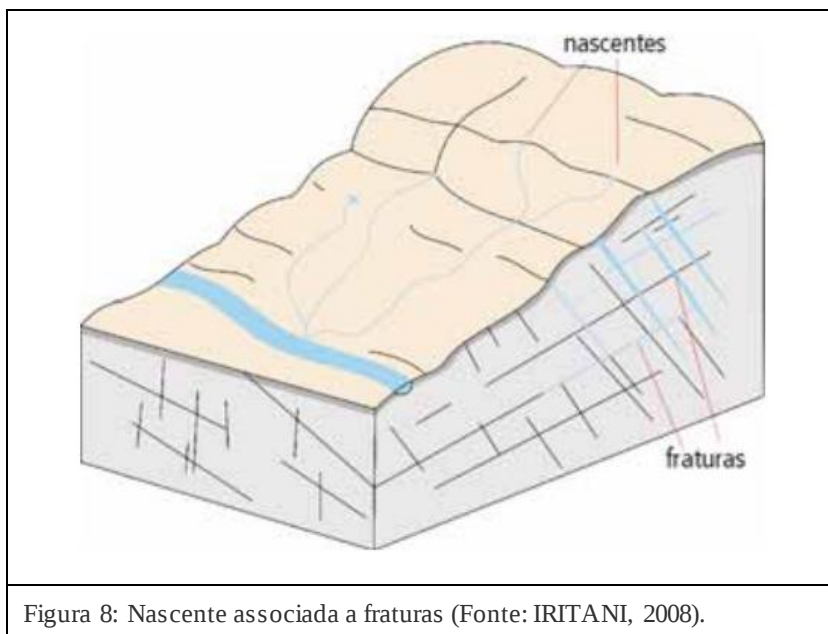
- nascentes de quebra de relevo: formada quando a superfície do terreno intercepta o nível de água (Figura 6);



- nascentes de contato: ocorre quando uma formação portadora de água permeável (normalmente aquífero suspenso) sobrejacente a uma camada menos permeável intercepta a superfície do terreno. Essa situação é comum em aquíferos sedimentares (Figura 7);



- nascentes de fratura: quando a água escoar de canais subterrâneos, tais como colunas de lava ou canais de dissolução, ou fratura em rochas impermeáveis ligadas a um reservatório de águas subterrâneas que interceptam a superfície (Figura 8);



- fontes artesianas: são resultantes do afloramento de aquíferos confinados. Nessa ocasião, a água pode estar sobre pressão.

De acordo com seu aspecto acima da superfície, Calheiros (2004) define nascente sem acúmulo inicial e com acúmulo inicial. A primeira é comum quando o afloramento ocorre em ambientes declivosos, surgindo em um único ponto (olho d'água) e então a água escoar superficialmente em direção as partes mais baixas do terreno.

Nascente com acúmulo inicial é comum em ambientes mais aplainados. Ocorre quando a superfície freática ou um aquífero artesianos intercepta a superfície e o escoamento é espraiado numa área. Dessa forma o afloramento tende a ser difuso, formando pequenas nascentes por todo o terreno, originando as veredas (lagoas).

Todd classifica também nascente quanto à vazão.

A maioria das nascentes apresenta flutuações em sua taxa de vazão. As flutuações são resultado de variações de taxa de reabastecimento em períodos que variam de minutos a anos, dependendo das condições geológicas e hidrológicas. As nascentes perenes drenam extensos aquíferos permeáveis e apresentam descarga durante todo o ano, enquanto que as nascentes intermitentes apresentam descarga apenas durante parte do ano, quando são reabastecidas águas subterrâneas suficientes para manter o fluxo (TODD, 1959; p. 91).

As nascentes devem ser entendidas em seus respectivos contextos ambientais. Os tipos de nascentes são condicionados por características físicas estritas. Assim, em termos

geomorfológicos, é importante caracterizar a bacia de cabeceira onde estão situadas, caso existam.

As cabeceiras de drenagem correspondem, geralmente, a formas côncavas à semelhança de anfiteatros erosivos que concentram fluxos pluviais e sedimentos. Porém, nem sempre possuem esta forma tão característica, podendo apresentar morfologia suavizada e mal demarcada na superfície. Originam-se de processos de intemperismo e erosão superficial e sub-superficial de caráter químico (dissolução/remoção) e/ou físico (erosão mecânica), onde as águas pluviais e subterrâneas são os agentes principais. Ao determinarem o rearranjo dos fluxos em superfície, funcionando como pequenas bacias de captação de água e sedimentos, as cabeceiras possuem destacada importância na proteção e conservação das nascentes (FELIPPE, 2009; p. 9).

Compreende-se a importância das nascentes. Primeiro em um cenário natural, onde sua função consiste na recarga de rios e lagos, mantendo o regime hídrico mesmo em períodos de seca e, subsequentemente, na manutenção da biota, visto que a água é essencial para a vida.

Segundo, num cenário sócio-econômico, onde, sendo a nascente bem preservada, disponibiliza água de boa qualidade e de fácil captação, podendo ser utilizada para o abastecimento público, irrigação e bebedouros. Em ambientes rurais, aquelas propriedades que possuem nascentes em sua extensão ou nas proximidades, adquirem auto-suficiência. Logo, sua preservação e conservação tornam-se essenciais.

Sob os diversos fatores que contribuem para a degradação das nascentes, destacam-se: desmatamento, erosão dos solos causada por práticas inadequadas de uso da terra, atividades agropecuárias, reflorestamentos mal manejados e contaminação dos mananciais (Pinto, 2003). Como podemos ver, a ação humana é o principal fator de perturbação das nascentes, o que faz com que a sensibilização e participação da população a respeito de sua preservação sejam imprescindíveis.

4.2 Estudo das Interações Água-Erosão

O processo de uso e ocupação do solo, feito de forma equivocada e sem as mínimas condições técnicas, levou à substituição quase total da vegetação primitiva, dando lugar ao comum cenário rural: áreas de pastagens e culturas de ciclo curto, o que deixa o solo desprotegido e mais suscetível à degradação. Esse conjunto de ações resulta no maior problema desses ambientes, a erosão, que compromete os recursos naturais pela degradação

dos solos e assoreamento dos mananciais, influenciando na qualidade e na disponibilidade da água (ZOCCAL, 2007).

A erosão é um fenômeno que envolve a desagregação e o transporte de solos, sendo acionado e propagado através de mecanismos próprios da natureza, portanto, um processo natural, e é acelerada por ações humanas no espaço (ZOCCAL, 2007).

Atualmente, a erosão dos solos ocasionada tanto pelas águas como pelo vento, é responsável por 56% e 28%, respectivamente, pela degradação dos solos do mundo (GUERRA, 1999).

Os processos erosivos causados pela água das chuvas têm abrangência em quase toda superfície terrestre, em especial em áreas tropicais, onde os índices pluviométricos são elevados. Em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais as erosões. O processo tende a se acelerar, à medida que mais terras são desmatadas para uso fruto socioeconômicas, uma vez que os solos ficam desprotegidos e, conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno (GUERRA, 1999).

Estima-se que cerca de 80% da área cultivada do Estado de São Paulo esteja sofrendo processo erosivo, causando uma perda de mais de 200 milhões de toneladas de solo por ano, sendo que 70% deste chegam aos mananciais em forma de sedimentos transportados pela água, causando assoreamento e poluição (ZOCCAL, 2007; p.7).

Devido essa problemática, devem-se promover ações, preventivas ou corretivas, que evitem a erosão. E, segundo Guerra (1999; p. 17), “para se evitar a erosão é preciso que se conheça a dinâmica erosiva, desde seus primórdios, ou seja, a partir do momento em que as gotas de chuvas começam a bater nos solos.”

A erosão é comumente diferenciada de acordo com o agente erosivo (vento, água, geológico, etc.), tipo (erosão laminar, linear, etc.) e natureza (natural ou acelerada) (FENDRICH, 1997).

Nesse tópico, serão abordados os processos erosivos ocasionado pela água, uma vez que ela é o principal agente degradante na área de estudo, acelerado pelas práticas humanas.

4.2.1 Processos Erosivos

Os processos resultantes da erosão hídrica estão relacionados aos vários caminhos tomados pela água da chuva, na sua passagem através da cobertura vegetal, e ao seu movimento na superfície do solo e subsolo (GUERRA e CUNHA, 2001).

Para melhor compreensão desses caminhos, apresenta-se o esquema que explica o balanço hidrológico próximo a superfície.

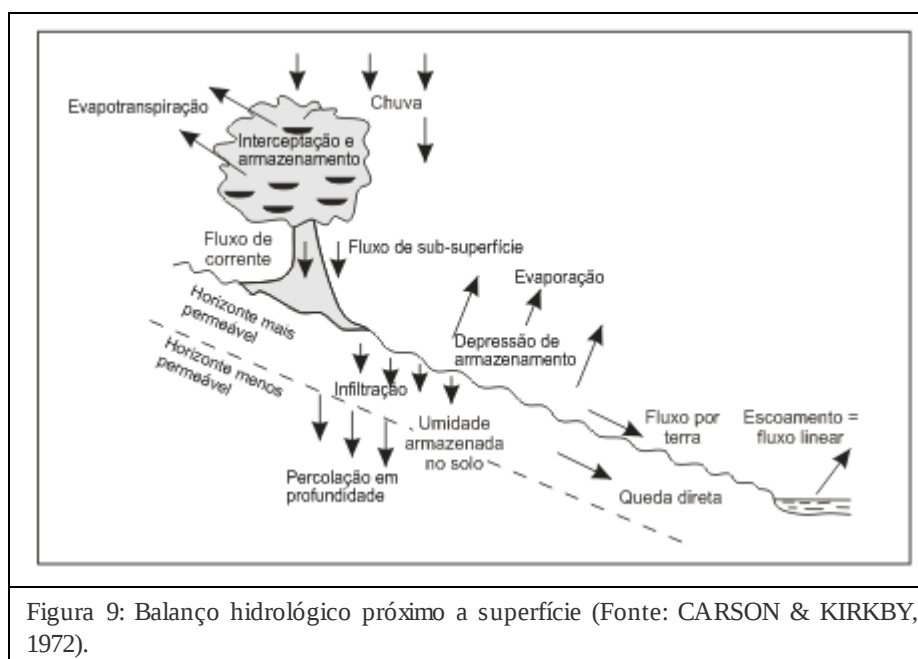


Figura 9: Balanço hidrológico próximo a superfície (Fonte: CARSON & KIRKBY, 1972).

Fendrich (1997) destaca 3 fases da erosão hídrica, sendo elas: desagregação, transporte e deposição.

Na fase de desagregação inicia-se o choque das gotas de chuva sobre o solo desprovido de cobertura vegetal. Após o desprendimento das partículas do solo temos o transporte de sedimentos por rastejamento, rolamento, salpico e suspensão, dependendo das características de volume e densidade das partículas. Após o transporte dos sedimentos pelo escoamento superficial, temos a deposição. Esta ocorre quando o agente erosivo perde força, ou porque os sedimentos encontram obstáculos que favorecem seu assentamento.

4.2.1.1 Infiltração e Formação de Poças

Quando a água encontra a superfície, seja diretamente, promovendo o primeiro estágio do processo erosivo (splash), seja indiretamente, interceptada pela cobertura vegetal,

podendo retornar à atmosfera pela evaporação ou chegar ao solo através do gotejamento das folhas e pelo fluxo de tronco, diversos caminhos podem ser percorridos por ela: infiltra, aumentando o teor de umidade do solo até sua saturação, se armazena nas pequenas depressões do solo e parte pode escoar superficialmente (Figura 4). As variações desses processos podem ser vistos no primeiro tópico desse capítulo.

Segundo Guerra (1999), após a saturação do solo, a formação de poças é o estágio que antecede o escoamento superficial.

[...] uma vez saturado o solo, cessa a infiltração e começam a se formar as poças. Estas, por sua vez, ocupam as irregularidades existentes na superfície. Uma vez que essas irregularidades estejam preenchidas por água, começam a se ligar umas com as outras. Nesse momento inicia-se o escoamento superficial [...].

O autor cita ainda que as depressões no topo do solo podem retardar o processo de escoamento superficial, armazenando água nessas depressões, porém, uma vez rompidas essas poças pelo acúmulo de água, podem desencadear processos rápidos de formação de sulcos e ravinas, que se estabelecerão na superfície do terreno.

Caso não existam essas irregularidades, pode ser mais difícil que se desenvolvam sulcos e ravinas, pois não haveria quantidade de água necessária para o arraste de partículas, entretanto, na ausência delas, a velocidade do escoamento aumenta, podendo também desenvolver feições erosivas.

4.2.1.2 Escoamento Superficial

O escoamento superficial acontece quando a intensidade da precipitação supera a taxa de infiltração, quando o solo se satura e também devido a outros fatores anteriormente citados.

O fluxo de água que escoar sobre a superfície se apresenta como uma massa de água, com pequenos cursos definidos ou de forma difusa. A quantidade de energia atribuída a esse fluxo vai depender da interação dos fluxos de água, da declividade do terreno e da chuva que cai após o início do escoamento superficial (GUERRA e CUNHA, 2001).

Ele é um dos principais agentes causadores da erosão e do assoreamento de rios, tendo o papel principal de transportar sedimentos. A remoção inicial de partículas pelo escoamento superficial é atribuída à força de cisalhamento dos agregados e a quantidade de

perda de solo vai depender da velocidade e turbulência do fluxo superficial (GUERRA, 1999; GUERRA e CUNHA et al., 2001).

4.2.1.3 Escoamento Subsuperficial

A movimentação da água em subsuperfície ocorre como resultado de diferentes potenciais de migração de líquidos, e essa água se movimenta através dos poros existentes no solo (GUERRA e CUNHA, 2001; p. 172).

O escoamento subsuperficial pode acontecer sob condições saturadas e não saturadas. Em ambientes declivosos, quando o solo se satura, além do escoamento superficial, ocorre a movimentação lateral de água em subsuperfície. Na perspectiva de solo não saturado, o escoamento subsuperficial acontece quando há uma acentuada diminuição na permeabilidade em subsuperfície, e então a água começa a percolar sob essa camada menos permeável.

O escoamento subsuperficial, além de controlar o intemperismo, afeta diretamente a erodibilidade dos solos, através de suas propriedades hidráulicas, influenciando o transporte de minerais em solução (GUERRA e CUNHA, 2001; p. 171).

Quando ocorre em fluxos concentrados, em túneis ou dutos, o fluxo em subsuperfície possui efeitos erosivos. Os dutos são responsáveis pelo transporte de grande quantidade de materiais em subsuperfície, e, conforme esse material é removido, o diâmetro desses túneis se amplia, promovendo a instabilidade do solo acima. Esse processo dá origem as voçorocas (GUERRA e CUNHA, 2001).

4.2.2 Agentes Controladores

Agentes controladores são aqueles intervenientes nos processos erosivos. São eles:

- Erosividade da chuva:

Segundo Hudson (1961 apud GUERRA e CUNHA, 2001; p. 151), “erosividade é a habilidade da chuva em causar erosão”. Os parâmetros utilizados para investigar a erosividade são: o total de chuva, a intensidade e a energia cinética.

O total de chuva está relacionado com a capacidade de armazenamento de água no solo, que, se saturado, dá início ao escoamento superficial. Já a intensidade da chuva e a

energia cinética são comparadas por diversos autores (GUERRA, 1999; STOCKING e ELWEL, 1976 apud GUERRA e CUNHA, 2001; HORTON, 1933), enfatizando a importância desses parâmetros na ruptura dos agregados, nas taxas de infiltração e no escoamento subsuperficial e superficial.

- Propriedades do solo:

Guerra e Cunha (2001; p. 154) cita que “[...] as propriedades do solo são de grande importância nos estudos de erosão, porque, juntamente com outros fatores, determinam a maior ou menor suscetibilidade a erosão. [...]”.

As diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros, sob as mesmas condições ambientes. As propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são: densidade, porosidade, textura, teor e estabilidade dos agregados e teor de matéria orgânica do solo (GUERRA e CUNHA et al., 2001).

A textura afeta a erosão devido a algumas frações granulométricas serem removidas mais facilmente que outras. Solos com maior teor de silte e areia são mais suscetíveis ao desprendimento de sedimentos do que solo com maior teor de argila (GUERRA e CUNHA et al., 2001).

A densidade é outro fator que deve ser levado em conta para se compreender os processos erosivos. Quanto mais denso o solo, portanto mais compactado, menor é a taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial.

A porosidade, por sua vez, está ligada a transferência de sólidos, líquidos e gases no interior do solo. Ela é responsável pela retenção de mais ou menos água no solo (GUERRA, 1999). O autor ressalta também a importância da comunicação entre os poros.

As mudanças verticais bruscas no diâmetro e na morfologia dos poros podem acarretar sérios problemas de erosão, principalmente em solos com descontinuidades texturais e estruturais abruptas, ou seja, horizontes superficiais arenosos, com porosidade textural grosseira e horizontes subsuperficiais argilosos, com porosidade textural fina e poros fissurais. Neste caso, a água infiltra rapidamente no horizonte superficial e sofre uma brusca redução na velocidade de infiltração no topo do horizonte B, levando a um encharcamento da superfície, iniciando um movimento lateral e podendo provocar a erosão (GUERRA, 1999).

Por sua vez, a estabilidade dos agregados está vinculada ao fato que, quanto maior o teor de agregados há maior resistência desses agregados à dispersão. Os agregados também melhoram a porosidade e, conseqüentemente, a infiltração.

Já a matéria orgânica é um dos parâmetros mais influentes na erodibilidade, uma vez que ela atua benéficamente em diversas outras propriedades do solo. Guerra e Cunha (2001; p. 156) cita que “[...] a matéria orgânica é o melhor agente agregador do solo, aumentando a estabilidade dos agregados.[...]”. Frente a essa afirmação, conclui-se que matéria orgânica ajuda também na porosidade, textura, densidade aparente, entre outros, diminuindo as ações erosivas.

- Cobertura Vegetal:

A cobertura vegetal pode influenciar nos processos erosivos em diversos aspectos. Ela reduz a energia cinética da chuva, minimizando o impacto das gotas que, por sua vez, diminui a formação de crostas, reduzindo a erosão.

As raízes das plantas dão estabilidade ao solo, diminui a suscetibilidade a erosão pelo escoamento superficial e subsuperficial, e ajuda na infiltração da água no solo.

A vegetação morta que cai sobre o solo, forma uma cobertura de serrapilheira, que intercepta as gotas da chuva, mantém a umidade do solo, diminui a velocidade de escoamento superficial, proporciona boas condições para a microfauna, além de ser fonte de matéria orgânica, atuando como condicionante do solo (GUERRA e CUNHA et al., 2001).

- Característica das Encostas:

A característica das encostas pode afetar a erodibilidade dos solos por meio da declividade e de sua forma.

Os processos erosivos são influenciados pela declividade da encosta, devido ao efeito na velocidade do escoamento superficial, sendo mais atuantes em encostas com declividade inferior ou igual a 30° (LUK, 1979 apud GUERRA e CUNHA, 2001).

Relativo à forma, Morgan (1977, apud GUERRA E CUNHA, 2001; p. 164) destaca: “[...] a importância das cristas longas, mas com encostas curtas convexo-côncavas, como sendo características morfológicas que propiciam a erosão dos solos. [...]”.

- Fator Humano:

Fendrich (1997) cita que as principais agressões causadas pelo homem decorrem da:

- retirada da cobertura vegetal, deixando o solo exposto;
- agricultura praticada irracionalmente, promovendo culturas de curto ciclo, revolvendo grandes quantidades de solo;

-pastagens extensivas, proporcionando excessivo pisoteio, formando trilhas pela passagem dos animais na busca de água nos talvegues;

- falta de aplicação de técnicas conservacionistas de solo, que promovam maior infiltração de água no solo;

- abertura de estradas rurais, sem o devido cuidado na execução das necessárias obras de drenagem para disciplinar a água e promover sua infiltração no solo. Zoccal (2007) salienta que estas estradas contribuem com 50% dos solos carreados aos mananciais e 70% das erosões existentes. O autor afirma ainda que 88% das estradas do Brasil são de terra.

- construções civis sem técnicas de conservação de solo e controle de erosão.

4.2.3 Tipos de Erosão

A relação entre diversos fatores atuantes no processo erosivo configuram diferentes tipos de erosão, podendo diferenciá-las em laminar e linear. A erosão laminar ou em lençol é causada pelo escoamento difuso das águas pluviais, ocorrendo a remoção relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo. Já a erosão linear ou em sulcos é provocada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno que podem evoluir, por aprofundamento, a ravinas. Caso a erosão se desenvolva por influência das águas superficiais ou também dos fluxos de água subsuperficiais, configura-se o processo mais conhecido como voçorocas (SALOMÃO, 1999).

Devemos destacar as principais diferenças entre as ravinas e as voçorocas, sendo essas mais presentes na área de estudo.

[...] As ravinas constituem em tipo de feição de escoamento superficial concentrado, e se formam quando o fluxo d'água aumenta na encosta por ocasião de grandes episódios chuvosos, tornando-se turbulento (SUERTEGARAY, 2004; p. 244).

Já as voçorocas:

[...] podem ser originadas pelo aprofundamento e alargamento de ravinas, ou erosão causada por escoamento subsuperficial, o qual dá origem a dutos (pipes). São relativamente permanentes nas encostas. Têm paredes laterais íngremes, em geral fundos chatos, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos. Ao aprofundarem seus canais, as voçorocas atingem o lençol freático. Constituem um processo de erosão acelerada e de instabilidade nas paisagens (SUERTEGARAY, 2004; p. 245).

5 HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE ÁLVARES MACHADO

5.1 Histórico de fundação do município

Situado na Alta Sorocabana, região do planalto ocidental paulista na sua parte sudoeste, Álvares Machado pertence à época contemporânea da colonização. O seu território figurava como “desconhecido” nas cartas geográficas do final do século XIX. Foi em meados do século passado que surgiram os primeiros sinais de exploração deste local. Apenas a floresta, nativos e fauna habitavam ao início de sua exploração a área compreendida entre os rios Tietê, Paraná a oeste e Paranapanema ao sul.

A Alta Sorocabana é bem servida de águas. É drenada pelos rios do Peixe e Santo Anastácio, a oeste pelo Anhumas e Pirapozinho ao sul, acrescentando-se ainda alguns afluentes menores. O Peixe e o Santo Anastácio correm paralelamente, desembocando no rio Paraná. De acordo com Fonzar (1981), o espigão tabular da Alta Sorocabana representa apenas parcela de uma unidade geomorfológica maior, que é a bacia do rio Paraná.

Foi justamente por este último rio que se iniciou o povoamento da região, isto anterior ao último quartel do Século XIX. Daí em diante o processo de ocupação não parou. Registrou-se uma expansão agrícola e colonizadora sempre ligada ao café. Fonzar (1981) coloca que o primeiro movimento de penetração pioneira processou-se através de mineiros, atraídos para o Estado de São Paulo pelo êxito da cafeicultura.

De acordo com informações do SEADE (2009), Álvares Machado iniciou sua constituição em 1916 quando Manoel Francisco Oliveira adquire terras da fazenda Pirapó-Santo Anastácio, também conhecida por Brejão. Em 1919, são inaugurados os trilhos da Estrada de Ferro Sorocabana para o primeiro povoado. Já em 1921, ano em que se iniciaram os loteamentos de terras, a estação de estrada de ferro de Brejão teve seu nome alterado pelo Governo do Estado para Álvares Machado. O local foi elevado a distrito pertencente a Presidente Prudente em 26 de dezembro de 1927 e rapidamente foi povoado pela facilidade de transportes para os centros consumidores e pela intensa procura de terras agricultáveis. Com seu desenvolvimento na região, em 30 de novembro de 1944, torna-se município autônomo com parte das terras de Presidente Prudente e Presidente Bernardes.

De forma a abordar o histórico de fundação de Álvares Machado, inicialmente serão analisados o pioneirismo primitivo e a forma de desbravamento da região. Monbeig (1984) se

refere à vegetação regional como uma floresta de terra roxa, onde os pioneiros da colonização encontraram árvores testemunhando um solo fértil, recobertas por cipós e epífitas, algumas com mais de 30 metros de altura. Sua homogeneidade e sua densidade variavam em função do maior ou do menor distanciamento dos rios. Sabia-se que as mais “belas” árvores eram numerosas junto aos cursos d’água, onde formavam os “capões” do interior da mata.

Esta foi a paisagem da região de Álvares Machado, no caso, de toda a Alta Sorocabana num passado longínquo. Via-se um imenso lençol de figueira-branca (*Ficus pohliana* Mig.), araucária, pau-d’álho (*Gallesia gorazema* Vel. Mig.), a timbaúva ou tamboril (*Enterelobium ellipticum* Benth). Monbeig (1984) fala ainda de um segundo andar que talvez não fosse formado senão por árvores igualmente capazes de atingir o porte das de horizonte superior, como canjarana ou canjerana (*Cabrales canjerana* Sald.), cedro-branco (*Cedrela fissilis* Voll.); um andar das grandes samambaias ou “samamabaia-açu” e das palmeiras, entre as quais aparecia a *Euterpe edullis*, cujo porte variava de 5 a 15 metros e, finalmente, um horizonte herbáceo.

As florestas da região ofereciam madeiras de lei consumidas em todo o Brasil: peroba, ipê, jacarandá, faveiro, angico, canela e muitas outras. De acordo com Monbeig (1984), a exploração industrial dessas árvores constituiu-se numa fase importante do desbravamento da região, procedendo às áreas degradadas visando a agricultura.

O mesmo autor esclarece que esgotando as madeiras de leis devido ao alto índice exploratório, também das árvores de qualidade média, a floresta ainda podia se submeter a um terceiro estágio de exploração: a da lenha para utilização dos trens. Depois da sucessão de cortes da vegetação e da passagem dos derrubadores e dos caminhões, o solo sofria bastante e não continuaria a atrair os agricultores.

Seguia-se o desbravamento individual, na qual os sitiantes da época, levados pelo desejo de semear, consideravam a floresta mais como uma dificuldade a superar do que um recurso possível. No conjunto, observava-se desperdício considerável das riquezas florestais. Monbeig (1984) entende que o desmatamento indiscriminado conduziu à desnudação prematura dos solos, e em consequência disso a região sofre o efeito impiedoso das erosões, precisando de um grande esforço também para impedir o entupimento dos leitos dos rios, córregos e ribeirões e a degradação de nascentes pelos deslizamentos de terras das margens que ficavam sem a vegetação protetora. Álvares Machado está obviamente incluída nesse quadro, semelhante aos outros municípios do oeste paulista, tendo que aprender a conviver sem uma de suas maiores riquezas do passado, que foi a madeira industrializada nas serrarias, sendo a

extração madeireira ponto relevante da economia regional durante o estabelecimento dos cafezais.

Este círculo da economia regional não tem volta, entretanto, os moradores aliaram-se a novas técnicas de produção. No lugar da madeira, vieram a menta, os cítricos, o algodão, amendoim, cereais, pastagens e criação de gado, não deixando interromper a estabilidade econômica. Todas as atividades econômicas citadas anteriormente, assim como a exploração da madeira, caracterizam que o processo de uso e ocupação do solo na região de Álvares Machado foi acompanhado de degradação ambiental.

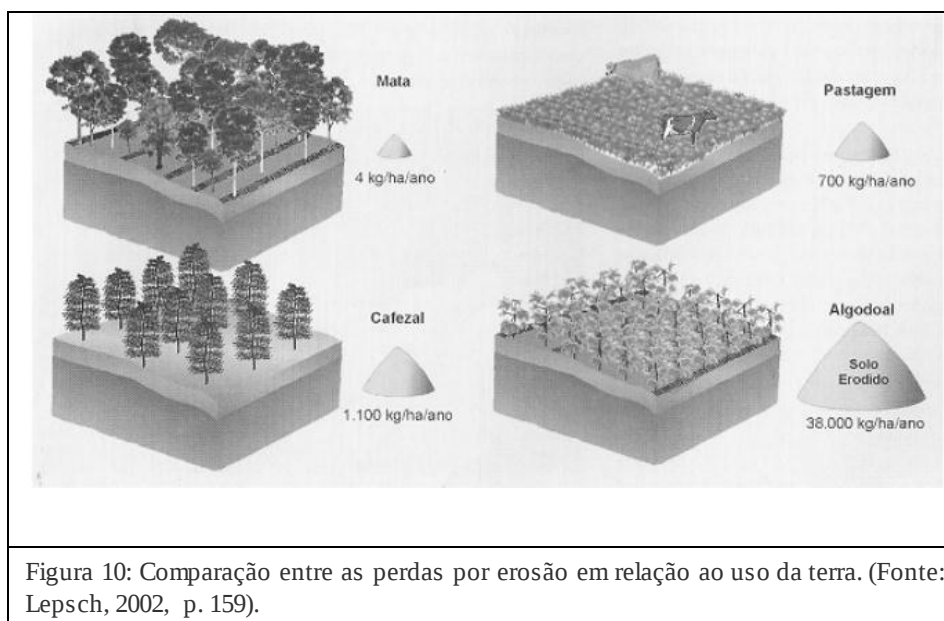
5.1.1 As erosões rurais e seus impactos aos recursos hídricos e à produção agrícola

A história agrícola do Extremo Oeste do Estado de São Paulo registra intensas mobilizações destinadas à implantação de ciclos produtivos como o café, algodão, amendoim e pastagens. A utilização desses solos para produção de alimentos e matérias-primas, sem os devidos cuidados conservacionistas, resultou num processo contínuo de alteração da estrutura natural, ocasionada pelos implementos agrícolas e preparo intensivo, resultando no aumento das perdas por erosão (NUNES et al., 2006).

Além das erosões rurais e seus problemas aos pequenos produtores, os processos erosivos lineares nas periferias das pequenas cidades do interior paulista geram transtornos e riscos às populações, e gastos ao poder público nas obras de controle de voçorocas urbanas, sendo este o processo erosivo causado por escoamento na forma de lâmina sobre uma superfície desprovida de cobertura vegetal. Este fato é decorrente da expansão desordenada das áreas urbanas com ocupação das cabeceiras de drenagem e dos fundos de vale, fruto da falta de aplicação dos instrumentos jurídicos disciplinadores do uso e ocupação do solo urbano (áreas *non aedificanti* e Áreas de Preservação Permanente).

Álvares Machado pertence à Região Administrativa e de Governo de Presidente Prudente. Limita-se ao norte com o município de Alfredo Marcondes, ao leste com Presidente Prudente, ao sudeste com Pirapozinho, ao sul com Tarabai e ao oeste com o município de Presidente Bernardes. O histórico de produção agrícola da região de Presidente Prudente e Álvares Machado foi marcado pela produção de algodão entre as décadas de 1930 e 1960. Nota-se, conforme a Figura 10, que a perda de solos na área de cotonicultura é significativa, principalmente se tratando da erosão do tipo linear, devido à quantidade de solo exposto com o desenvolvimento do vegetal herbáceo. Isto foi relevante para a rápida perda não apenas da

quantidade, mas também da fertilidade dos solos da região de Presidente Prudente, pelos anos de cultivo do algodão com ausência de práticas conservacionistas.



Com a decadência da cotonicultura na região de Presidente Prudente, a partir de meados da década de 1960, grande parte do solo rural tornou-se pastagem plantada para pecuária extensiva de gado bovino, culminando, mais recentemente com a introdução e generalização da monocultura, principalmente a cultura canavieira.

As estradas rurais não pavimentadas, que começaram a ser construídas na região com a vinda da Estrada de Ferro Sorocabana e o início da exploração cafeeira, e atualmente representam uma grande parcela das estradas da região, são um dos principais fatores responsáveis pelo carregamento do solo aos mananciais (50% dos solos carregados) e pelos processos erosivos (70% das erosões existentes). Isto acontece devido ao fato da construção dessas estradas terem sido feitas sem levar em conta o relevo e também devido a falta de manutenção e implantação de estruturas (bacias de captação, canais de derivação e terraços) (ZOCCAL, 2007).

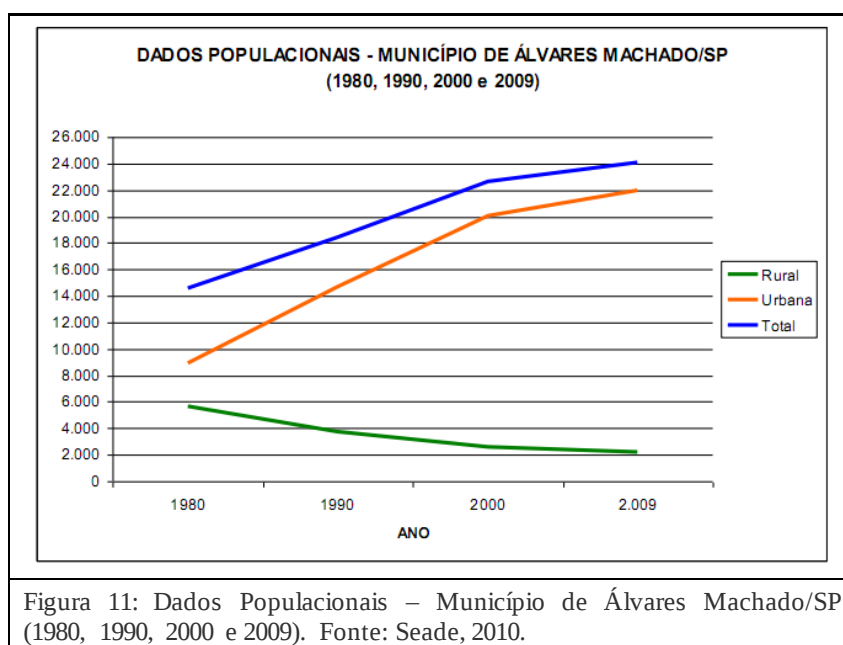
Visto que as práticas conservacionistas (terraceamento em curvas de nível), apenas começaram a ser aplicadas na região a partir da década de 1970 (OLIVEIRA, 1994), inúmeras áreas encontram-se degradadas pelas ações que se iniciaram desde a colonização do oeste paulista e perpetuam em ações mais recentes, como as pastagens extensivas, monoculturas, supressão da vegetação nativa, estradas mal planejadas e mal conservadas.

A abordagem das questões históricas é importante, pois, revela, mesmo que superficialmente, os aspectos característicos das relações que se estabeleceram entre os homens e o meio, dando suporte para entender as dinâmicas atuais do espaço geográfico regional (SANTANA, 2011).

Frente ao modo como foi feito o uso e ocupação do solo, vê-se que recursos naturais sofreram e vem sofrendo com as ações que ocorreram ao longo do tempo. No geral, atualmente as florestas nativas estão quase dizimadas, os solos estão fragilizados e empobrecidos e os mananciais encontram-se, em sua maioria, assoreados e degradados.

5.1.2 Uso e ocupação atual

No que se refere à população urbana, em 1980 equivalia a 8.894 habitantes. Em 2009, esta teve um incremento da ordem de 145% chegando a 21.940 habitantes. Tal crescimento no município é representado pela Figura 11, que reproduz uma tendência das cidades brasileiras pelo intenso êxodo rural ocorrido a partir da década de 1950, o que é comprovado pelos índices de população nas áreas rurais em 1980 e 2009, de respectivamente 5700 e 2172, fato representativo de uma redução populacional de mais de 50%.



Apesar de Álvares Machado ser um município de pequeno porte, sua população vem crescendo gradativamente. Em 1980, a população total do município correspondia a 14.594 habitantes, em 1990, 18.387 habitantes, e já em 2009, de acordo com o IBGE (Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística), 24.112 habitantes. Sendo assim, dentro de 30 anos a população total cresceu aproximadamente 65%.

6 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS REGIONAIS DA ÁREA DE ESTUDO

6.1 Geomorfologia

Geomorfologicamente, o Oeste Paulista situa-se no Planalto Ocidental Paulista, que abrange uma área de aproximadamente 50% do Estado de São Paulo, indo desde a província das Cuestas Arenítico - Basálticas até ao limite norte (rio Grande), oeste (rio Paraná) e sul (rio Paranapanema) (NUNES, 2002).

Ab'Saber caracteriza o Planalto Ocidental Paulista como "...uma vasta extensão de chapadões areníticos de vertentes convexas suaves, constitui uma das áreas de relevos tabuliformes de centro-de-bacia, das mais típicas do país" (AB'SABER, 1969; p.1) e salienta que, mesmo em setores de grande rebaixamento topográfico, vários setores dos "espigões" dos chapadões ocidentais paulistas apresentam relevos que escaparam aos efeitos homogeneizantes das aplainações neogênicas (AB'SABER, 1969 apud NUNES, 2002).

Para Sudo (1980 apud NUNES, 2002; p.22), "o Planalto Ocidental Paulista se desenvolve em uma Superfície de Reverso de Cuesta, onde suas altitudes decrescem de 900 a 1000 metros nos altos da Cuesta Arenítico-Basáltica, até 250 a 300 metros nas barrancas do rio Paraná [...]".

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross, 1996), o Estado de São Paulo está dividido em três unidades morfoestruturais (Cinturão Orogênico do Atlântico, Bacia Sedimentar do Paraná e Bacias Sedimentares Cenozóicas), que por sua vez subdividem-se em cinco unidades morfoesculturais: I – Planalto Atlântico; II – Planalto Ocidental Paulista; III – Depressão Periférica Paulista; IV - Planícies Litorâneas e V – Planícies Fluviais.

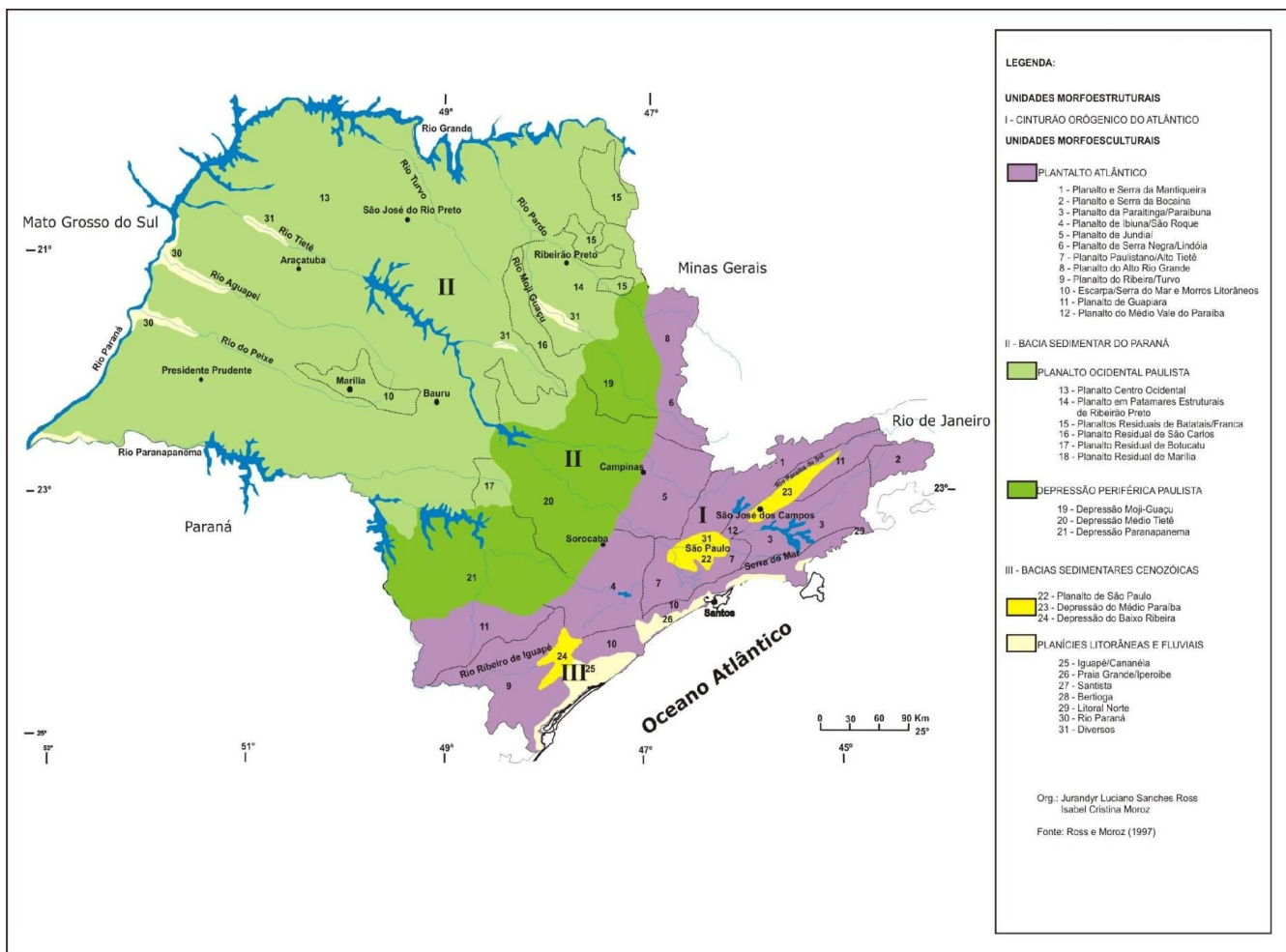


Figura 12: Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS E MOROZ, 1996).

O município de Álvares Machado está localizado na Bacia Sedimentar do Paraná (morfoestrutura) e no Planalto Ocidental Paulista (morfoescultura), mais precisamente no Planalto Centro Ocidental (ROSS E MOROZ, 1996, p. 50). Nessa configuração morfoescultural, predominam relevos com colinas amplas e baixas com topos convexos, aplanados ou tabulares, com altimetria variando em torno de 300 a 600 metros e declividades dominantes entre 10 a 20%. Os rios apresentam padrão paralelo com traçados ligeiramente inclinados em direção ao rio Paraná.

6.2 Geologia

Para o presente trabalho, em que se estudam nascentes, é de fundamental importância a caracterização geológica regional, pois são os fatores geológicos que regulam as condições de ocorrência das águas subterrâneas (aquífero livre, confinado ou intermediário), as características hidráulicas e hidrodinâmicas das rochas da área (porosidade e permeabilidade intergranular ou primária, de fissuras ou secundária), a extensão, espessura e profundidade dos aquíferos, entre outros aspectos.

O tipo de formação rochosa, diferenciado pela origem geológica, é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Dessa forma, caracterizado a geologia local, compreender-se-á com maior propriedade as características do meio em que a água subterrânea percola, imprimindo, junto a outros fatores influentes (formas de relevo, tipo de solo, etc.), diferentes configurações ao afloramento da água em superfície, que minam na forma de nascentes.

O Oeste Paulista, onde se encontra o município de Álvares Machado, é morfoestruturalmente pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, a qual é constituída por rochas sedimentares e ígneas (idade Mesozóica) e por depósitos recentes (idade Cenozóica). Esta unidade geotectônica possui uma área de aproximadamente 1.100.000 Km² dentro do território brasileiro e é estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana a partir do Devoniano Inferior (IPT, 1981a apud NUNES, 2002).

Nunes (2002) relata que a implantação da Bacia Sedimentar do Paraná e as primeiras etapas de seu desenvolvimento foram influenciadas pela tectônica da própria bacia, formada de antigas calhas em “rift” existentes no embasamento cratônico consolidado no Cambro-Ordoviciano.

Por esta influência, a bacia, instalada na Era Paleozóica, tende a manter uma configuração linear, condicionada aos limites da antiga calha, apresentando distribuição e maior espessura de sedimentos na direção NW-SE. Durante o Juro-Cretáceo, um evento de intenso vulcanismo, associado à reativação da Plataforma, contou com as fraturas herdadas do embasamento como principal veículo de extravasamento das lavas (NUNES, 2002; p. 19).

Conforme a coluna litoestratigráfica da bacia do Paraná (IPT, 1981, p. 48), as formações geológicas dominantes que afloram na região do Pontal do Paranapanema, pertencem ao Grupo São Bento – Formação Serra Geral (JKsg); ao Grupo Bauru – Formações

Caiuá (Kc), Santo Anástácio (Ksa), Adamantina (Ka) e as Coberturas Cenozóicas (Qi). A tabela 1 mostra o percentual de área de afloramento dessas unidades.

Tabela 1: Percentual de área de afloramento das unidades litoestratigráficas presentes no Pontal do Paranapanema.

Unidade litoestratigráfica principal	% de área de afloramento no PP	Formações geológicas	% de área de afloramento no PP
Terrenos Cenozóicos	2,1%	Sedimentos aluvionares	2,1%
Grupo Bauru (IPT, 1981a, 1987)	93,6%	Formação Adamantina	62,2 %
		Formação Santo Anastácio	2,7 %
		Formação Caiuá	28,7 %
Grupo São Bento	4,3%	Formação Serra Geral	4,3 %

Fonte: Relatório Zero da UGRHI do Pontal do Paranapanema (1999)

Na área de estudo, predominam os depósitos sedimentares da formação Adamantina, classificado segundo o mapa geológico elaborado pelo IPT (1981) na escala 1:250.000, confirmado por afloramentos do arenito próximos a área, identificados em trabalhos de campo (Figura 13).



Figura 13: Afloramento do arenito da Formação Adamantina na área de estudo.

Segundo o IPT (1981, p.48), a Formação Adamantina consiste de “Arenitos finos a muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte”.

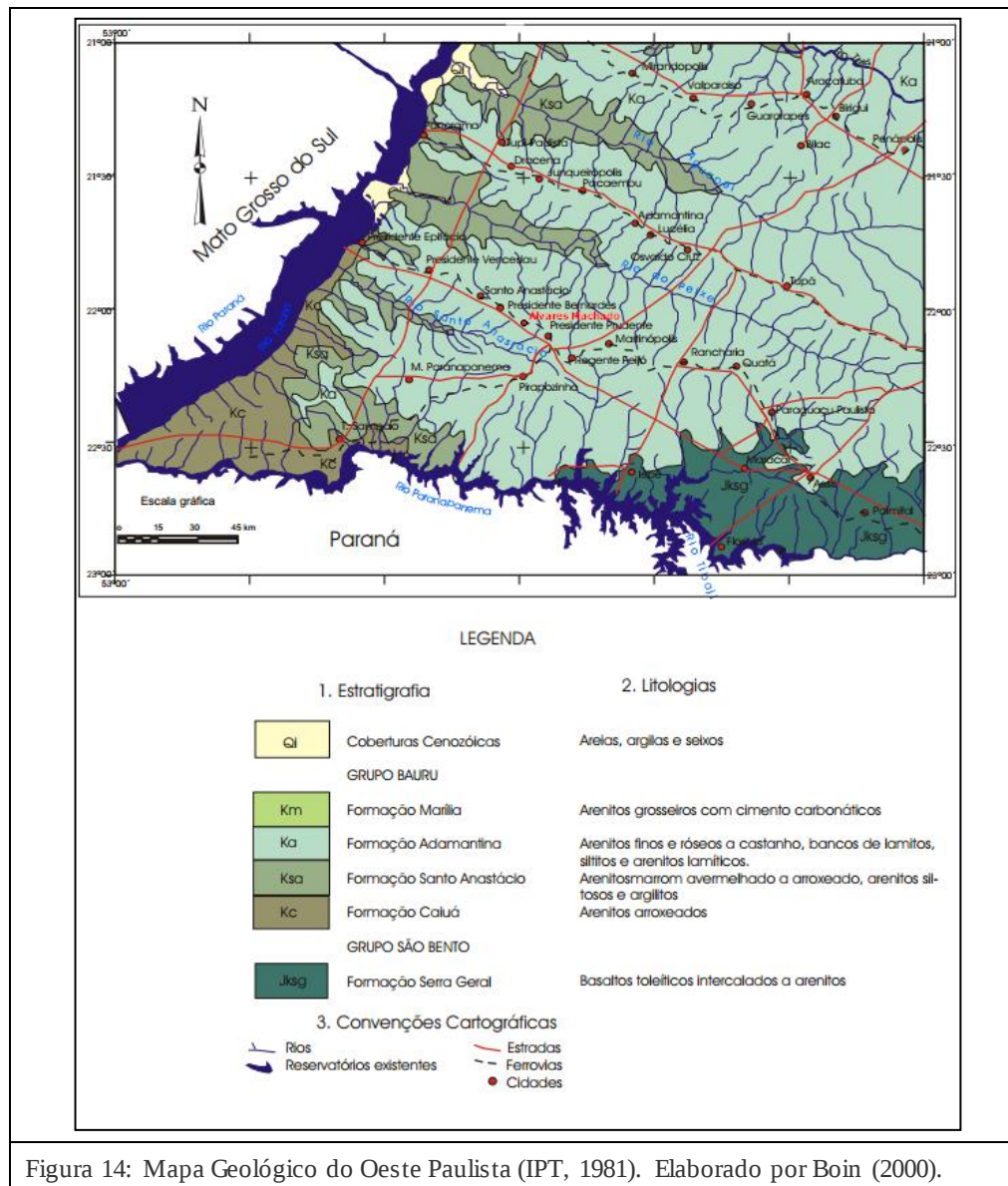


Figura 14: Mapa Geológico do Oeste Paulista (IPT, 1981). Elaborado por Boin (2000).

Para Godoy (1999, p. 19), a Formação Adamantina:

[...] caracteriza-se litologicamente pela ocorrência de bancos de arenito de granulação fina a muito fina, de cor róseo a castanho, com espessuras variáveis entre 2 e 20 metros e alternados com lamitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhado a cinza castanho. Quanto à estrutura, as estratificações cruzadas são próprias dos estratos mais areníticos, ao passo que, nos termos lamíticos subordinados a eles, são mais comuns os bancos maciços ou dispostos em acamamento plano-paralelo, com a presença freqüente de marcas de onda e microestratificação cruzada.

Esta formação ocorre em uma vasta extensão do oeste do Estado de São Paulo, constituindo o terreno da maior parte do Planalto Ocidental, exceto nas porções mais rebaixadas dos vales dos principais rios, onde foi removida através da erosão. Seu contato

inferior geralmente ocorre com a Formação São Anastácio ou diretamente com o embasamento basáltico, esse último marcado por discordância erosiva, apresentando às vezes, delgados níveis de brecha basal.

As maiores espessuras da Formação Adamantina ocorrem geralmente nas porções ocidentais dos espigões entre os grandes rios. Atinge 160 m entre os rios São José dos Dourados e Peixe, 190 m entre os rios Santo Anastácio e Paranapanema, e 100 a 150 m entre os rios Peixe e Turvo, adelgaçando-se dessas regiões em sentido a leste e nordeste (SOARES *et al.*, 1980, In: Relatório Zero da UGRHI do Pontal do Paranapanema, 1999; p. 39-40).

Entre os rios do Peixe e Santo Anastácio, em área de relevo ondulado a fortemente ondulado “... é observada a existência de uma gama ampla de estruturas sedimentares, assim como uma concentração maior de bancos de arenito compacto, ou seja, aquele onde o teor do cimento carbonático é relativamente elevado” (GODOY, 1999: 21).

Nunes (2002; p. 20) diz que em zonas de maior concentração de cimento carbonático, caracterizado pela predominância de bancos de lamitos e siltitos sobre arenitos com reduzida presença de matriz, há uma redução significativa da porosidade. Nessas zonas, “[...] dada a nítida diminuição da porosidade pelo preenchimento dos interstícios com a matriz argilosiltosa e os carbonatos, o escoamento superficial é relativamente mais abundante [...]”.

As fácies deposicionais observadas na Formação Adamantina indicam uma deposição “[...] em um extenso sistema fluvial meandrante predominantemente pelítico a sul, gradando para psamítico a leste e norte e parcialmente nessas regiões com transição para anastomosado” (Relatório Zero da UGRHI do Pontal do Paranapanema, 1999; p. 38).

A seguir, segue uma tabela comparando as características dos sistemas deposicionais fluviais mais representativos da Formação Adamantina, elaborado Suguio e Bigarella (1990, p. 54).

Tabela 2: Comparação das características dos sistemas deposicionais fluviais.

MODELO VARIÁVEIS	Meandrante Pelítico	Meandrante Psamítico	Anastomosado	Distributário Deltáico
Relação Lama/Areia	Moderada a alta	Moderada a baixa	Baixa	Alta
Declive	Moderado a baixo	Moderado a alto	Alto	Baixo
Descarga	Moderada a uniforme	Moderada “relâmpago”	Baixa “relâmpago”	Alta uniforme
Fácies Predominante	Transbordamento	Canal	Canal	Transbordamento
Seqüência Vertical	Decréscimo ascendente	Homogênea	Homogênea	Incipiente decréscimo
Desenvolvimento	Multicíclico	Multilateral	Multilateral	Multicíclico
Posição dos Diques naturais	Superpostos	-	-	Lateral
Principal fácies	Barras de meandro, diques naturais, rompimento de diques, depósitos de várzea e canais abandonados	Barra de meandro incompleta. Barra de corredeira e canais abandonados	Barras horizontais e transversais	Canais distributários, diques naturais, rompimento de diques, depósitos de várzea e matéria orgânica.

Fonte: SUGUIO e BIGARELLA (1990; p. 54).

6.3 Solos

Tanto em áreas rurais como em áreas urbanas, os problemas ligados à utilização inadequada dos solos no Estado de São Paulo são inúmeros. Tais problemas podem ser facilmente notados pelo avanço da utilização da terra de forma desordenada e sem respeito às limitações e potencialidades do terreno. Esses fatos resultam em enormes perdas de solo por erosão, que são carregados aos mananciais, promovendo assoreamento dentre outros problemas ambientais. Mediante o uso de mapas pedológicos, que fornecem elementos básicos para o direcionamento e a adequação do uso da terra, esses problemas podem ser evitados (ROSSI, M. e OLIVEIRA, J. B., 2000).

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (EMPRABA, 1999), no Oeste Paulista foram identificados e mapeados sete tipos de solos: os Argissolos Vermelho – Amarelos (PVA); os Argissolos Vermelho (PV); os Latossolos Vermelhos (LV); os Nitossolos Vermelhos (NV); os Gleissolos Háplicos (GX), os Neossolos Quartzarênicos (RQ) e os Planossolos Háplicos (SX).

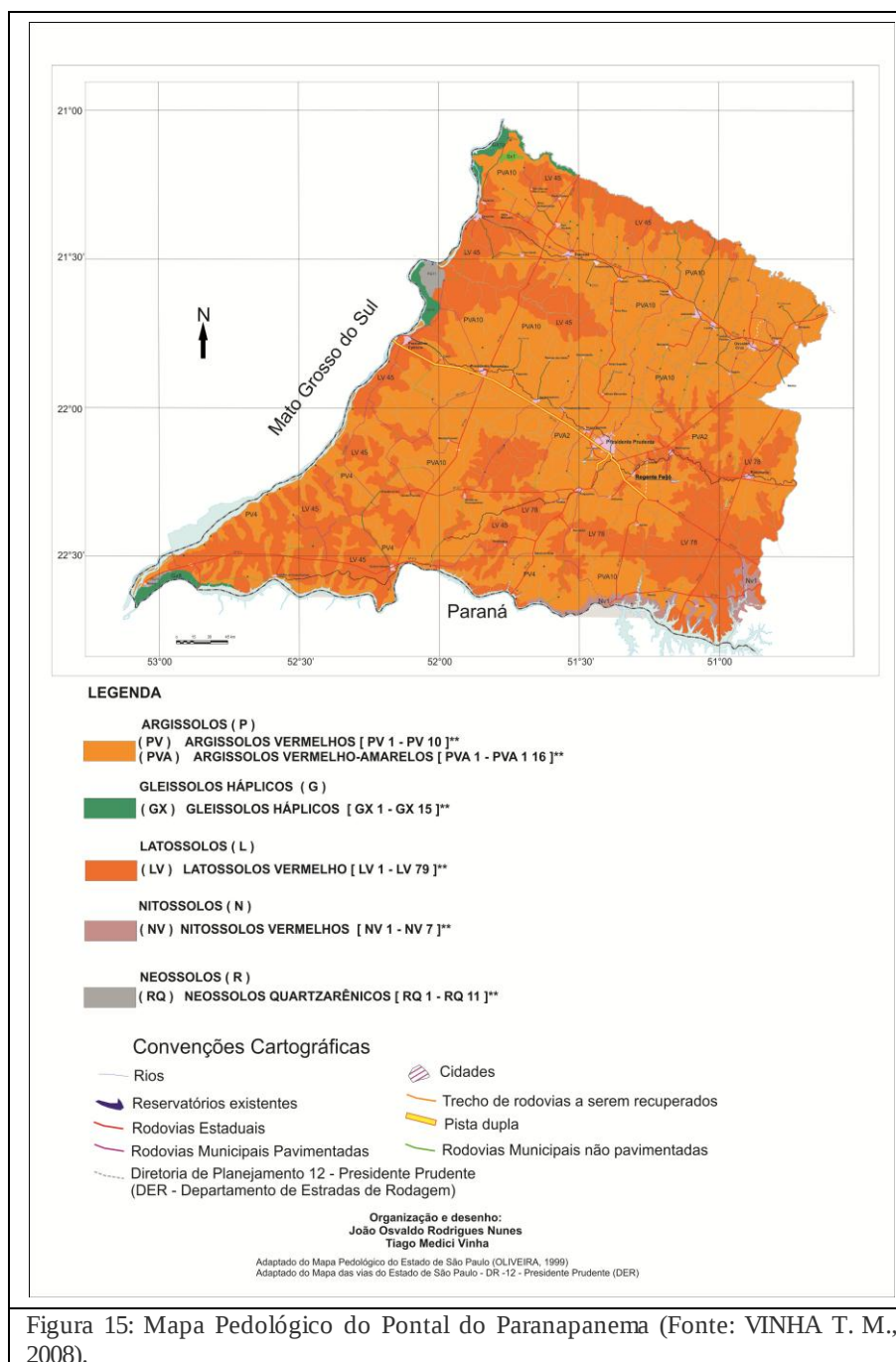


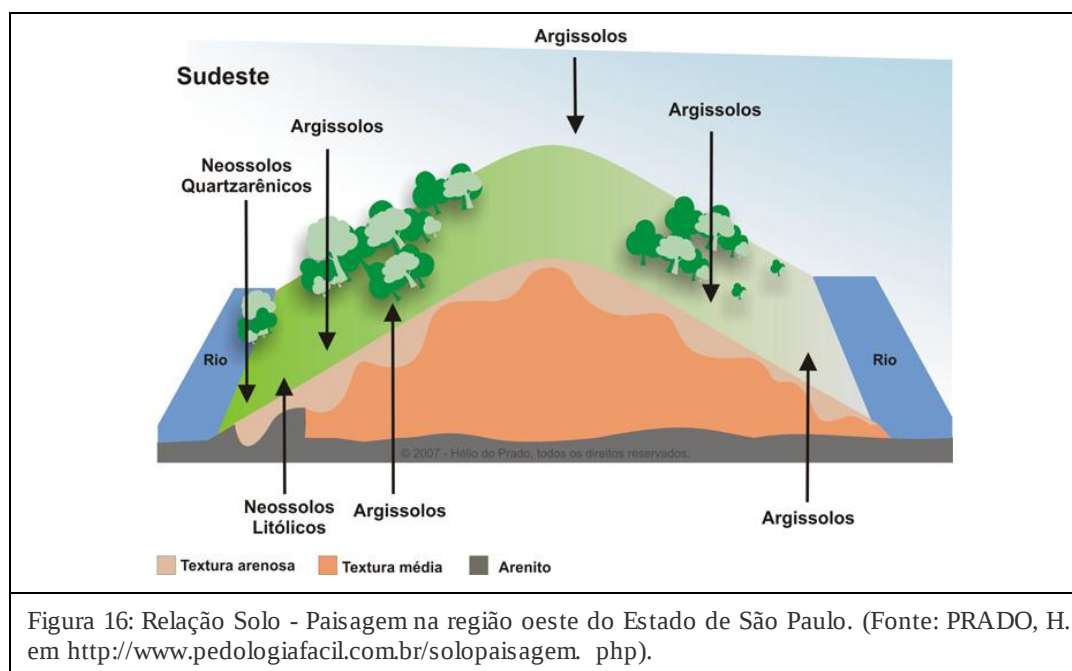
Figura 15: Mapa Pedológico do Pontal do Paranapanema (Fonte: VINHA T. M., 2008).

No município de Álvares Machado, são predominantes solos do tipo Argissolos Vermelhos – Amarelos e os Latossolos Vermelhos, com presença também de Neossolos e Planossolos Hidromórficos nas planícies aluviais. (NUNES, 2002; ÁLVARES MACHADO, 2010). “[...] Estes solos são os resultados de processos pedogenéticos ocorrido sob rochas areníticas do Grupo Bauru (Formação Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília) e basálticas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral)” (NUNES, 2002; p. 22).

Associados a relevos suavemente ondulados a ondulados, os Argissolos são originários de rochas areníticas, com cimentação calcária do grupo Bauru e se caracterizam por serem solos profundos (maior que 200 centímetros de profundidade), com baixa porosidade total e moderadamente a bem drenados.

Por apresentarem gradiente textural entre os horizontes A ou E e o B, com nítida separação entre horizontes quanto à cor, estrutura e textura, os Argissolos tem baixa ou muito baixa resistência à erosão. Além disso, devido sua textura média ou arenosa em superfície e baixa atividade da fração argila, são facilmente preparados para o plantio (NUNES et al., 2002).

De acordo com Nunes (2002; p. 22), “[...] Os relevos suavemente ondulados apresentam-se em forma de colinas com rampas de declives longos e topos levemente arredondados ou achatados, com a morfologia dos vales em V muito aberto”. Já os relevos ondulados “[...] apresentam-se em forma de colinas menos declivosas de topos também levemente arredondados, com vales mais fechados em V”.

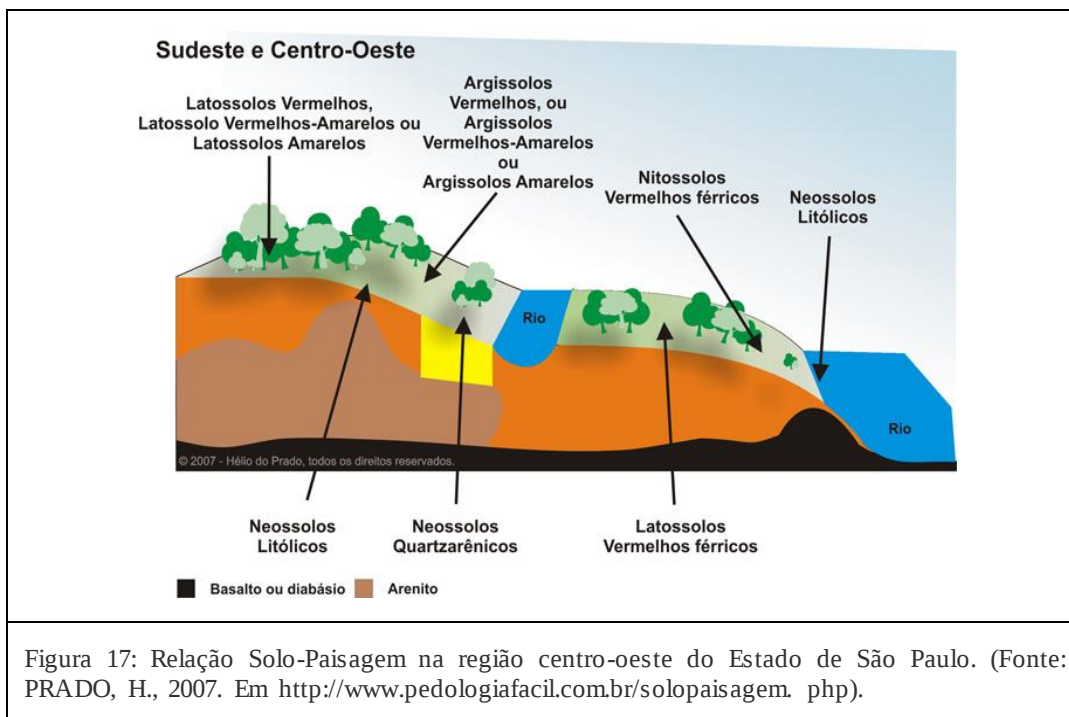


Para a região do Oeste Paulista foram identificadas 4 unidades de mapeamento dos Latossolos Vermelho: LV39 – Distrófico A moderado textura argilosa relevo plano e suave ondulado; LV45 – Distrófico A moderado textura média relevo plano e suave ondulado; LV63 – Distrófico textura argilosa relevo plano + Argissolos Vermelhos Eutróficos textura média/argilosa e média relevo suave ondulado ambos A moderado; LV78 – Distrófico A

moderado textura média relevo plano + Argissolos Vermelhos – Amarelos e Amarelos ambos Eutróficos e Distróficos A moderado textura arenosa/média e média relevo suave ondulado.

Os Latossolos são solos muito intemperizados e profundos (entre 200 e 300 centímetros), constituídos por material mineral. Apresentam porosidade total entre 50 a 60% e possuem boa drenagem interna, mesmo nos solos com maior teor de argila. São, em geral, solos com baixa fertilidade natural.

Este tipo de solo localiza-se predominantemente em relevos suavemente ondulados a ondulosos. “[...] Nos suavemente ondulosos, os topos são achatados com vertentes convexas pouco declivosas, variando entre 2 a 5 %. Já nos relevos ondulosos, os topos são arredondados com vertentes convexas, cujas declividades variam entre 5 a 15%” (NUNES, 2002; p. 22).



Já os solos hidromórficos, associados as planícies aluviais, “[...] são solos associados a relevos de várzea, nos quais ocorre constante encharcamento de água no solo. São mal drenados, ocasionando acúmulo de matéria orgânica e/ou processo de gleização, que consiste na redução do óxido de ferro durante o seu desenvolvimento” (Nunes 2002, p. 124).

6.4 Hidrogeologia

Frente à temática do trabalho, que consiste principalmente na aplicação de técnicas de conservação e recuperação de nascentes, a caracterização hidrogeológica torna-se importante para a compreensão da dinâmica da água que ocorre em subsolo e, por conseguinte, do seu afloramento em superfície.

Segundo Nunes (2002):

As características hidrogeológicas (Tipo e Ocorrência, Permeabilidade Aparente e Transmissividade Aparente) presentes em formações geológicas é importante para se entender o processo de circulação da água nos meios porosos por granulação, fissuração ou dissolução.

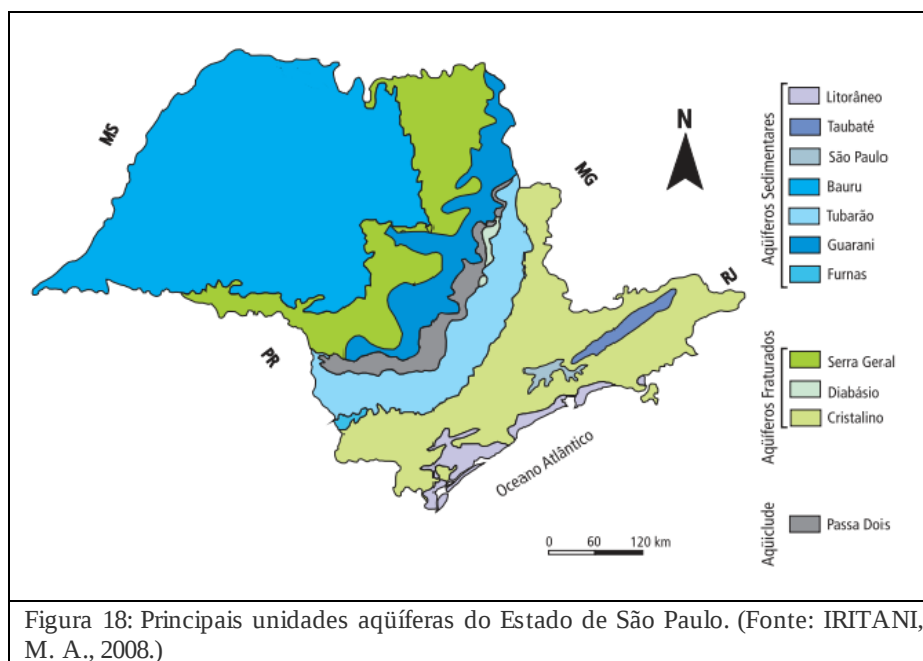
O autor ainda cita que estas informações, associadas às características morfoestruturais e pedológicas, são fundamentais para a individualização de unidades aquíferas.

Para tanto, será abordado sobre as unidades aquíferas do Estado de São Paulo e num segundo momento sobre o aquífero sob qual a área está situada: o aquífero Bauru.

Os tipos de aquífero estão intimamente ligados às unidades geológicas que os compõem. As rochas foram formadas em períodos geológicos diferentes, sob variados ambientes e climas, imprimindo propriedades hidrogeológicas diferenciadas a cada formação rochosa aquífera. Estas propriedades refletem no seu armazenamento, produtividade e na vulnerabilidade à poluição.

No livro de Iritani (2008) intitulado “As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo”, a autora salienta que configuram-se dois tipos de aquíferos no Estado: os Aquíferos Sedimentares e os Fraturados.

Dentre os Aquíferos Sedimentares, destacam-se os aquíferos Guarani, Bauru, Taubaté, São Paulo e Tubarão. Já entre os Aquíferos Fraturados, incluem-se o Aquífero Serra Geral e o Aquífero Cristalino (Figura 18).



A parte leste do Estado de São Paulo é constituída por rochas antigas, formadas há mais de 550 milhões de anos, de origem ígnea e metamórfica (granitos, quartzitos, calcários, etc.). Denominamos a este conjunto de rochas Embasamento Cristalino, constituinte do Aquífero Cristalino (IRITANI, 2008).

Entre 500 e 130 milhões de anos atrás, sob influência do mar que, por períodos avançava e por outros recuava, e também do continente, depositou-se sobre as rochas do Embasamento Cristalino uma sequência de sedimentos variados. Após a deposição, esses sedimentos sofreram ações de compactação e consolidação, formando a Bacia Sedimentar do Paraná, que constituem os atuais Aquíferos Furnas e Tubarão e o Aquíclode Passa Dois.

Sob atuação do continente, uma vez que o mar foi se tornando mais restrito, os sedimentos passaram a ser transportados, predominantemente, pelo vento. Sob o clima ainda um pouco úmido, formaram-se rochas sedimentares arenosas e posteriormente, já sob clima desértico, foram depositados sedimentos eólicos, dando origem aos arenitos da Formação Botucatu. Apesar dessas rochas terem sido formadas em condições adversas, por terem propriedades hidráulicas semelhantes, ambas passaram a compor o Aquífero Guarani.

Aproximadamente a 130 milhões de anos atrás, configurou-se uma nova formação:

[...] um vulcanismo resultante da ruptura de porções da crosta terrestre, associado à separação do Continente Sul-Americano da África, originou sucessivos derrames de lava, que recobriram os sedimentos da Bacia Sedimentar do Paraná, confinando o Aquífero Guarani situado abaixo. O resfriamento desta lava formou rochas denominadas de basalto e diabásio,

que constituem os aquíferos fissurais Serra Geral e Diabásio (IRITANI, 2008, p. 30).

Cessado os períodos de derrame de lava, há a aproximadamente 65 milhões de anos, uma nova sequência de sedimentos foi depositada sob atuação de um clima mais úmido, dando origem a rochas sedimentares da Bacia Sedimentar Bauru, que constituem o Aquífero Bauru.

Por fim, há mais de 2 milhões de anos, os Aquíferos São Paulo, Taubaté (Aquífero Pré-Cambriano) e Litorâneo originaram-se a partir da consolidação de depósitos sedimentares sobre unidades mais antigas (Embasamento Cristalino).

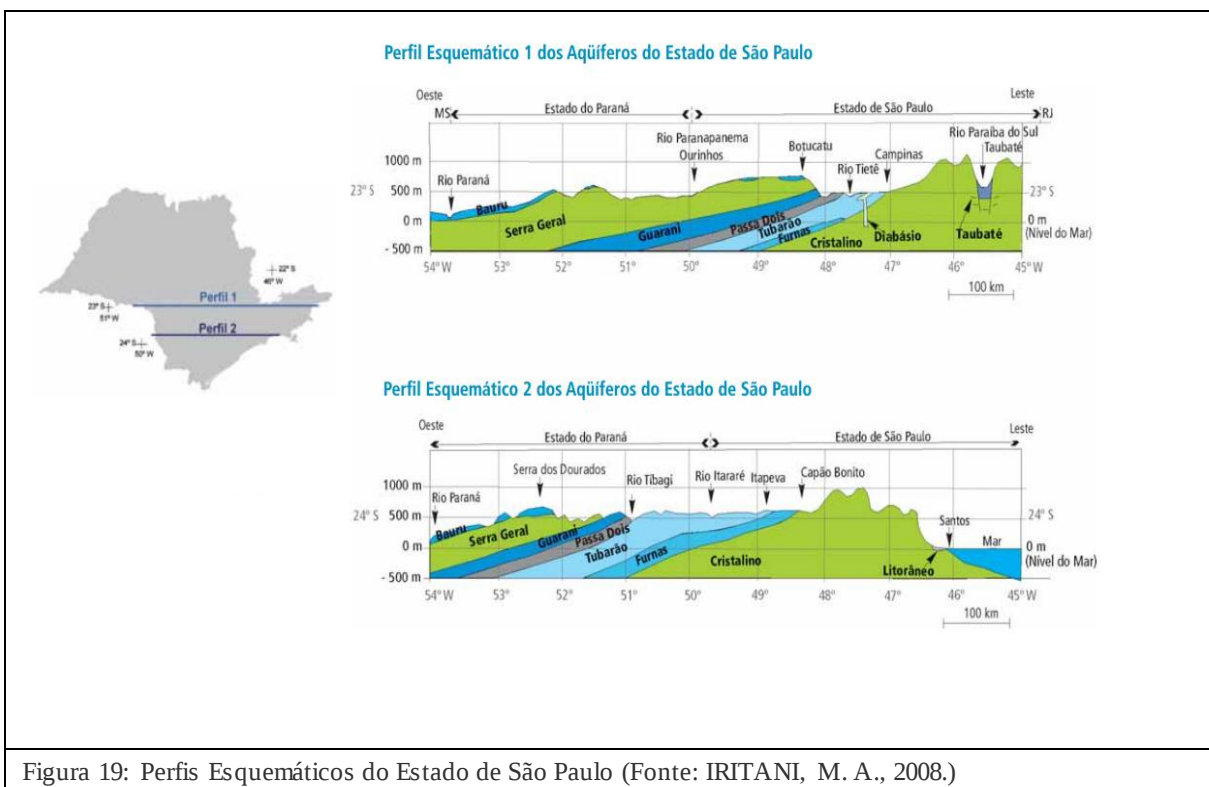


Figura 19: Perfis Esquemáticos do Estado de São Paulo (Fonte: IRITANI, M. A., 2008.)

No trabalho de Mancuso & Campos (2005 in DAEE/IG/IPT/CPRM) são definidos os limites das unidades aquíferas comparadas à geomorfologia do Estado.

Os autores salientam que o Aquífero Pré-Cambriano ocorre desde as escarpas da Serra do Mar até a região limítrofe com a Depressão Periférica. Na Depressão Periférica ocorrem em superfície os aquíferos Tubarão e Guarani, além das rochas sedimentares finas do Grupo Passa Dois.

Já o Aquífero Guarani aflora em faixa estreita e irregular sobre o Aquicludo Passa Dois e, mais para oeste é confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral, ocorrendo em

profundidades que variam desde algumas dezenas de metros, junto à área de afloramento, a até mais de 1900 m, no extremo oeste do Estado.

O Aquífero Serra Geral, por sua vez, ocorre em superfície na região das Cuestas Basálticas, na porção intermediária do Estado e regiões mais rebaixadas junto às margens dos rios Grande, a norte, e Paranapanema, a sul. Encontra-se, em sua maior parte, recoberto pelos sedimentos que constituem o Aquífero Bauru, importante fonte de abastecimento para toda a porção oeste do Estado.

6.4.1 Aquífero Bauru

O Aquífero Bauru possui uma área aproximada de 96.880 km² e ocupa aproximadamente a metade oeste do território do Estado de São Paulo. Os limites do Aquífero Bauru no Estado compreendem a oeste e noroeste o rio Paraná, a norte o rio Grande, a sul o rio Paranapanema e áreas de afloramento da Formação Serra Geral (Figura X), que delimitam também o aquífero na região leste (Figura 20) (Mancuso & Campos, 2005 in DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

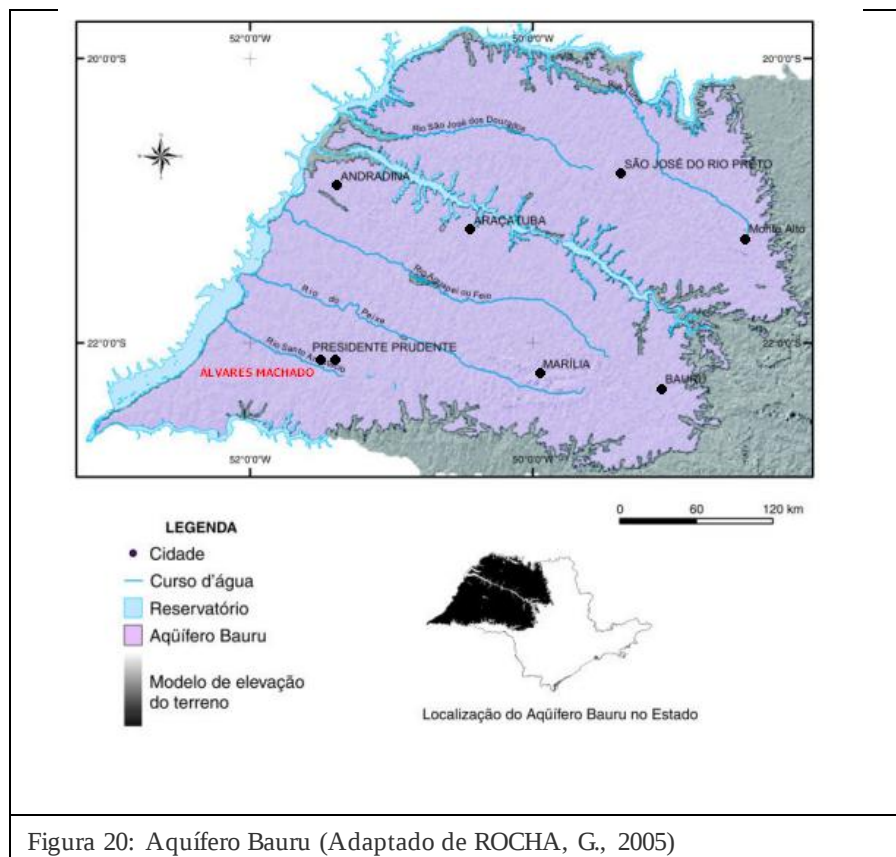


Figura 20: Aquífero Bauru (Adaptado de ROCHA, G., 2005)

Baseado na Tabela 3 fornecida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), os principais sistemas aquíferos presentes no Oeste Paulista são: Bauru/Caiuá, Serra Geral e Botucatu. Por a área de estudo estar situada sob o sistema Bauru/Caiuá, este será mais detalhado no trabalho.

Tabela 3: Síntese dos Sistemas e Unidades Aquíferas do Oeste Paulista.

Sistema	Unidade Aquífera	Unidade Geológica	Características Hidrogeológicas			Litologia
			Tipo e Ocorrência	Permeabilidade Aparente (m/dia)	Transmissividade Aparente (m ² /dia)	
Bauru/Caiuá	Bauru Médio/Superior	Kb ₂ -Fácies Marília Kb ₂ -Fácies Taciba ⁵	-Livre a localmente confinado, porosidade granular; -Contínuo e não uniforme.	0,1 a 0,4	10 a 50	Arenitos grosseiros imaturos; com abundantes nódulos e cimento calcíticos, bancos de arenitos finos intercalados com lamitos e siltitos.
	Bauru Inferior/Caiuá	Kb _{1B} -Fácies Ubirajara Fácies Sto. Anastácio Kb _{1A} -Formação Caiuá	-Livre a localmente semiconfinado; -granular; -contínuo e uniforme.	1 a 3	100 a 300	Arenitos finos, maciços, baixo teor de matriz; arenitos finos a médios, boa seleção
Serra Geral	Basalto	Ksg-Formação Serra Geral	-Livre, fortemente anisotrópico; -porosidade de fissuras; -descontínuo.	Muito variáveis; valores mais elevados estão associados as juntas, fraturas e arenitos interderrames; zonas aquíferas		Basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos
Botucatu	Botucatu	Jb-Formação Botucatu Jp-Formação Piramboia	-Confinado, contínuo e uniforme; -granular.	1 a 4	300 a 800	Arenitos eólicos, finos, bem selecionados; níveis de lamito na parte inferior

Fonte: DAEE (1979: 109)

Conforme a Tabela 3, o sistema Bauru/Caiuá, também denominado Grupo Bauru, subdivide em duas unidades aquíferas: a Bauru Médio/Superior e a Bauru Inferior/Caiuá. Na parte superior compreende as unidades geológicas da formação Marília e da formação Adamantina, e na inferior, as formações Santo Anastácio e Caiuá.

Ambas as unidades do grupo Bauru ocorrem de forma livre a localmente confinada e apresentam porosidade granular e contínua, sendo esta porosidade não uniforme para a unidade Bauru Médio/Superior, e uniforme, para a unidade Bauru Inferior/Caiuá.

Na unidade superior, os valores de Transmissividade Aparente variam de 10 a 50 m²/dia, apresentando, em algumas áreas, a faixa de 10 a 30 m²/dia. Quanto aos valores de Permeabilidade Aparente, este varia de 0,1 a 0,4, com uma Porosidade de 5%.

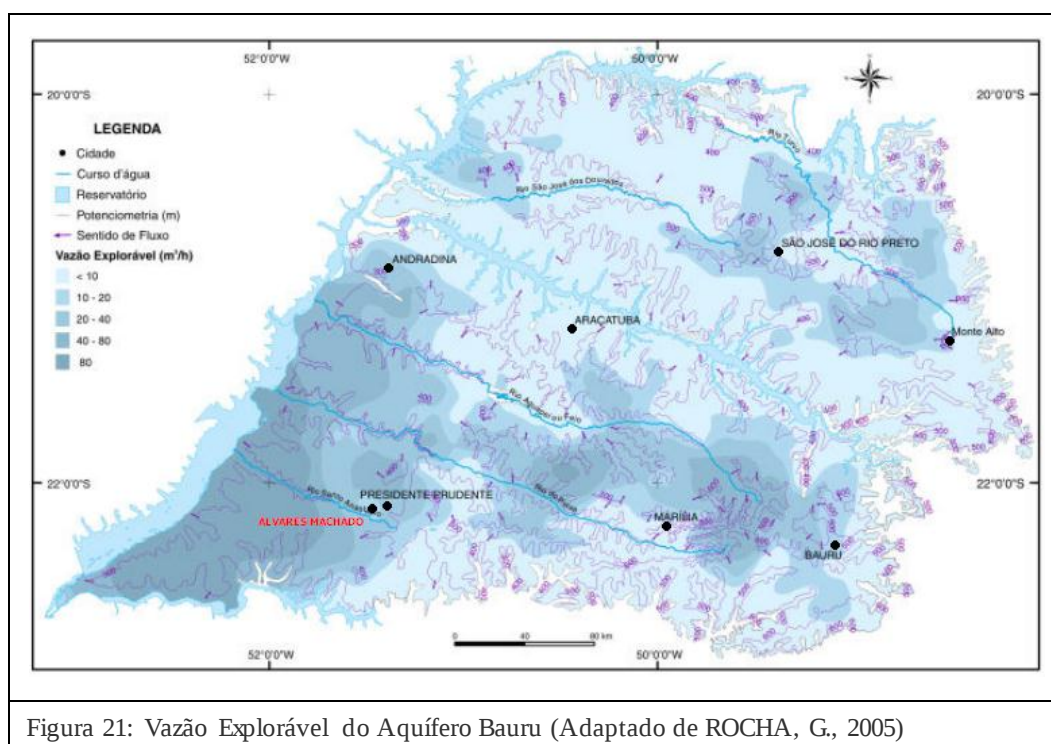
Já na unidade inferior, as transmissividades variam de 100 a 300 m²/dia. Os valores próximos a 300 m²/dia correspondem à área com espessuras saturadas entre 100 e 150 metros. Os coeficientes de permeabilidade variam de 1 a 3 m/dia, com uma porosidade entre 10 a 15%. Os maiores valores estão relacionados à Formação Caiuá.

Nunes (2002) ressalta:

A restituição de água para estes aquíferos está diretamente relacionada com aos valores estimados de porosidade eficaz, que correspondem à composição granulométrica associada ao grau de seleção dos sedimentos, e ao das condições morfoestruturais (altos e baixos estruturais) e estratigráficas dos sedimentos (NUNES, 2002; p. 120).

Mancuso & Campos (2005), utilizando mapas temáticos como os de transmissividade (dados pontuais), potenciométrica (dados pontuais e curvas), coeficiente de armazenamento (valor por área) e base do aquífero (dados pontuais), através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), produziram um mapa de zoneamento das vazões exploráveis (Figura 21).

Nos domínios do Bauru Médio/Superior predominam vazões exploráveis inferiores a 10 m³/h, enquanto que no Bauru Inferior/Caiuá predominam vazões entre 40 a 80 m³/h. Na área de estudo, o mapa aponta para uma vazão explorável entre 20 a 40 m³/h.



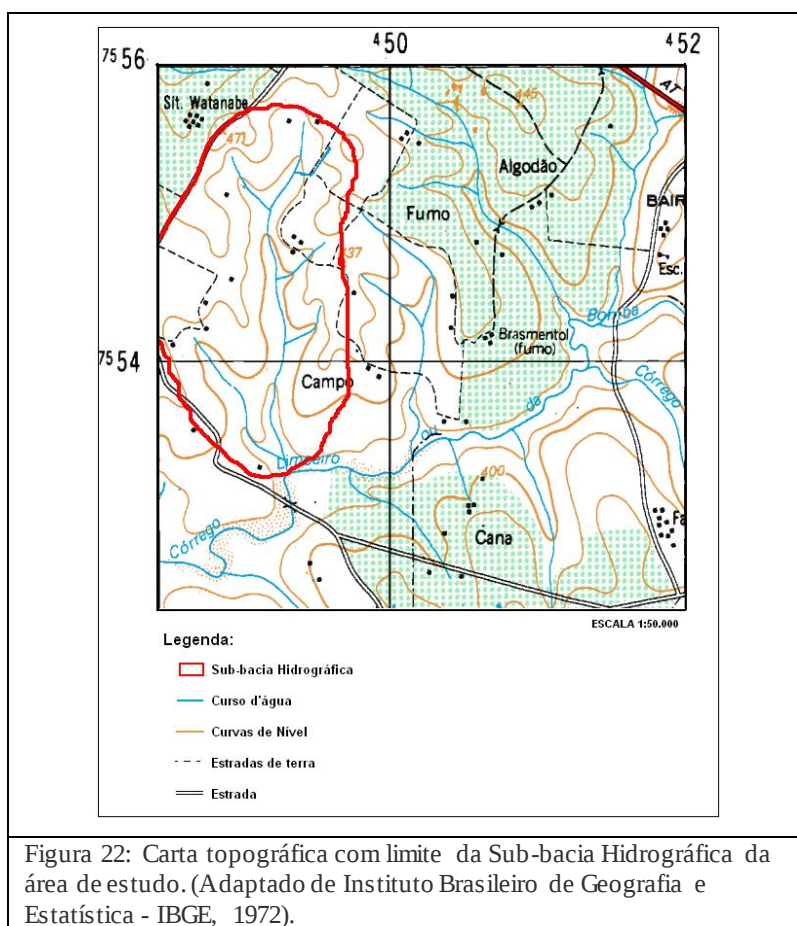
Se tratando da qualidade química do aquífero Bauru, Mancuso & Campos (2005) afirmam:

As águas do Aquífero Bauru apresentam, de modo geral, baixa concentração salina, com valores de resíduo seco raramente atingindo 300 mg/L. As águas com menor concentração salina ocorrem nos vales baixos, especialmente a jusante dos principais rios interiores, enquanto as águas com concentração salina mais elevada ocorrem ao longo dos espigões de Pompéia - Adamantina e Valparaíso - Mirandópolis. O pH varia de ácido (4,59) a básico (9,64), com predominância de águas bicarbonatadas cálcicas (58%), nas áreas de planaltos e espigões, e bicarbonatadas cálcico-magnesianas (11%), nas áreas próximas aos vales. No extremo oeste do Estado e nas regiões de Pirapozinho e Bastos, ocorrem águas bicarbonatadas sódicas (MANCUSO e CAMPOS et al, 2005; p. 38).

Em suma, o Aquífero Bauru é considerado de produtividade média a alta e sua água é, em geral, de boa qualidade, podendo ser utilizada para consumo humano, agropecuária e abastecimento público. Por possuir tais características e a água subterrânea situar-se a pouca profundidade, facilitando sua captação, o manancial é bastante explorado, com cerca de 240 municípios do interior paulista captando água dele. Mas por ser um aquífero livre, onde a recarga de água se faz por toda sua extensão, ele está mais suscetível à poluição.

7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA A APLICAÇÃO DE PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DE NASCENTE

A área definida para o estudo de nascentes está localizada em área rural no município de Álvares Machado, cujas coordenadas UTM são 7555366 e 0449425. A referida área está inserida em uma Sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Córrego do Limoeiro (Figura 22). Nas proximidades, se encontra o Santuário Morada de Deus e perpassa a rodovia vicinal AVM – 030 Vereador José Molina, que leva ao Distrito de Coronel Goulart.



Como pode ser visto na Figura 23, predominam pequenas propriedades rurais que utilizam de seu espaço principalmente para pastagem, na criação de gado e equinos e, secundariamente, para o cultivo de gêneros agrícolas. Evidentemente, tais cultivos se processam em propriedades que já apresentam um histórico de degradação dos solos e dos cursos d'água, em virtude do modo de uso e ocupação discutidos anteriormente.

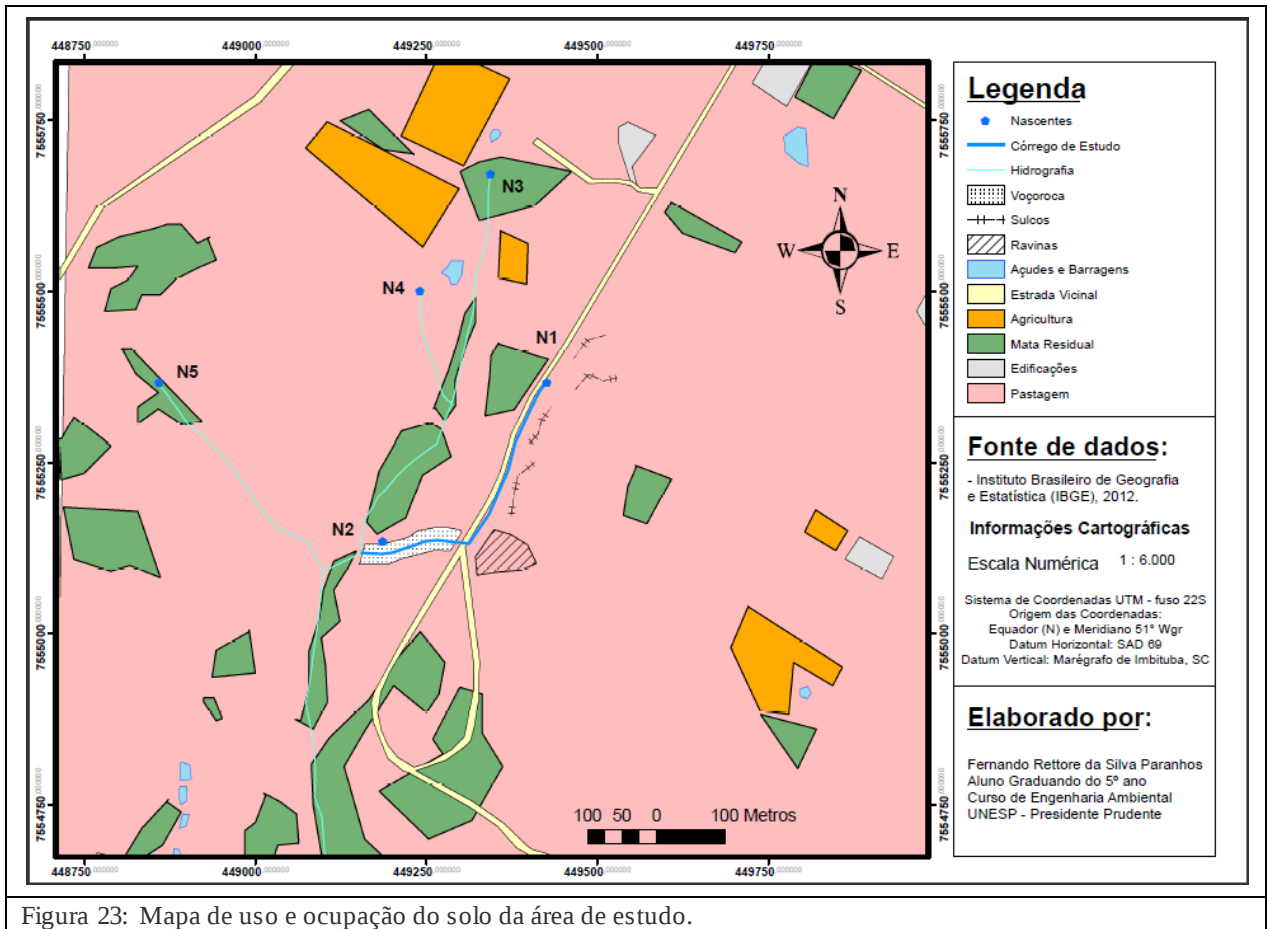


Figura 23: Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo.

Ressalta-se que nessas propriedades não se utilizam de práticas de conservação do solo além de não se respeitarem as áreas de proteção permanente. Para tanto, o que se encontra é uma área com estágio avançado de degradação tanto dos mananciais quanto do solo (Figuras 24 a 28).



Figura 24: Visão ampla da área de estudo, mostrando a predominância de áreas de pastagem e vertentes sem práticas de conservação do solo (terraços) com diversas feições erosivas.



Figura 25: Feições erosivas às margens do córrego tributário, promovendo seu assoreamento.



Figura 26: Erosão às margens do córrego tributário, promovendo seu assoreamento.



Figura 27: Encontro dos córregos com sinais de assoreamento e ausência de mata ciliar.



Figura 28: Córrego tributário com apenas alguns fragmentos de mata ciliar.

7.1 Estrada rural

Há também na área de estudo uma estrada rural de terra que perpassa as propriedades. A construção dessa estrada foi muito mal planejada e executada: promovendo cortes no relevo, forjando o afloramento do arenito em algumas ocasiões, ela foi construída sem levar em consideração o relevo e sem preocupações conservacionistas, principalmente com o disciplinamento das águas do escoamento superficial. Nas figuras 29 e 30 a seguir, ficam evidentes tais situações.



Figura 29: Estrada rural vicinal de terra na área de estudo, margeada por barrancos altos e comprimento de lançante grande.



Figura 30: Afloramento do arenito da Formação Adamantina na lateral da estrada causado pelo corte feito para a construção da estrada.

Nota-se que a estrada vicinal de terra é margeada por barrancos altos e possui comprimento de lançante grande, dificultando a drenagem das águas pluviais da estrada. Após a ocorrência de uma forte chuva, os fluxos de águas pluviais se concentram e a estrada serve como verdadeiro canal escoador, promovendo o carregamento do solo. “A largura e o comprimento de lançante contribuem em muito para o carregamento do solo para as nascentes e baixadas, assoreando os mananciais” (ZOCCAL, 2007; p. 18).

O escoamento superficial se concentra na estrada de terra principalmente nas laterais, onde pode ser visto sinais do carregamento do solo pelas águas (Figura 31).



Figura 31: Erosão na lateral da estrada causada pelo escoamento superficial.

Na Figura 32 mostra-se o local de baixada. Nessa área, não há mais o impedimento físico para que a água escoe para as áreas adjacentes. O escoamento superficial ocorre para os dois lados, invadindo tanto a propriedade do lado esquerdo (Figura 33) como a do lado direito (Figura 34).



Figura 32: Local de baixada da estrada rural vicinal de terra.



Figura 33: Caminho que o escoamento superficial percorre para o lado esquerdo da estrada.



Figura 34: Detalhe do caminho que o escoamento superficial segue no lado direito da estrada.

Este último configura uma feição erosiva logo quando adentra na propriedade (Figura 35).

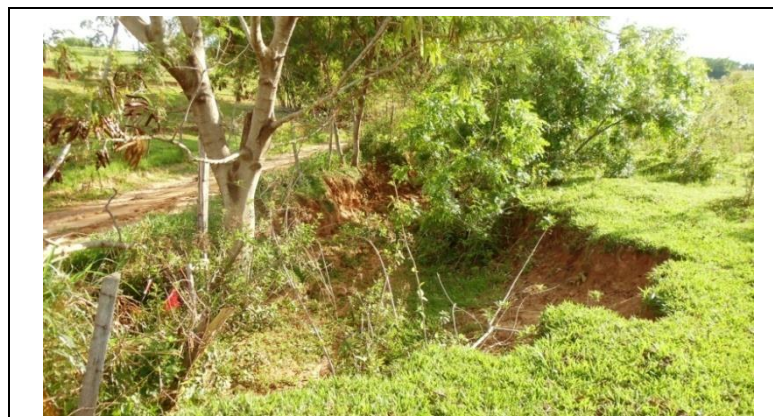


Figura 35: Feição erosiva à margem direita da estrada ocasionada pela concentração do fluxo de escoamento superficial.

Devido a declividades do relevo e a morfologia das laterais da estrada vicinal, as águas superficiais tendem a ir para o terreno mais baixo da propriedade à direita da estrada. Há uma travessia construída para que a água que escoar superficialmente no lado esquerdo possa seguir o seu caminho.



Figura 36: Detalhe da entrada da travessia.

A água superficial que adentrou na propriedade pelo lado direito, já configurando uma feição erosiva, e a água que escoar para a propriedade à esquerda e passa pela travessia, se concentram a jusante dela, aumentando o poder erosivo, dando forma a uma erosão do tipo voçoroca. Essa voçoroca possui 40 metros de comprimento aproximadamente e se liga ao córrego principal.

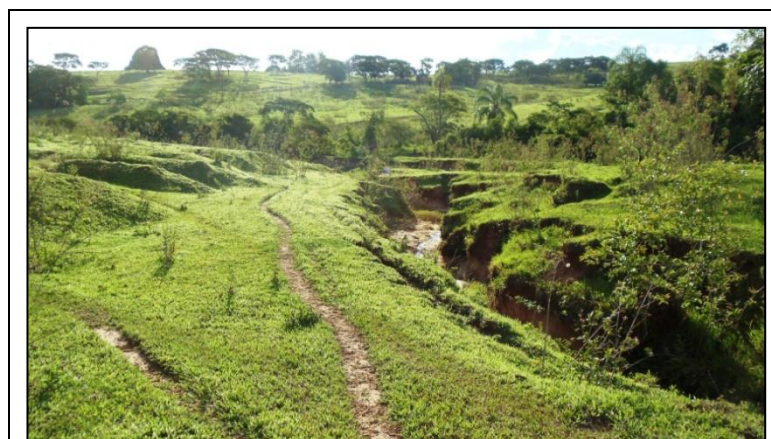


Figura 37: Imagem da voçoroca.

7.2 Nascentes

A área onde estão situadas as nascentes, apresentam nos setores a montante, ampla morfologia de cabeceira de drenagem em forma de anfiteatro, onde é comum a surgência de água em superfície. Em campo, foram identificadas 5 nascentes.

No presente trabalho, foram caracterizadas as nascentes 1 e 2 respectivamente como N1 e N2 que originam o afluente do córrego principal. Conforme a Tabela 4, as nascentes foram classificadas do tipo contato, a partir dos fatores: superfície e vazão.

Tabela 4: Classificação das nascentes N1 e N2.

Nascente	Tipo	Aspecto acima da superfície	Vazão
N 1	Contato	Pontual	Perene
N 2	Contato	Difusa	Intermitente

A N1 é um afloramento de água que ocorre na lateral da estrada vicinal (Figuras 38 e 39). Ela se configura no “pé” do corte/barranco feito pela estrada e é um olho d’água perene.



Figura 38: Local de afloramento da N1 (cone laranja).



Figura 39: Detalhe do arenito da Formação Adamantina, onde aflora a N1.

O escoamento da água da N1 desembocará em uma voçoroca localizada à jusante conforme descrito no tópico anterior (Figura 40).



Figura 40: Córrego no interior da voçoroca.

Nos domínios da propriedade localizada a jusante do afloramento da N1, identificou-se a N2, caracterizada por ser difusa e intermitente (Figuras 41 e 42). Nas visitas realizadas em campo, observou que ora estava aflorando e ora estava seca.



Figura 41: Local de afloramento da N2, às margens da voçoroca, identificado pelo cone laranja.



Figura 42: Afloramento da N2.

8 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DA NASCENTE 1

A presente proposta será realizada somente para a N1, devido a esta estar situada as margens da estrada vicinal.

Assim, baseada na caracterização descrita da área, propõe-se como projeto de recuperação e manejo da N1, a metodologia desenvolvida pela Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo (CODASP).

A CODASP é a empresa oficial de serviços de motomecanização do Governo do Estado. Com 84 anos, é vinculada à Secretaria de Agricultura e Abastecimento e atua em consignação, por conta própria ou por conta de terceiros, no ramo da engenharia operando em atividades de motomecanização, obras e edificações. Oferece serviços de infraestrutura voltados ao agronegócio, à irrigação, agricultura, silvicultura, agropecuária, desenvolvimento sustentado, conservação do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis, principalmente do solo e da água. Com economia mista e uma sociedade por ações, faz parte da administração indireta do Estado, atuando em atividades que implementem a política do Governo estadual de São Paulo e ainda, celebra convênios para atingir as metas dos programas instituídos pelo Chefe do Poder Executivo, relacionados com as atividades da Empresa. Entre seus principais clientes estão Prefeituras, cooperativas, produtores rurais e órgãos públicos federais, estaduais e municipais.

A metodologia intitulada “Drenagem Profunda” consiste na utilização/instalação de estruturas drenantes em áreas sub-superficiais da estrada, seja no sub-leito e/ou as margens da plataforma e **tem por objetivo interceptar o fluxo da água subterrânea através do rebaixamento do nível freático, impedindo-o de atingir o subleito.** Ela é aplicada quando há ocorrência de **afioramento do nível freático na pista de rolamento ou nas laterais.** Sua aplicação ocorre também, quando há umidade no sub-leito da estrada, prejudicando a capacidade de suporte da mesma (CODASP, 2002).

8.1 Metodologia

Para a execução da proposta, primeiramente é feita a identificação do(s) afioramento(s) de água e/ou os pontos de umidade no sub-leito da estrada. No caso de afioramento de água, faz-se o cálculo da vazão para posterior dimensionamento dos tubos drenantes (Figura 43).



Fica clara a necessidade de se conhecer a extensão desde o afloramento de água até a saída do escoamento da mesma na estrada de rodagem para se ter idéia da dimensão da obra. Isto pode ser identificado no mapa hipsométrico da área de estudo (Figura 44), associado ao perfil topográfico (Figura 45), onde se vê que a distância de N1 até a saída do córrego da estrada é de aproximadamente 300 metros e que o desnível é de 10 metros.

No contexto da área, o trecho que em que se aplica a proposta é desde a nascente até a saída do córrego da estrada, na travessia (baixada), onde é feito o lançamento de água do tubo drenante.

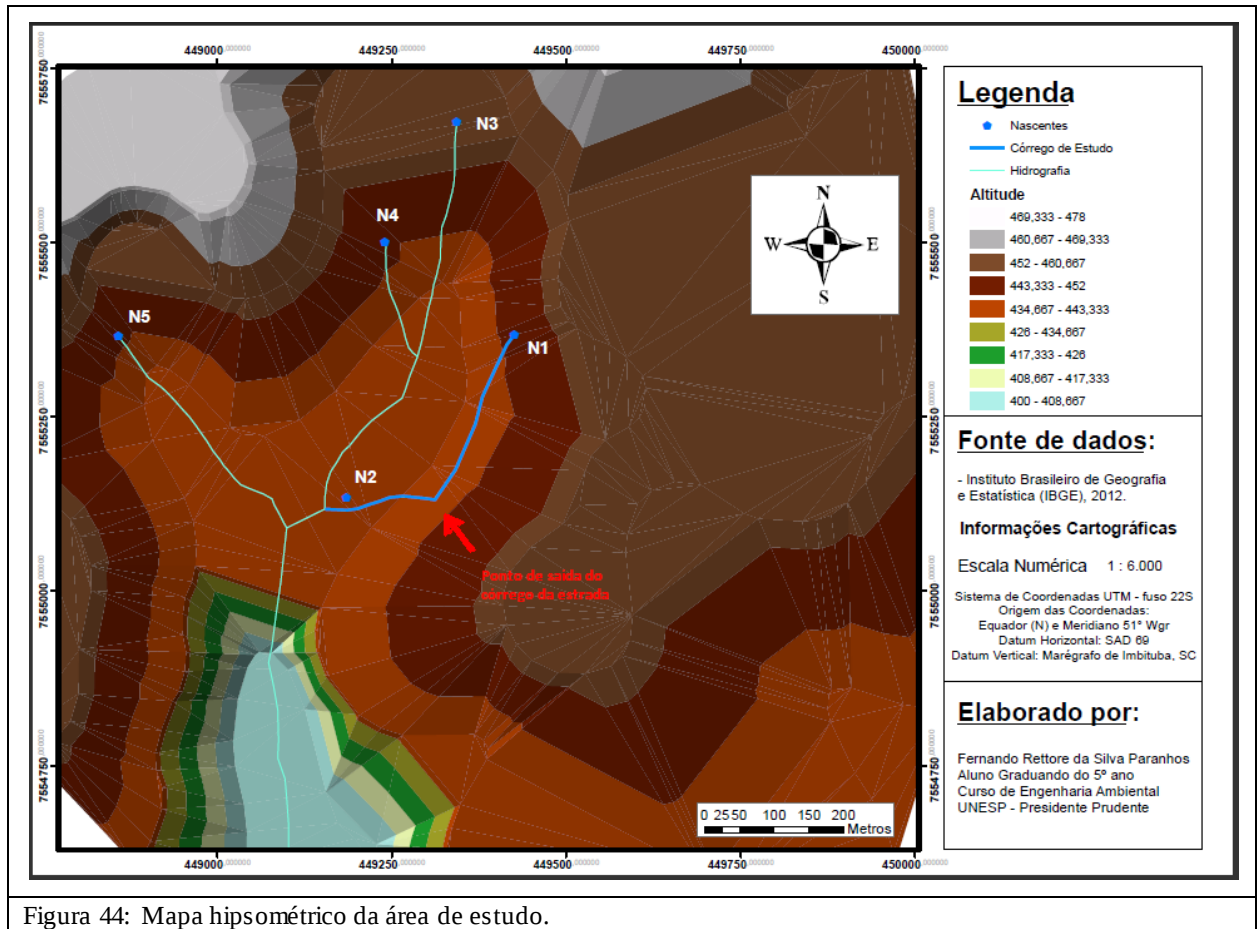


Figura 44: Mapa hipsométrico da área de estudo.

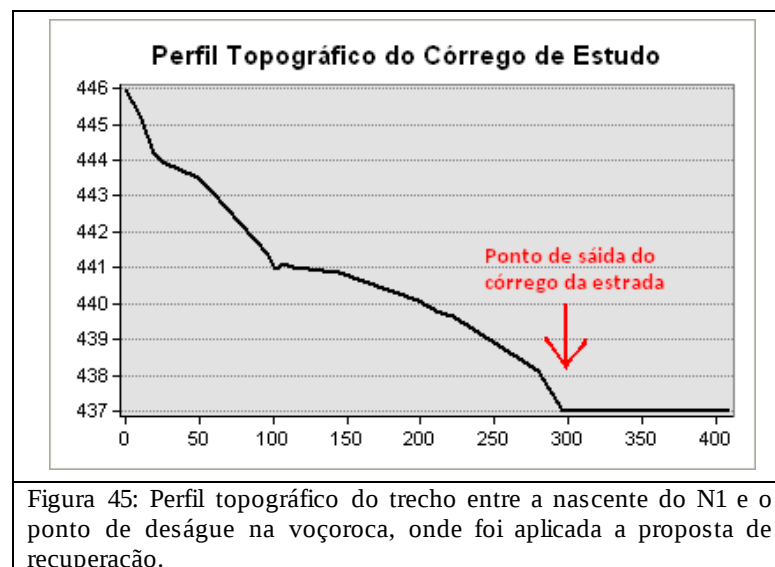


Figura 45: Perfil topográfico do trecho entre a nascente do N1 e o ponto de deságue na voçoroca, onde foi aplicada a proposta de recuperação.

Em um segundo momento é feita a limpeza da faixa de corte. Essa etapa consiste na remoção do material de cobertura da faixa aonde será feito o trabalho (CODASP, 2002). Na área, se realiza a remoção da cobertura vegetal existente na lateral da estrada, deixando o solo exposto para a execução da obra. O trabalho pode ser feito manualmente ou com o auxílio de máquinas.

Após a limpeza da área, com auxílio de uma retroescavadeira dá-se início a abertura de vala na lateral da pista de rolamento com dimensões mínimas de 0,50 m de largura x 1,20 a 1,50m de profundidade e extensão ao longo do trecho a ser drenado (Figuras 46, 47 e 48). A operação de abertura da vala de drenagem deve ser feita no sentido do aclave (CODASP, 2002).

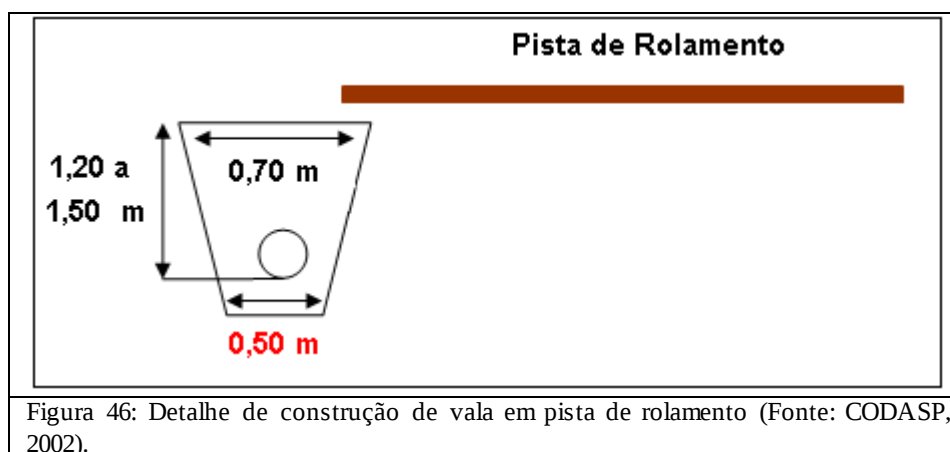
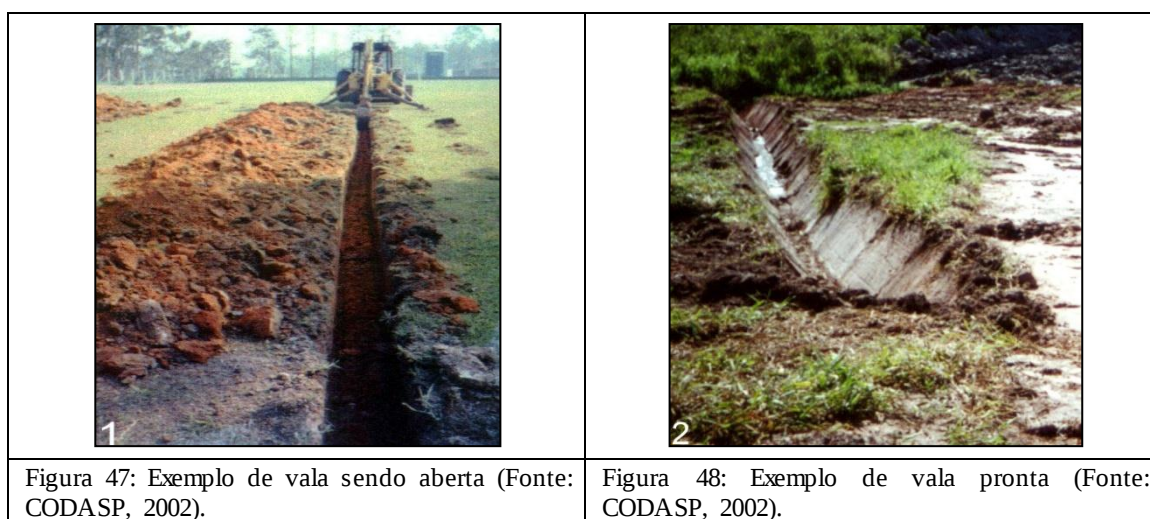
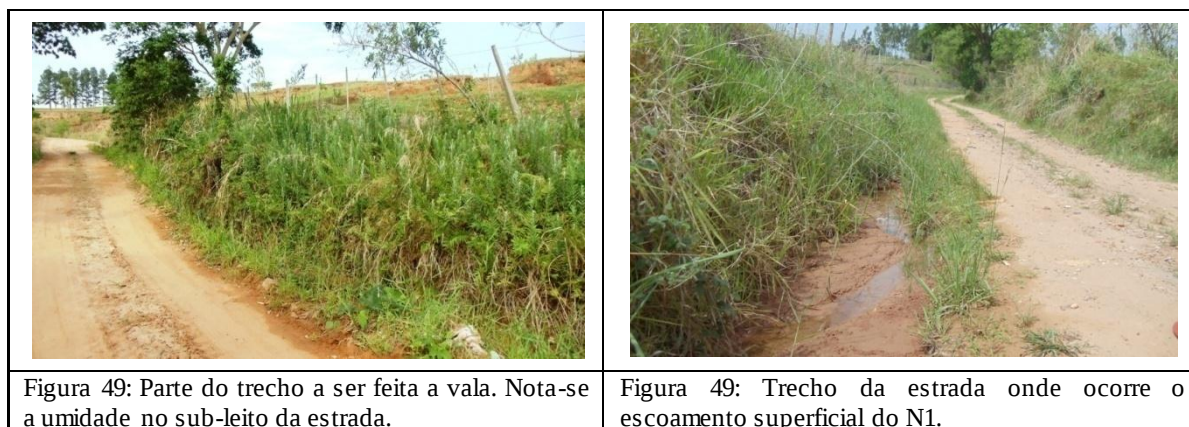


Figura 46: Detalhe de construção de vala em pista de rolamento (Fonte: CODASP, 2002).



A disposição dos drenos bem como os locais de instalações serão definidos em função do relevo e da posição da fonte de umidade a ser drenada. Os mesmos podem ser dispostos no sentido longitudinal da estrada, no sentido transversal e ainda no formato de “espinha de peixe”, de acordo com a situação específica (CODASP, 2002).

No caso da área, o dreno será disposto na lateral, em sentido longitudinal da estrada conforme visto nas figuras 49 e 50.



Com a vala pronta, deve ser feito o assentamento da manta geotêxtil no seu interior e posteriormente a colocação de um berço de brita nº 2. Faz-se então o assentamento do elemento drenante, que pode ser bambu ou tubos de drenagem (Figura 51 a e b).



O tubo de drenagem deve ser dimensionado quanto à vazão do afloramento de água e quanto à velocidade do fluxo, que por sua vez depende da declividade do terreno.

Como a vazão da nascente de estudo é relativamente baixa, o tubo de drenagem utilizado é o menor, de 2.5 polegadas de diâmetro.

É feito o preenchimento do dreno com brita nº 2 e então se realiza o fechamento da manta geotêxtil (Figuras 52 e 53). Não sendo desejável a influência de águas superficiais (pluviais) no dreno, deve-se promover o selamento da vala com material argiloso compactado (Figura 54). Caso contrário, é permitida a utilização de qualquer tipo de solo, devendo então ser utilizado preferencialmente o material resultante da abertura da vala (CODASP, 2002).

		
Figura 51: Exemplo de preenchimento do dreno com brita (Fonte: CODASP, 2002).	Figura 52: Exemplo de fechamento da manta geotêxtil envolvendo os materiais (Fonte: CODASP, 2002).	Figura 53: Preenchimento total da vala (selamento) com solo (Fonte: CODASP, 2002).

A vala pronta deve ter uma configuração conforme ao da figura 55 e estar disposta no leito da estrada conforme a figura 56.

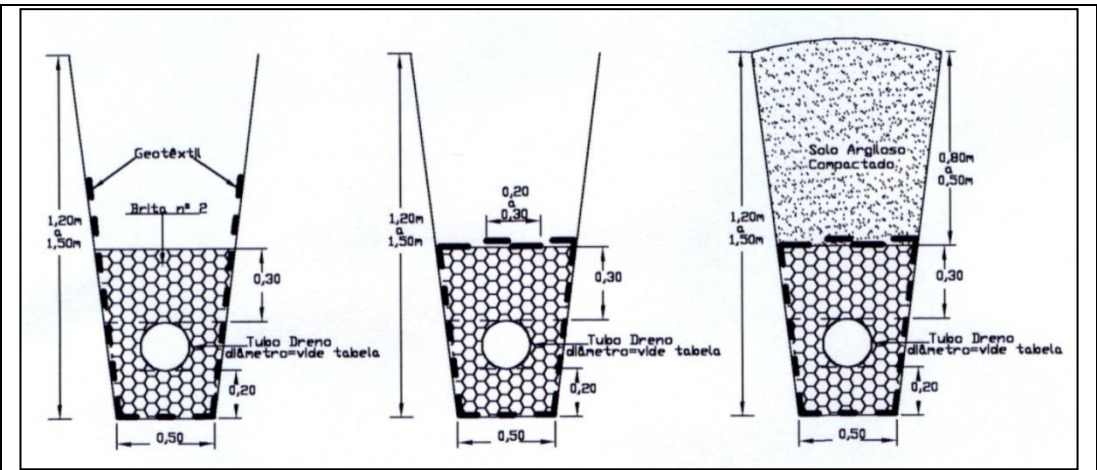


Figura 54: Detalhamento de drenagem profunda.

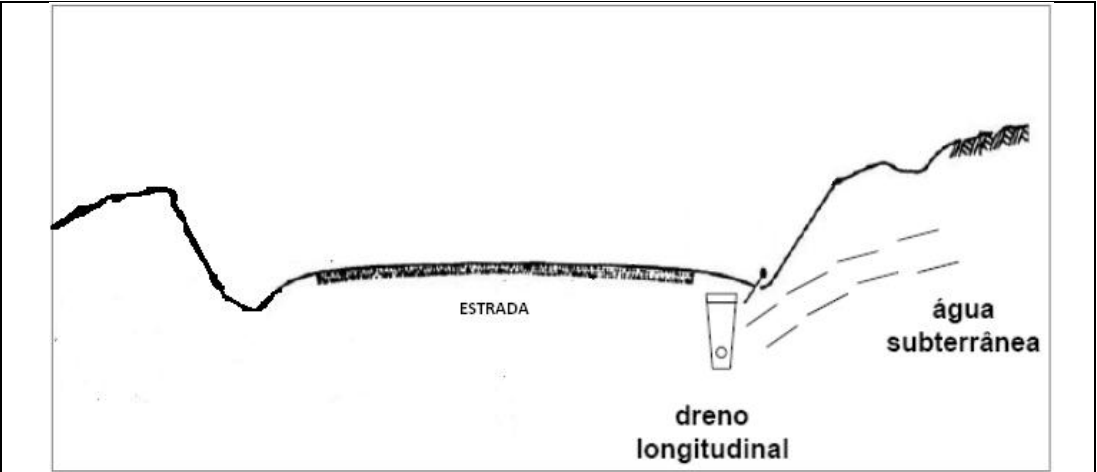


Figura 55: Detalhamento de drenagem profunda.

A figura 56 ilustra também o mecanismo de funcionamento do dreno profundo, que consiste no rebaixamento do lençol freático, impedindo-o de atingir o sub-leito da estrada. Dessa forma, a água que antes aflorava na estrada, influenciando negativamente na sua qualidade e quantidade além de promover a instabilização do leito dessa estrada, passa a infiltrar nos drenos. Por interceptar o nível freático, a vazão de água que infiltra nos drenos é muito maior à que antes aflorava, além dos tubos drenantes estarem envolvidos pela brita e a geomanta, sendo ótimos elementos filtrantes, melhorando consideravelmente a qualidade da água que penetra neles.

Os benefícios não se limitam ao melhoramento da quantidade e qualidade da água que antes aflorava na estrada. Com a implantação da proposta, aumenta-se a taxa de infiltração de água nos trechos em que se encontram os drenos e, conseqüentemente, o fluxo do escoamento superficial que ocorre na estrada decresce, diminuindo o carregamento do solo para os mananciais e as erosões na estrada e nas áreas adjacentes.

9 CONCLUSÃO

O trabalho apresenta uma proposta de recuperação e manejo de nascente na área rural do município de Álvares Machado, Estado de São Paulo, através do método de “drenagem profunda” aplicado ao caso de uma estrada rural próxima ao afloramento de água. Esta técnica consiste na instalação de estruturas drenantes em áreas sub-superficiais da estrada, seja no sub-leito e/ou as margens da plataforma de rodagem com objetivo de conduzir o fluxo subterrâneo da água e reduzir a perda de sedimento no escoamento hídrico.

Por o que está sendo proposto ser uma obra de engenharia visando a recuperação de uma área degradada, cabe ao profissional responsável ter conhecimento técnico dos processos envolvidos na degradação, para que o método aplicado seja bem planejado e tenha a melhor eficiência quanto ao que se quer recuperar. Para tanto, fez-se necessário o estudo da dinâmica de nascentes, embasando sobre águas subterrâneas, aquíferos, os tipos de ocorrência de afloramentos; e também dos agentes degradantes.

Foi realizado o levantamento histórico de uso e ocupação do solo no município de Álvares Machado, retratando as transformações da paisagem ocasionadas pela ação do homem, e coletados dados da geologia, geomorfologia, pedologia e hidrogeologia da área de estudo a fim de estabelecer os condicionantes que propiciaram a situação atual de degradação e formular uma eficiente estratégia de intervenção por obra civil.

A análise *in locu* da área de estudo bem como o trabalho em gabinete, na interpretação e compilação de mapas, forneceram dados imprescindíveis para subsidiar a proposta de recuperação da nascente, procurando também demonstrar o quanto ela é aplicável na área.

A elaboração e execução de projetos de áreas degradadas, inventário de diagnóstico ambiental, planejamento e gestão de bacias hidrográficas estão dentre as diversas atividades atribuídas ao Engenheiro Ambiental, que trabalha com uma visão ampla entre o meio social e meio ambiente, objetivando uma relação integrada e sustentável. Este trabalho de graduação traz à luz estes aspectos, sendo relevante para a graduação.

10 BIBLIOGRAFIA

AB'SABER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário.** Geomorfologia. São Paulo, nº 18, p. 1-23, 1969.

AB'SABER, A. N. **Os baixos chapadões do Oeste Paulista.** Geomorfologia, São Paulo, nº 17, p. 1-8, 1969.

ÁLVARES MACHADO, PREFEITURA MUNICIPAL. **Plano de macrodrenagem do município de Álvares Machado.** 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades@: banco de dados:** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01/11/2012.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada.** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2000, 264 p.

BOVOLATO, L. E. **Uso e gestão de águas subterrâneas em Araguaína – TO.** Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2006. 139 p. Tese de doutorado.

CALHEIROS, R. O. et al. **Preservação e Recuperação das Nascentes.** Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ - CTRN, 2004.

CARSON, H. A. & KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process.** Cambridge, Univ. Press, 1972.

CARVALHO, D. F. e SILVA, L. D. B. **Apostila de Hidrologia.** UFRRJ, 2006.

COLLISCHONN, W. **Introduzindo Hidrologia.** IPH – UFGRS, 2011.

ELWELL, H. A. e STOCKING, M. A. **Rainfall parameters for soil loss estimation in a subtropical climate.** Journal of Agricultural Engineering Research, 1973. p. 169-177.

FARRES, P. **The role of time and aggregate size in the crusting processes.** Earth Surface Processes, 1978. p. 243-254.

FELIPPE, M. F. et al. **Espacialização e caracterização das nascentes em Unidades de Conservação de Belo Horizonte – MG.** Tese de mestrado para o programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG, 2009.

FENDRICH, R. **Drenagem e controle de erosão urbana.** 4ª ed. Curitiba: Champagnat, 1997.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology.** Second edition. Merrill Publishing. Columbus, 1988.

FONZAR, C. B. **O processo de ocupação regional, o modelo urbano e o conforto térmico na Alta Sorocabana: um teste aplicado à Presidente Prudente.** São Paulo: 1981.

FRANCISCO, A. B. **O processo de voçorocamento no perímetro urbano de Rancharia-SP: sua dinâmica e as propostas de recuperação.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011, 120p.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GODOY, M. C. T. F. **Estudo hidrogeológico das zonas não saturada e saturada da formação adamantina, em Presidente Prudente, estado de São Paulo.** São Paulo, 1999. p.19-21. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. (2005). **Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 17 (32). pp. 103-120.

HORTON, R.E. **The role of infiltration in the hydrological cycle.** Trans. Am. Geophys. Un., 14, 1933. p. 446-460.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta base. Município de Presidente Prudente.** Rio de Janeiro: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República. Escala: 1/50.000. 2. imp., 1983.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000.** São Paulo: IPT, vol. I, 1981, p. 46-8; 69 (Publicação IPT 1184).

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo: Secretária do Meio Ambiente – SMA, 2008.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação do solo.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LUK, S. H. **Effect os soil properties on erosion by wash and splash.** Earth Surface Processes, 4, 1979. p. 241-255.

MANCUSO e CAMPOS. Os Aquíferos. In. ROCHA, G. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa.** São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE: Instituto Geológico - IG: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT : Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2005. p. 32-84.

MARCIANO, A.; MELLO, C. R. **Apostila de Hidrologia.** UFLA, 2007.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo.** São Paulo, Hucitec - Polis, 1984.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe área, 1973-75.** Nat. Coll. Agric. Engineering Silsoe Occasional Paper, 4, 1977. 41p.

MORIN, J.; BENYAMINI, Y.; MICHAELI, A. **The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement on the profile.** Journal of Hidrology, 1981. p. 321-336,

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente.** Presidente Prudente, 2002. 211 p. Tese (Doutorado em Geografia com ênfase em Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

NUNES, J.O.R.; PERUSI, M.C.; PETERLINI, G.H.C.; TIEZZI, R.O.; PISANI, R.J. e SANTANA, E.L. **Variações texturais dos Latossolos Vermelhos do Assentamento Rural Antônio Conselheiro-Mirante do Paranapanema/SP** . Geografia em Atos, Presidente Prudente, v. 1, p. 30-39, 2006.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G. (orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.57-99, 1999.

PINTO, L. V. A. **Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes.** 2003. 165 p. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PRADO, H., 2007. Disponível em <<http://www.pedologiafacil.com.br/solopaisagem.php>> Acessado em 4/11/2012.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. 748 p.

ROCHA, G. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa.** São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE: Instituto Geológico - IG: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT : Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2005. p. 32-84.

ROSS, J. L. S & MOROZ, I. C. (1996). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, nº 10, p.41-56.

ROSSI, M. e OLIVEIRA, J. B. O Agrônomo. Vol. 52. nº1, 2000. p. 21. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/pdf/mapa.pdf>>, acessado em 5/12/2012.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.(orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTANA, A. D. **As transformações do espaço geográfico e sua relação com os processos erosivos de uma área do noroeste de Regente Feijó/SP.** Monografia em geografia, faculdade de ciências e tecnologia, universidade estadual paulista, presidente prudente, 2011, 80p.

SANTOS, V. **Álvares Machado: História de sua Fundação**. Valdery Santos / Jornalismo e Pesquisa de História, 2001.

SÃO PAULO. (Estado). Secretaria de Economia e Planejamento. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEADE. Informações Municipais. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 01/11/2012;

SÃO PAULO. (Estado). Companhia de Desenvolvimento Agrícola do Estado de São Paulo. Ficha de Instrução e Teste 750-05, 2002.

SÃO PAULO (DAEE). **Estudo de águas subterrâneas**. São Paulo: DAEE, vol. 1, 1979. 220p.

SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**. Washington, DC. : Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SUDO, H. **Bacia do alto Santo Anastácio – estudo geomorfológico**. São Paulo, 1980. 235 p. Tese (Doutorado em Geografia Física com ênfase em Geomorfologia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SUERTEGARAY, D. M. A. (org.) **Terra: feições ilustradas**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambiente fluvial**. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990.

TODD, D. K. **Groundwater Hydrology**. 2ª Ed. Editora Wiley, 1959. 336 p.

VINHA, T. M. **Análise geomorfológica à área do perímetro urbano e adjacências da cidade de Álvares Machado – SP**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2008. (Projeto de pesquisa de mestrado).

ZOCCAL, J. C. **Soluções caderno de estudos em conservação do solo e água**. Adequação de erosões: causas, conseqüências e controle da erosão rural. v.1. Presidente Prudente. CODASP, 2007.

<<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>, acessado em 22/08/2012.

<<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>, acessado em 22/08/2012.

<http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia_agua_solo/disciplinas/eng_170/ESCOAMENTO%20SUPERFICIAL.pdf>, acessado em 22/08/2012.

<<http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap4/index.php>>, acessado em 24/08/2012.

<<http://www.abas.org/educacao.php#ind21>>, acessado em 10/09/2012.

<http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto>, acessado em 11/09/2012

<http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0697_0571_01.pdf>, acessado em 12/09/2012

<<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/Trabalhos/mariza.pdf>>, acessado em 3/10/2012

<<http://www.abagrp.cnpm.embrapa.br/areas/geomorfologia.htm>>, acessado em 23/10/2012

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/solos.htm>>, acessado em 05/11/2012

<<http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap4/index.php>>, acessado em 24/08/2012