

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUISTA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CONTROLE DE EROSÃO EM ESTRADAS RURAIS NÃO
PAVIMENTADAS, UTILIZANDO SISTEMA DE TERRACEAMENTO
COM GRADIENTE ASSOCIADO A BACIAS DE CAPTAÇÃO.**

RUI DONIZETE CASARIN

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu –
para obtenção do título de Mestre em Agronomia:
Área de Concentração em Irrigação e Drenagem

BOTUCATU – SP
Agosto – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUISTA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CONTROLE DE EROSÃO EM ESTRADAS RURAIS NÃO
PAVIMENTADAS, UTILIZANDO SISTEMA DE TERRACEAMENTO
COM GRADIENTE ASSOCIADO A BACIAS DE CAPTAÇÃO.**

RUI DONIZETE CASARIN

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu –
para obtenção do título de Mestre em Agronomia:
Área de Concentração em Irrigação e Drenagem

BOTUCATU - SP
Agosto – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C335c Casarin, Rui Donizete, 1955-
Controle de erosão em estradas rurais não-pavimentadas , de terra, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação / Rui Donizete Casarin. - Botucatu : [s.n.], 2008.
xii, 85 f. : il., color. gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Eduardo Luiz de Oliveira
Inclui bibliografia

1. Solos - Erosão. 2. Estradas rurais. 3. Infiltração.
4. Água - Captação. 5. Drenagem. I. Oliveira, Eduardo Luiz de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu) Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

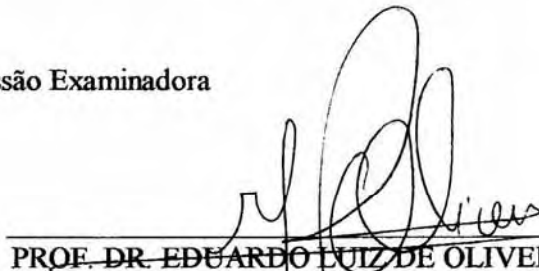
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CONTROLE DE EROSÃO EM ESTRADAS RURAIS, NÃO PAVIMENTADAS, UTILIZANDO SISTEMA DE TERRACEAMENTO COM GRADIENTE ASSOCIADO A BACIAS DE CAPTAÇÃO.

ALUNO: RUI DONIZETE CASARIN

ORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA



PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF.ª DR.ª ELIANE VIVIANI

Data da Realização: 20 de agosto de 2008.

DEDICATÓRIA

A Deus, o Criador incomparável e inconfundível na sua infinita bondade, que compreendeu os meus anseios e me deu coragem para atingir o meu objetivo.

À minha esposa Maristela pelo apoio, paciência, compreensão e amor, dedicados a mim, em todos os momentos difíceis para a realização deste trabalho.

Aos meus filhos Rui Júnior e Rodrigo, herança de Deus à humanidade e que sempre esperaram, de mim, um futuro promissor.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista FCA – UNESP, pela oportunidade concedida; aos seus professores pelo ensinamento e dedicação; aos seus funcionários pela receptividade.

Ao Profº. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira, meu orientador, por seus ensinamentos, apoio, estímulo, paciência e amizade, que muito me ajudaram na realização e concretização deste trabalho.

À Prefeitura Municipal de Paulistânia na pessoa de seu Prefeito, Sr. Hélio José Ferreira do Nascimento, por ter cedido o trecho da estrada PLA-06, trabalhadores, equipamentos e recursos monetários, que me permitiram executar este trabalho, e por valorizar minha atuação profissional junto à municipalidade.

À instituição CATI, regional de Bauru, e à Casa da Agricultura de Paulistânia pelo apoio recebido.

A todos meu muito obrigado e que o Senhor Nosso Deus nos abençoe e nos guarde.

SUMÁRIO	Página
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XII
1. RESUMO	01
2. ABSTRACT	03
3. INTRODUÇÃO	05
4. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	07
4.1 O processo de ocorrência de erosão hídrica	07
4.2 Fatores que intervêm no processo erosivo em decorrência do escoamento superficial.....	11
4.3 Erodibilidade do solo	13
4.3.1 Modelos para predição das perdas de solo: USLE e EUPS	14
4.4 A malha viária no Brasil e no Estado de São Paulo	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	17
5.1 Localização, identificação e características da área escolhida para intervenção corretiva.....	17
5.1.1 Documentação cartográfica	19
5.1.2 Clima	20
5.1.3 Precipitação pluviométrica	21
5.1.4 Caracterização do solo pela metodologia de amostragem	23
5.1.5 Relevo	28
5.1.6 Classes de drenagem no local	29
5.1.7 Cobertura vegetal	30
5.1.8 Velocidade de infiltração básica no solo, na área selecionada	30
5.1.9 Fatores responsáveis pelas perdas de solo	32
5.1.10 Perdas do solo	36
5.2 O trabalho de campo: metodologia de intervenção corretiva	38
5.2.1 Estudo do trecho da estrada e das técnicas a serem empregadas	38
5.2.1.1 Estratégia de intervenção técnica	38
5.2.1.2 Época ideal para início dos serviços de adequação.....	41

5.2.2 Situação atual dos segmentos 1, 2 e 3 do trecho da estrada e soluções propostas para intervenção corretiva	42
5.2.2.1 Tipo e volume de tráfego	48
5.2.2.2 Perfil longitudinal (greide)	48
5.2.2.3 Abaulamento de secção transversal da pista de rolamento	48
5.2.2.4 Secção transversal da plataforma e elementos contribuintes	49
5.2.2.5 Melhorias na plataforma da secção transversal	50
5.2.2.6 Construção dos terraços	52
5.2.2.7 Construção de dispositivos de drenagem através de terraços embutidos em desnível, com gradiente	52
5.2.2.8 Forma utilizada para a construção dos terraços	53
5.2.2.9 Espaçamento entre os terraços embutidos	54
5.2.2.10 Dimensionamento utilizado para os terraços	54
5.3 Construção das bacias de captação	57
5.3.1 Sistema de bacias de captação e retenção no segmento de terraços embutidos com gradiente na extremidade	57
5.3.2 Dimensionamento das bacias	58
5.3.3 Cálculo do volume das bacias	59
5.3.4 Declividade da estrada	59
5.3.5 Fórmula para o cálculo do espaçamento das bacias	61
6.RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
6.1 Seleção da estratégia de intervenção técnica e equipamentos	62
6.1.1 Abaulamento da secção transversal da pista de rolamento no trecho da estrada, constante do projeto	65
6.1.2 Serviços de drenagem e técnicas utilizadas	67
6.1.3 Segmentos de terraços embutidos com gradiente	69
6.1.3.1 Para o espaçamento vertical	73
6.1.3.2 Para o espaçamento horizontal	73
6.1.4 Dimensões dos terraços construídos na área	74
6.1.4.1 Uso do método racional para cálculo da enxurrada.....	75

6.1.5 Construção das bacias de captação e retenção	76
6.1.5.1 Dimensionamento das bacias	78
6.1.5.2 Custos das operações de práticas mecânicas	81
7 CONCLUSÕES	84
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Estatística descritiva de distribuição de frequência das frações granulométricas do solo e DMP (diâmetro médio ponderado de agregados)	25
Tabela 2 – Determinação da infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo método do “infiltrômetro de anel”, na área do experimento	31
Tabela 3 – Distribuição das unidades de mapeamento de solo, erodibilidade e tolerância de perdas de solo – microbacia do Córrego São Gerônimo	33
Tabela 4 – Distribuição das classes de erodibilidade no trecho do experimento – microbacia do Córrego São Gerônimo	34
Tabela 5 – Distribuição das classes do fator topográfico (fator LS) no trecho do experimento - microbacia do Córrego São Gerônimo	34
Tabela 6 – Distribuição das classes de declive das terras – microbacia do Córrego São Gerônimo	35
Tabela 7 – Distribuição do uso atual e do fator C – microbacia do Córrego São Gerônimo ...	36
Tabela 8 – Distribuição das classes de perdas de solo estimadas pela EUPS – microbacia do Córrego São Gerônimo	36
Tabela 9 – Vazões dos canais dos terraços para velocidade da enxurrada de $0,60 \text{ ms}^{-1}$	56
Tabela 10 – Dimensionamento do canal do terraço em nível.....	56
Tabela 11 – Dimensão do canal com gradiente	56
Tabela 12 – Dimensões dos canais de terraços com gradiente	57
Tabela 13 – Agrupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão	60
Tabela 14 – Produção e construção de terraços embutidos com gradiente em 2,6 km, secções e custos nas áreas marginais – PLA – 06	82
Tabela 15 – Produção e construção de bacias de captação: operações e custos	82
Tabela 16 – Reconstrução de 500 m do leito da estrada – PLA – 06: operações e custos	83

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – O município de Paulistânia – Programa Estadual de Microbacias hidrográficas ...	18
Figura 2 – Relêvo da microbacia do Córrego de São Gerônimo – Satélite Land-Sat	20
Figura 3 – Temperaturas: com recordes máxima e mínima – região de Bauru/SP	21
Figura 4 – Precipitação pluviométrica acumulada, em mm: 1991 – 2007	22
Figura 5 – Precipitações mensais em 2007 e médias mensais, em mm: 1991 – 2007	22
Figura 6 – Perfil do solo, com destaque para os horizontes A e B textural – Trecho de talude da PLA – 06	24
Figura 7 – Distribuição dos teores das frações granulométricas do solo, ao longo da transeção – profundidade de 0,00 – 0,20 m.	27
Figura 8 – Distribuição dos teores das frações granulométricas do solo, ao longo da transeção – profundidade de 0,20 – 0,60 m.	27
Figura 9 – Situação do relevo na área em estudo – Satélite Land-Sat	28
Figura 10 – Mostra de solo com camadas que diferem em textura e estrutura no perfil.....	29
Figura 11 – Infiltrômetro de anéis	32
Figura 12 – Leito atual da estrada – PLA – 06.....	39
Figura 13 – Traçado geométrico da estrada – PLA – 06: trecho de 500 metros	40
Figura 14 – Secção típica de estrada rural encaixada no terreno	41
Figura 15 – Secção transversal de estrada encaixada.....	42
Figura 16 – Situação atual e solução proposta: trecho 01	43
Figura 17 – Estrada PLA – 06 antes da realização do trabalho: Secção 01 – trecho 01	44
Figura 18 – Estrada PLA – 06 antes do processo de intervenção: Secção 01 – trecho 02	45
Figura 19 – Estrada PLA – 06 antes do processo de intervenção com acúmulo de solo sedimentado formando “areião”: trecho 03	46
Figura 20 – Assoreamento de manancial ocasionado pelo carreamento de solo sobre manancial – área do experimento	47
Figura 21 – Forma correta da configuração da plataforma	49
Figura 22 – Secção transversal da plataforma já pronta.....	50
Figura 23 – Operação de corte de taludes e recuo do horizonte A – PLA – 06	51

Figura 24 – Estrada PLA – 06 após o processo de intervenção planejado e recuo do horizonte A em forma de murundu.....	51
Figura 25 – Pista abaulada da estrada, já com plenas condições de drenagem.....	52
Figura 26 – Terraços embutidos construídos no local da área adjacente ao experimento – Estrada PLA – 06	53
Figura 27 – Secção transversal típica do terraço embutido construído na área de estudo	55
Figura 28 – Situação final pretendida - PLA – 06, usando-se tecnologia convencional.....	64
Figura 29 – Leito da PLA – 06, com equipamentos em operação para recuo e corte de taludes com elevação de greide.....	65
Figura 30 – Situação final de adequação do leito da PLA – 06, com elevação do greide da pista e dispositivos de drenagem	66
Figura 31 – Abaulamento do trecho transversal da estrada, objeto de processo de intervenção corretiva.....	67
Figura 32 – Terraço vegetado embutido com gradiente, construído no local do experimento – PLA – 06.....	70
Figura 33 – Outro aspecto de terraço vegetado embutido com gradiente – PLA – 06.....	70
Figura 34 – Mais um aspecto de terraço vegetado embutido com gradiente ao lado da PLA – 06	71
Figura 35 – Trecho da estrada PLA – 06, com terraço embutido pronto	72
Figura 36 – Áreas adjacentes da PLA – 06, com novos terraços embutidos com gradiente....	74
Figura 37 – Bacia de captação associada à ponta de terraço da PLA – 06	77
Figura 38 – Terraço embutido vegetado com gradiente e bacia de captação associada na extremidade	79
Figura 39 – Terraços com gradiente e manejo de solo com vegetação em áreas adjacentes entre terraços – margens da PLA – 06.....	80
Figura 40 – Ponta de terraço vegetado com gramíneas e com ligação para a caixa de contenção vegetada.....	80
Figura 41 – Terraço com gradiente em detalhe, a ponta escoando água para a bacia de captação na área do experimento – estrada PLA – 06.....	81

**CONTROLE DE EROSÃO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS,
UTILIZANDO SISTEMA DE TERRACEAMENTO COM GRADIENTE ASSOCIADO
A BACIAS DE CAPTAÇÃO.**

Botucatu, 2008.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Área de Concentração – Irrigação e Drenagem)

Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista

AUTOR: RUI DONIZETE CASARIN

ORIENTADOR: EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA

1. RESUMO

A erosão provocada pela água no leito e nas margens das estradas rurais de terra está intimamente relacionada à má drenagem, sendo um dos principais fatores para sua degradação. Para que o sistema de drenagem seja feito de forma adequada é necessário o conhecimento da erodibilidade, capacidade de infiltração de água no solo e adoção de práticas mecânicas de elevação do greide e interceptação de águas através de dispositivos de captação.

O objetivo dessa pesquisa foi desenvolver um sistema de contenção de águas pluviais em trecho de estrada rural encaixada no terreno, em solo do tipo Argissolo Distrófico Abrúptico de textura arenosa, com base em técnicas de abatimento de taludes, elevação do greide da estrada com abaulamento transversal e desviador do fluxo das águas, seguido de segmentos de terraços embutidos associados a bacias de captação.

A área de estudo é em contorno a um trecho da estrada Rural PLA 06 localizada na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo com coordenadas geográficas no espigão: Latitude 22° 34'54"S e Longitude 49° 25'02"O e altitude 594 metros e, na parte baixa do trecho: Latitude 22°34'53"S e longitude 49°24'34"O e altitude 544 metros. As frações granulométricas (areia,

silte e argila) e a estabilidade dos agregados do solo apresentaram coeficiente de variação de baixo a médio.

Os resultados indicaram que as frações granulométricas e estabilidade dos agregados do solo, após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas apresentaram, conseqüentemente, processos erosivos bastante diferenciados ao longo da estrada. O método desenvolvido neste trabalho para o controle da erosão em estradas rurais apresentou-se adequado na contenção das águas pluviais e na diminuição do assoreamento a jusante em áreas de recursos hídricos.

Palavras-chave: Erosão em estradas rurais; infiltração de água no solo; práticas mecânicas de conservação de solo; contenção de águas pluviais.

CONTROL OF EROSION IN RURAL ROADAS WITHOUT ROAD SURFACE OF PAVE UTILIZING SISTEMA OF TERRACE WITH GREAT ASSOCIATION TO WASHBAIN

Botucatu, 2008.

Dissertation (Master in Agronomy/ Concentration Area – Irrigation and Drainage)

Agronomical Science College – University from São Paulo

AUTHOR: RUI DONIZETE CASARIN

ADVISOR: EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA

2. SUMMARY

The erosion caused by water in the roadbeds and at the margins of terrene roads in rural areas is closely related to poor drainage, one of the main factors to their degradation.

For the drainage system is done in an appropriate manner, knowledge of the erosionability and of the ability of water infiltration into the soil is necessary as well as the adoption of practices of mechanical roadbed lifting and interception of water through reception devices.

The goal of this research was to develop a system to contain rain water in a rural stretch of road seated on the ground in the soil type Abruptic Distrophic Argisol of sandy texture, based on techniques for abatement of embankments, raising the roadbeds across the road with bulging deflector and the flow of water, followed by segments of terraces built in association with the catchment basins.

The study outline comprehends a stretch of the rural road PLA 06 located in the Central West of Sao Paulo State in the jetty with geographic coordinates: latitude 22 ° 34 '54" S and longitude 49 ° 25' 02"; the altitude is of 594 meters and, at the bottom of the extension: latitude 22 ° 34'53" S and longitude 49 ° 24'34". The altitude in this stretch is 544 meters. The particle

sizing (sand, silt and clay) and stability of soil aggregates showed a coefficient of variation of low to medium.

The results indicated that the particle sizing and stability of soil aggregates, after suffering successive changes caused by agricultural activities, had, therefore, quite different erosive processes along the road. The conclusions show that the method developed to control erosion in rural roads had to be appropriate in the containment of rain water and to reduce the silting in the downstream areas of water resources.

Keywords: Erosion on rural roads; infiltration of water in the soil; mechanical practices for the conservation of soil; containment of rainwater.

3. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho foi a execução de melhorias em uma estrada rural de terra em solo do tipo *Argissolo Vermelho Distrófico Abrúptico*, com textura arenosa média, utilizando tecnologias de adequação do seu leito por um sistema de drenagem das águas pluviais, através da construção de terraços embutidos com gradiente, associados a bacias de captação.

Isto se justifica em virtude da necessidade de se buscar métodos e técnicas mais seguras para a recuperação deste tipo de solo, com horizonte B-Textural, para intervir e adequar trechos de estradas encaixadas com problemas de drenagem, inclinação de 3 a 8% e comprimento de rampa de 500 m, permitindo, assim, melhoria de tráfego e preservação da estrada e das áreas adjacentes.

Conforme dados do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, de outubro de 2007, Regional Bauru, SP, a malha rodoviária do Estado de São Paulo é composta de cerca de 200.255 Km de estradas, sendo que menos de 8% é pavimentada, resultando em cerca de 175.807 Km, de estradas estaduais e municipais de terra, sendo o regime pluviométrico do Estado de 1.300 mm em concentração no período de outubro a março, período que coincide com a maior intensidade de tráfego em virtude do transporte de insumos e produtos agrícolas. (BERTOLINI, 1993, p. 11)

Conforme dados da Secretaria de Agricultura de São Paulo (CATI) as estimativas apontam para a perda de mais de 193 milhões de toneladas de solo por erosão, associados às estradas vicinais paulistas.

O uso inadequado de terra juntamente com a adoção de práticas inadequadas de manejo e conservação de solo numa condição de ocorrência natural de chuvas intensas, concentradas em alguns meses do ano, é responsável por elevadas perdas e qualidade de solo e água em áreas agricultáveis do Estado da São Paulo.

Pode-se afirmar que Estradas Rurais são definidas como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos; para que possam cumprir sua função plenamente, mantendo-se em condições favoráveis do tráfego sob as mais variadas condições climáticas.

Um dos principais problemas que afetam a navegabilidade das estradas não pavimentadas é a sua degradação devido a processos erosivos, afetando também áreas marginais impactando o meio ambiente, causando prejuízos aos mais variados setores da economia e da sociedade. No estado de São Paulo conforme Anjos Filho (apud GRIEBDER, 2005) essas estradas são responsáveis por aproximadamente metade das perdas de solo em virtude da erosão.

Com este propósito iniciou-se a pesquisa revendo a literatura referente ao processo de ocorrência da erosão hídrica, aplicando-se a conceituação a um trecho de uma estrada determinada. Procurou-se fazer um diagnóstico dos problemas ali existentes com vistas à elaboração de um projeto para execução das correções necessárias.

Finalmente apresentaram-se algumas considerações finais, as quais se chegou após a trajetória do estudo e da execução da intervenção corretiva num trecho da estrada de terra identificada como PLA-06, localizada no Município de Paulistânia, SP.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O Processo de Ocorrência da Erosão Hídrica

Diferentes autores têm estudado o processo de ocorrência da erosão dos solos ocasionado pelas chuvas.

PRUSKI (2003) descreve esse processo dizendo que, com o início do período das chuvas, parte do volume precipitado é interceptado pela vegetação e parte atinge a superfície do solo, provocando o umedecimento de seus agregados e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação das chuvas pode ocorrer a desintegração dos aglomerados, com conseqüente desprendimento de partículas menores. A quantidade de solo desestruturado aumenta com a intensidade da precipitação e com a velocidade e o tamanho das gotas.

Além de ocasionar a liberação de partículas que obstruem os poros do solo, o impacto das gotas tende também a compactá-lo ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de infiltração de água. Assim, o empoçamento das águas nas depressões da superfície do solo começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração, ou quando a capacidade de acumulação, de água, no solo for excedida.

Esgotada a capacidade de retenção superficial, a água começa a escoar e, associado ao escoamento superficial, ocorre o transporte de partículas do solo, as quais podem ser depositadas quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida.

Juntamente com as partículas de solo, em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes, resíduos de agrotóxicos que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, causam poluição e sedimentação de solo em áreas de mananciais e em áreas de preservação permanente. Desse modo as perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção, em vista da necessidade de aumento do uso de corretivos e fertilizantes e da redução no rendimento operacional de máquinas agrícolas.

No leito de estradas rurais de terra verifica-se concentração de volume de água nas sarjetas onde provocam desagregação de solo e carreamento deste para pontos mais baixos a jusante com aberturas de leiras, formando sangrias por onde os desagregados de solo e água escoam e se depositam nas áreas a jusante causando impacto ambiental nos recursos hídricos.

Segundo EMMERICH & MARCONDES (1975), o movimento da água em uma bacia hidrográfica é influenciado por fatores imutáveis (o tipo, a intensidade e o volume de precipitação; o tamanho, a forma e a constituição geológica do solo) e o tipo, a densidade e a constituição da vegetação; o tipo e a quantidade de matéria orgânica na superfície do solo; as propriedades estruturais e hidrológicas do solo e as características hidráulicas dos canais.

FORSTER et al. (*Apud* PEREIRA, 1999) bem como MEYER et al. (*apud* PEREIRA, 1999) chamam a atenção para o fato de que as perdas de solo associadas à erosão hídrica são devidas à combinação de dois processos que regem o desprendimento de partículas de solo pela ação da água: a erosão entre sulcos e a erosão no sulco.

Para KING et al., (1995) a erosão entre sulcos decorre do desprendimento das partículas do solo em virtude da concentração do escoamento superficial e FORSTER (1982) observa que a concentração do escoamento superficial produzido pelas chuvas ocasiona a formação de pequenos canais que resultam na erosão em sulcos, o que constitui uma etapa mais avançada da erosão laminar, mas que pode ser facilmente controlada pelas práticas de cultivo. Numa encosta, a erosão em sulcos começa em posições situadas mais

a jusante. Todavia, pelo seu próprio processo de formação, deixa marcas visíveis no terreno permitindo, portanto, fácil identificação.

TISCARENO-LOPEZ et al. (*Apud* PEREIRA, 1999) confirmam que o desprendimento do solo nos sulcos ocorre quando a capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento é maior do que a resistência ao cisalhamento do solo. Para eles, quando a força cisalhante exceder a resistência crítica ao cisalhamento e quando a carga de sedimentos transportada for menor que a capacidade de transporte do escoamento, ocorrerá o desprendimento dos solos nos sulcos. O desprendimento de partículas de solo no sulco é considerado nulo quando a força de cisalhamento for menor do que a resistência crítica do solo.

BRADFORD et al. (*Apud* PEREIRA, 1999) estudaram a importância relativa dos mecanismos decorrentes do impacto das gotas da chuva na superfície do solo e do escoamento superficial no processo de erosão entre sulcos. Eles concluíram que enquanto o desprendimento das partículas de solo é ocasionado, principalmente, pela energia de impacto das gotas da chuva, a força cisalhante do escoamento superficial é o principal agente de transporte e que esses processos são interdependentes.

Para PARANÁ (1989) os terraços são estruturas conservacionistas com um camalhão (ou dique) e um canal, construídos no sentido perpendicular ao declive do terreno, onde o espaçamento entre os mesmos é determinado em função do tipo de solo, da declividade do terreno e do regime pluviométrico.

BERTOLINI et al. (1993) dizem que os sistemas de conservação de solos com terraços em nível são recomendados para solos que possuem boa permeabilidade, pois possibilita uma rápida infiltração da água, mas para os solos com permeabilidade moderada ou lenta é preferível a construção de terraços com gradiente.

Segundo MACHADO e BRUM (*Apud* PRUSKI, 1990), o conhecimento das características físicas do solo de uma área agrícola é necessário no planejamento e implementação de dispositivos de controle do escoamento superficial.

Para DEMARCHI et al. (2003) as estradas, frequentemente, interferem nos padrões naturais de drenagem e tendem a promover a concentração das águas de vários modos. A superfície compactada da pista de rolamento restringe a infiltração de águas, levando a um aumento de taxas de escoamento superficial. Eles advertem que os municípios

devem orientar o desenvolvimento de um bom sistema de drenagem de caminhos rurais – o que é uma questão bastante elementar, mas que requer muita atenção na fase de projeto, pois é preciso que se leve em conta os fatores climatológicos, topográficos, geológicos e o tipo de solo, uma vez que a susceptibilidade à erosão das áreas atingidas pelo traçado da estrada determina as diretrizes que devem ser tomadas para a adoção de dispositivos tecnicamente eficientes a um custo relativamente baixo.

Todavia, os mesmos BERTOLINI et al. (1989) já haviam assinalado que o custo de construção e manutenção de um sistema de terraceamento, bem como a construção de bacias de captação é relativamente alto. Por isso recomendaram que, antes da adoção desta tecnologia, deve-se fazer um estudo criterioso das condições locais, tais como: clima, solo, sistema de cultivo, culturas a serem implantadas, relevo do terreno e equipamento disponível, para que se tenha segurança e eficiência no controle da erosão.

De acordo com LUCE (*Apud* ANTONANGELO & FENNER, 2005) a erosão causada pela existência de estradas será maior em função do aumento da declividade e do comprimento de rampa, pois estes fatores aceleram a velocidade da enxurrada.

LOMBARDI NETO (1989), atenta para o fato de que muitos terraços não apresentam a secção transversal com geometria tão definida nem com drenos ou canais, uma vez que são construídos com máquinas agrícolas que não permitem um controle rigoroso e porque sofrem alterações quando são realizadas operações de preparo para cultivo.

BERTOLINI et al. (1993) advertem que o componente de rampa é um dos mais importantes fatores de erosão do solo no leito de estradas rurais e, em outra obra de 1993, o mesmo autor lembra que as bacias de captação e retenção têm como funções captar, reter e infiltrar o excesso de água das estradas para evitar os danos ocasionados pela erosão no leito das mesmas e nas áreas vizinhas, bem como alimentar os lençóis freáticos. Devem, portanto, ser dimensionadas para comportar todo o volume de enxurrada esperado e, assim, permitir seu armazenamento e infiltração, uma vez que as águas inadequadamente conduzidas afetam a capacidade de uso da via, causando erosões e rompimento do seu leito. Para ele a construção de bacias de captação e retenção deve obedecer a uma técnica própria em função da área de contribuição da secção trabalhada. No decorrer da estação chuvosa, as bacias de captação, locadas em pontos determinados, armazenam as águas das chuvas que, por

infiltração através dos horizontes do perfil do solo, vão abastecer o lençol freático, aumentando o potencial dos mananciais.

ACRA (*Apud* BERTOLINI, 1993) tem a mesma posição, pois, para ele, o sistema mostra-se viável, desde que respeitadas as peculiaridades locais e as condicionantes de dimensionamento, posicionamento, locação, construção e manutenção das bacias de captação e retenção.

4.2 Fatores que Intervêm no Processo Erosivo em Decorência do Escoamento Superficial

Das fases básicas do ciclo hidrológico, o escoamento superficial é considerado uma das mais importantes, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento de águas superficiais e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (VILLELA, *apud* PRUSKI, 1990).

A precipitação é o fator climático de maior importância na erosão hídrica do solo, devido à ação erosiva exercida pelo impacto das gotas e pelo escoamento superficial produzido. Os solos, em geral, possuem variabilidade espacial muito grande nas suas propriedades químicas, físicas e morfológicas. Com isso, é esperado que o seu comportamento em relação ao processo erosivo seja bastante diferenciado. Entretanto, quanto menor a estabilidade dos agregados, e a capacidade de infiltração de água no solo, maior será a suscetibilidade do solo à erosão. Solos ricos em silte e areia e pobres em matéria orgânica são mais propensos ao processo erosivo, em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento de partículas durante a precipitação.

A baixa capacidade de infiltração de água em um solo torna-o mais propenso ao escoamento superficial e, conseqüentemente, ao transporte de sedimentos. Além disso, quanto mais íngreme e longa for a encosta, tanto maior será a concentração do escoamento superficial e, por conseqüência, maiores devem ser a velocidade e a vazão correspondentes, o que aumentará a capacidade de transporte de sedimentos. (PRUSKI, 1998)

Segundo COGO et al. (*Apud* PEREIRA, 1999) a erosão do solo depende das características da chuva, do escoamento superficial e das condições da superfície

do terreno. As características da chuva são determinantes da erosão laminar, enquanto as condições do escoamento o são da erosão que ocorre nos sulcos.

Segundo PRUSKI & SILVA (2003) o escoamento superficial pode ser influenciado por parâmetros agroclimáticos e fisiográficos.

Os **parâmetros agroclimáticos** incluem: a) quantidade, intensidade e duração da precipitação - o escoamento superficial tende ao aumento da magnitude, da intensidade e duração da precipitação; b) cobertura e condição de uso do solo – além de seus efeitos sobre as condições de infiltração de água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação; c) evapotranspiração – representa importante fator para a retirada de água do solo. Portanto, quanto maior a evapotranspiração, menor deverá ser a umidade do solo quando da ocorrência da precipitação e, conseqüentemente, maior deverá ser a velocidade de infiltração.

Os **parâmetros fisiográficos** compreendem: a) área, forma e declividade da bacia – quanto maior a declividade da bacia, tanto maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial que deverá ocorrer na secção de deságüe da referida bacia. Quanto mais a forma da bacia aproximar-se do formato circular, tanto mais rápida deverá ser a concentração do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior deverá ser a vazão máxima deste; b) tipo de solo – interfere diretamente na velocidade de infiltração de água no solo e na capacidade de retenção de água sobre a superfície; c) topografia – além de influenciar na velocidade de escoamento de água sobre o solo, interfere também na capacidade de armazenamento de água sobre este, sendo que as áreas mais em declive geralmente apresentam menor capacidade de armazenamento superficial do que as áreas mais planas; d) rede de drenagem – a existência de rede de drenagem com elevado de ramificação e altos valores de densidade de drenagem permite a rápida concentração do escoamento superficial, favorecendo conseqüentemente, a ocorrência de elevadas vazões sobre a superfície do solo; e) teor de umidade do solo – a capacidade de infiltração do solo saturado é muito menor do que a do solo com umidade inferior a saturação e, conseqüentemente, o escoamento é maior em solos saturados; f) obras hidráulicas presentes na bacia – obras hidráulicas destinadas a contenção do escoamento superficial resultam em redução da vazão máxima de uma bacia.

Como assinalam CORRADINI et al. (*Apud* BRAGA, 2000), as interações entre condições meteorológicas, a textura do solo e as operações inadequadas com máquinas trazem rápidas e significantes mudanças nas propriedades hidrológicas do solo.

4.3 Erodibilidade do Solo

Segundo WISCHMEIER & SMITH (*Apud* ALBUQUERQUE, 1991), a suscetibilidade de um solo ao processo erosivo é expressa, quantitativamente, pela sua erodibilidade. Para LAL (1988), a erodibilidade do solo representa o efeito integrado do processo que regula o comportamento do solo diante dos agentes erosivos e, conforme WISCHMEIER & SMITH (1958), nos modelos de predição de erosão, a erodibilidade do solo é geralmente representada por um fator que expressa a perda de solo por unidade de erosividade da chuva para um solo característico. Para BRYAN (1968), a estabilidade de agregados do solo é provavelmente a propriedade que mais influencia a erodibilidade do solo. Portanto, as propriedades físicas, químicas, mineralógicas e microbiológicas do solo que influenciam a estabilidade dos agregados influenciam, também, a erodibilidade do solo.

GHEBREIVESSUS al. (*Apud* PEREIRA, 1999) analisando a influência da densidade do solo na predisposição à erosão de um solo argilo-siltoso verificaram que a resistência à desagregação do solo foi 4,7 vezes maior para um solo com massa específica de $1,4 \text{ gcm}^{-3}$, em comparação com um solo com massa específica de $1,2 \text{ gcm}^{-3}$.

GOFF et al. (*Apud* PEREIRA, 1999) estudando a erodibilidade de dois tipos de solo, em condições naturais em áreas entre sulcos, obtiveram valores de erodibilidade cerca de oito vezes e meia maiores no solo arenoso ($4,88 \times 10^5 \text{ kgm}^{-4}$). Esses mesmos autores verificaram também que os valores de erodibilidade obtidos nas condições naturais foram cerca de uma a duas vezes quando comparados com os valores obtidos por MEYER (1981); LINE & MEYER (*Apud* PEREIRA, 1999) e LAFLÉN et al. (1991) em solos cultivados. Eles atribuíram parte dessas diferenças à forma de uso do solo, que pode proporcionar condições bastante diferenciadas de encrostamento e de agregação de partículas na superfície.

4.3.1 Modelos para predição das perdas de solo: *USLE* e *EUPS*

Para FERREIRA & SMITH (1988), o processo de modelagem consiste, inicialmente, na observação de fenômenos naturais e de sua descrição matemática. Aplicado, a situações de campo, os modelos auxiliam na determinação de práticas conservacionistas e de manejo mais indicadas para os diferentes cenários de aplicação.

Segundo WISCHMEIER e SMITH (*Apud* ALBUQUERQUE, 1991) com o uso da *USLE* (*Universal Soil Loss Equaton*) é possível fazer previsões de perdas de solo causadas pela erosão, bem como indicar quais são os fatores que exercem maior influência sobre essas perdas.

A *USLE* foi desenvolvida em 1954, no *Runoff and Soil – Loss Data Center*, sediado na Universidade PURDUC, USA. Em 1978, WISCHMEIER e SMITH fizeram a revisão e atualização da mesma, incorporando novos dados disponíveis.

No Brasil, a *USLE* corresponde à *EUPS* (Equação Universal de Perdas de Solo), a qual foi, inicialmente, desenvolvida por BERTONI et al. (1975) utilizando os dados existentes para as condições do Estado de São Paulo.

O produto dos fatores causadores do processo erosivo e os fatores que contribuem para amenizar tais processos resumem as perdas anuais médias do solo por erosão na seguinte equação desenvolvida por WISCHMEIER e SMITH (1978):

$$A = R K L S C P$$

Onde: A = perda de solo calculada por unidade de área ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

R = fator chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)

K = fator de erodibilidade do solo ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

LS = fator topográfico (adimensional)

C = fator uso e manejo (adimensional)

P = fator prática conservacionista (adimensional)

Segundo WILLIAN et al. (1984), a *EUPS* foi desenvolvida para estimar perdas médias anuais de solo e não de eventos individuais. Este modelo não inclui a

quantidade de material depositado nas depressões e nem a produção de sedimentos para os setores a jusante no segmento considerado.

FORSTER (1988) informa que, atualmente, outros modelos matemáticos vêm sendo estudados para prever o impacto da erosão na produtividade do solo.

De acordo com NOGUEIRA (2000) é possível utilizar uma variação da formulação da EUPS, caracterizada como risco de erosão, para estudos de planejamento agrícola visando a viabilização técnica e econômica da exploração, bem como a preservação ambiental.

4.4 A Malha Viária no Brasil e no Estado de São Paulo

De acordo com DEMARCHI et al. (2003) as estradas, no Brasil, foram abertas pelos colonizadores sem qualquer planejamento, pois eles se orientaram, basicamente, pela estrutura fundiária e pelas facilidades do terreno o que, em períodos de chuvas intensas, favoreceu o desenvolvimento de processos erosivos extremamente prejudiciais à pista de rolamento, às áreas marginais, à sua plataforma como um todo e às áreas de APP (Área de Preservação Permanente) a jusante.

Hoje, sabe-se que o leito das estradas deve apresentar características adequadas para suportar a carga a que será submetido, sem que ocorram deformações que comprometam o projeto e o traçado originais. Deve também ser adequadamente drenado para que a umidade não altere suas características de resistência e a erosão não comprometa sua utilização.

Ainda, conforme o mesmo autor, a drenagem da estrada deve ser realizada por meio do abaulamento transversal do seu leito e da condução apropriada das águas retiradas, através de segmentos de terraços embutidos e daquelas que vêm de áreas externas, o que normalmente é feito por meio de canais de drenagem.

O conhecimento da capacidade resistiva do solo ao escoamento superficial e das características deste escoamento, bem como a adoção de práticas mecânicas de contenção, são fundamentais para o correto dimensionamento do sistema de drenagem e do estabelecimento de medidas para o controle da erosão.

De acordo com NOGAMI & VILLIBOR (1995), a erodibilidade é um dos fatores mais importantes para a escolha do projeto mais apropriado para controlar a erosão ao longo das rodovias e BASTOS (1999) salienta que a erodibilidade é uma das características mais complexas do solo em virtude do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

DENARDIN (1990) estudando a erosão no Brasil concluiu que a erodibilidade do solo representa o parâmetro de maior custo e morosidade para se determinar medidas corretivas, tendo em vista a extensão do território e a diversidade de solos, evidenciada no País.

BERTOLINI et al. (1993), por outro lado, advertem que as estradas rurais devem ser dimensionadas e configuradas de tal forma que atendam, no longo prazo, as demandas de tráfego e possibilitem o acesso a áreas cultivadas nas diversas estações do ano, sob as mais adversas condições climáticas. Além disso, pensam que alguns requisitos devem ser observados para a preservação ambiental, bem como para proteger e conduzir as águas de tal modo que haja diminuição da degradação do meio ambiente, pelo excessivo assoreamento de rios e cursos de águas, e pela contaminação, das mesmas, por produtos químicos arrastados pela erosão, o que dificulta o tratamento das águas quando destinadas ao consumo humano.

A maior porção do sedimento produzido na superfície da estrada é de tamanho inferior a 2 mm. o quê, de acordo com REID & DUNNE (*Apud* PRUSKI, 2005), é o mais prejudicial aos recursos hídricos, pois se move, comumente, para eles.

Conforme relatado por LUCE (*Apud* ANTONANGELO & FENNER, 2005) a produção de sedimentos das estradas rurais está correlacionada com: a) tipo de solo; b) comprimento e inclinação da rampa; c) a inclinação e altura dos taludes de corte do aterro.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

LOCALIZAÇÃO, IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESCOLHIDA PARA INTERVENÇÃO CORRETIVA.

O trabalho prático de correção de estradas rurais de terra foi realizado no município de Paulistânia, localizado na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, entre as latitudes 22°34'42"S e longitudes 49°24'10"O com altitude de 530 m.

O município possui uma área superficial de 252 km² e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo, principal rio que margeia o município, e tem como um dos seus afluentes o Ribeirão São Gerônimo que drena a área da Microbacia São Gerônimo com as seguintes coordenadas geográficas no início e no final do trecho a ser adequado: no início 22°34'54" latitude Sul e longitude 49°25'02"O latitude de 594 m; no final latitude 22°34'53"S e longitude 49°24'34" Oeste de GREENWICH com altitude de 544 m e possui uma área de 2.600 ha.

É pela rodovia SP-225 que Paulistânia se coloca em comunicação, no sentido Leste-Oeste do Estado de São Paulo, com as cidades de Cabrália Paulista a 20 km; Espírito Santo do Turvo a 12 km e com Santa Cruz do Rio Pardo a 45 km e, no sentido Sul, com Ourinhos a 80 km, onde se encontra a rodovia BR-153, com destino à região Sul do País, o que proporciona grande facilidade de escoamento de mercadorias para o Mercosul.

O município dista da Capital do Estado cerca de 340 km e seu principal acesso a ela é pela Rodovia SP-280, chamada “Rodovia Castelo Branco”, localizada a 35 km de sua sede, no sentido de Santa Cruz do Rio Pardo podendo ser acessada pela rodovia SP-225.

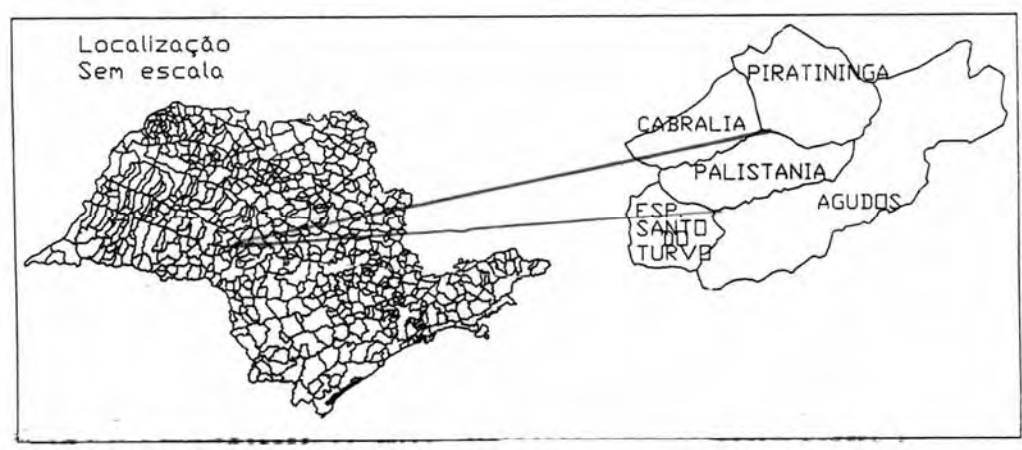


Figura 1. Com destaque o município de Paulistânia. Fonte. Programa estadual de Microbacias Hidrográficas – CATI – Meridiano Central 51° WGR

A pesquisa e o projeto de intervenção corretiva de um trecho de estrada rural de terra, nesse município, foram realizados no período de abril a outubro de 2007, numa área de pastagem, submetida à condição de chuva natural, em propriedades privadas pertencentes a quatro produtores rurais.

A região escolhida apresentava tráfego regular de veículos e, dentro dela, escolheu-se um trecho que contém uma rampa com cerca de 500 m de comprimento fazendo parte da estrada principal da rede municipal viária identificada como PLA-06.

O comprimento dessa rampa apresentava problemas de carregamento de solo e água no leito da estrada, provocando erosões progressivas, queda de taludes, pista escorregadia e areiões de baixada, pois era uma estrada rural encaixada no terreno, sem dispositivos para drenar as águas pluviais, as quais desciam até o eixo do talvegue natural do terreno a jusante e, através de um sangradouro natural, escoava carregando solo e água, provocando assoreamento em áreas de nascentes e em áreas de preservação permanente, impactando o local.

A manutenção carroçável do leito da estrada vinha sendo feita com a raspagem do mesmo usando-se a lâmina de uma motoniveladora, cerca de 10 vezes ao ano, o que provocava um rebaixamento médio anual de seu leito de aproximadamente 0,10 m., além do revolvimento do solo que, pelas águas das chuvas pluviais, era arrastado para os recursos hídricos a jusante.

Para colher melhores subsídios sobre o contexto, aonde o experimento iria se realizar foi feito um levantamento topográfico, em condições de campo, para apontar os comprimentos totais da rampa, a declividade do trecho em estudo e a localização de uma única saída de água, ou seja: um sangradouro natural seguido de erosão tipo voçoroca.

Instalou-se, também, um pluviômetro próximo à rampa selecionada, do qual foram coletados, diariamente, dados de pluviosidade. Com estas medições procurou-se caracterizar a quantidade e a intensidade das precipitações ocorridas durante o experimento.

5.1.1. Documentação cartográfica

A área de execução do projeto para a intervenção corretiva está contida na articulação da Folha Topográfica, Carta do Brasil escala 1:50.000 DOMÉLIA (SF-22-Z-B-IV-1) articulação 055/69.

Foram utilizadas fotos aéreas coloridas, de julho de 2000 (na escala 1:10.000) – como a Figura 2 abaixo – com o objetivo de levantar as informações preliminares das formas de relevo e rede hidrográfica, do local em estudo, e observar unidades fisiográficas.



FONTE: Programa Estadual de Bacias Hidrográficas. CATI, Campinas: 2000

Figura 2: Imagem do satélite *LandSat* mostrando o relevo da microbacia do córrego São Gerônimo

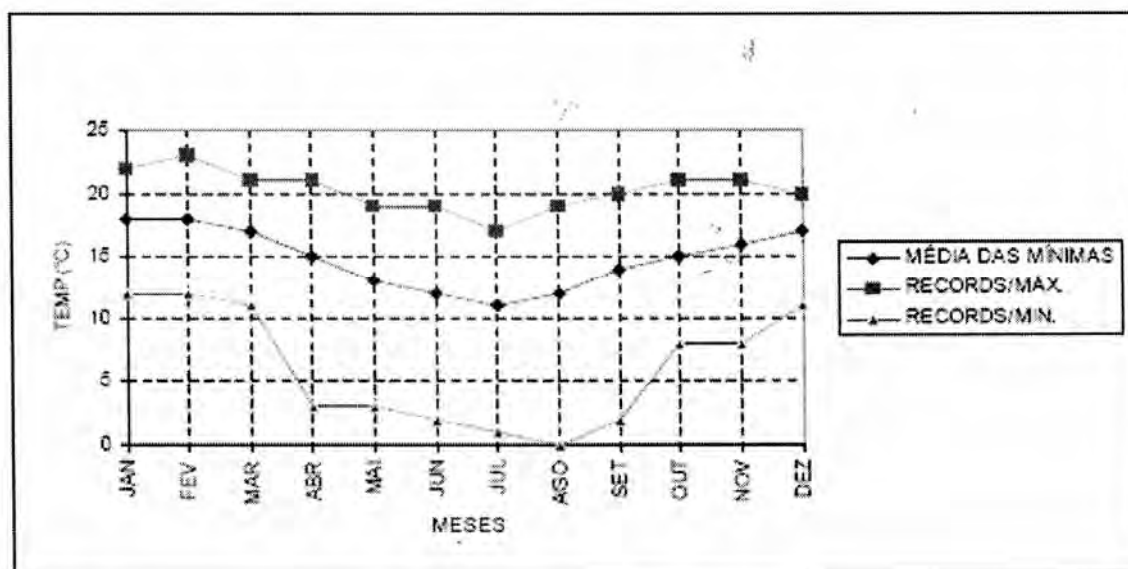
5.1.2 Clima

O clima predominante na área é o mesmo da região de Bauru – SP, onde se encontra instalado o IPMET (Instituto de Pesquisas Meteorológicas), da UNESP (Universidade Estadual Paulista).

De acordo com a classificação de KÖPEN, o clima é tipo CB'cw, subúmido (c), mesotérmico (b), com pouca umidade no inverso (w), e com a marcha anual da temperatura (c) concentrada em mais de (seis) meses no ano.

Dentre as quatro estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), apenas duas (o verão e o inverno) é que possuem características diferenciadas das demais, ou seja, bem definidas, na área selecionada. Assim, a variação da temperatura não é o fator determinante para diferenciar as estações uma vez que, mesmo no inverno, registram-se

temperaturas elevadas. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 15°C enquanto que no mês mais quente ultrapassa os 30°C, conforme a Figura 3, que demonstra as temperaturas máximas e mínimas na região de Bauru, na qual se insere a área, objeto deste estudo.

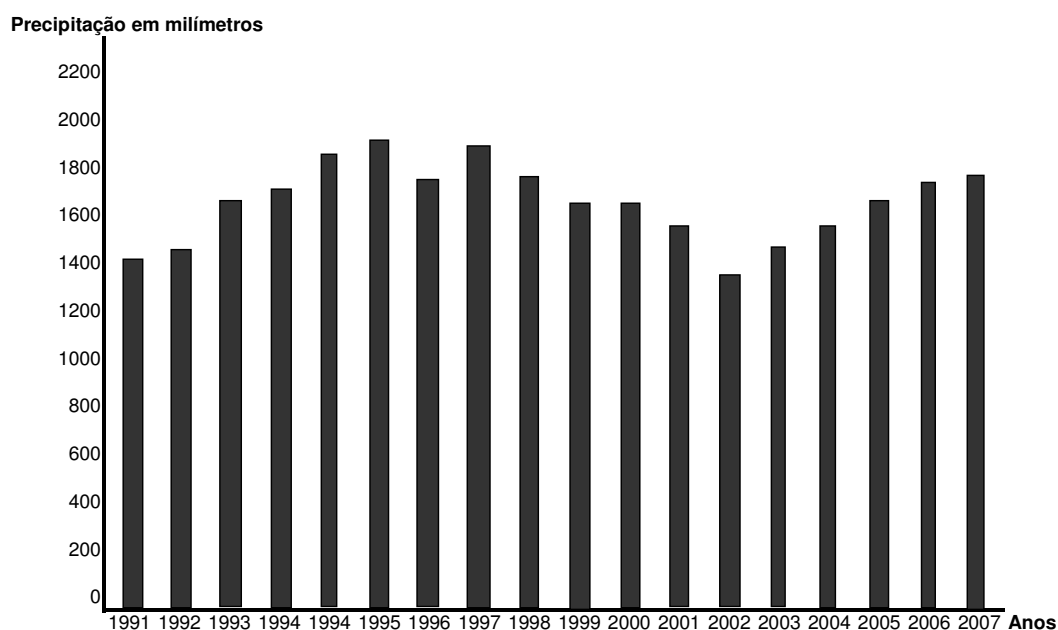


Fonte: Adaptado pelo autor em 01/2007, com base em FIGUEIREDO e SUGAHARA (1997).

Figura 3: Temperaturas com registros Máx. e Mín. para a Região de Bauru/SP.

5.1.3 Precipitação Pluviométrica

Segundo FIGUEIREDO e SUGAHARA (1997) é a precipitação que diferencia uma estação da outra, pois no inverno chove em média 5 (cinco) vezes menos do que no verão, conforme podemos notar na Figura 4, abaixo, que apresenta a precipitação média pluviométrica no período de 1991-2006 com média de 1.604,4 mm. Destacam-se os anos de 1995-1997 como sendo os anos em que ocorreu uma maior quantidade de precipitação pluviométrica. Nesse período foram registrados 1.835,0 mm. e 1.938,0 mm., respectivamente.



Fonte: Adaptado pelo autor com base nos registros de precipitação pluviométrica de Espírito Santo do Turvo – Usina Agreste (2007)

Figura 4: Precipitação pluviométrica acumulada no período de 1991 - 2007.

Por outro lado, na Figura 5 registraram-se as precipitações mensais de abril a outubro do ano de 2007 e comparadas com as médias mensais históricas de abril a outubro no período de 1991-2007.

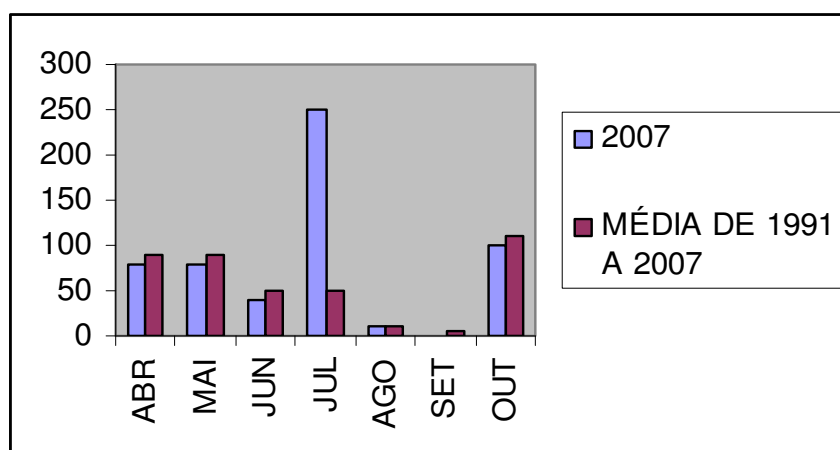


Figura 5: Precipitações mensais em 2007 e médias mensais no período de 1991-2007, em mm.

5.1.4 Caracterização do solo

A amostragem do solo foi realizada de forma sistemática com espaçamento estimado de 14 m ao longo da estrada, constituindo uma transeção de aproximadamente 500 m de comprimento, totalizando 35 pontos amostrais. Em cada ponto foram coletadas amostras de solos nos horizontes superficiais (0-0,20 m) e subsuperficiais (de 0,20-0,60 m) para análise granulométrica (argila, silte e areia) a partir do divisor de águas.

As análises físicas dos ensaios foram realizadas no Laboratório de Análise Física de Solos do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP, Campus de Botucatu, SP.

Para o estudo da estabilidade de agregados foram coletadas mais 35 amostras deformadas na profundidade de 0-0,20 m em forma de torrões de 0,10 m envolvidos em filmes plásticos para análise conforme proposto por CAMARGO et al. (1986).

O tipo de solo identificado na área em estudo é o Argissolo Vermelho Distrófico Abrúptico de textura arenosa média.

O local do Estado, onde se localiza a área do experimento, contém: solo tipo Argissolo Vermelho Distrófico Abrúptico, textura arenosa média com Horizonte B - textural e argila de atividade baixa (conhecidos, anteriormente, como Podzólico Vermelho Amarelo); parte de Terras Roxas estruturadas e similares; Terras Brunas, Podzólico Amarelo e Podzólico vermelho escuro.

São solos com mudança textural abrupta, isto é, solos com textura arenosa desde a superfície para o Horizonte A até o início do Horizonte B textural, que ocorre entre 30 e 100 cm. de profundidade e apresentam profundidade mediana de 1,5 a 2,5 m, com perfil bem desenvolvido, moderadamente intemperizados e apresentando diferenciação marcante entre horizontes: o Horizonte B Vermelho, que mostra claramente a acumulação de argila translocada e o Horizonte A, pela ação da água gravitativa (EMBRAPA, 2006) conforme a Figura 6.

O solo pertence ao seguinte grupamento textural: textura arenosa, com classe textural areia e areia franca e textura média; compreende classes texturais com composição granulométrica menor de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.



Figura 6: Mostrando o perfil do solo, com destaque para o Horizonte A e B-textural em trecho de talude da PLA-06.

A primeira fase de análise dos resultados de cada atributo do solo limitou-se à análise exploratória. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva seguindo a proposta de LIBARDI et al. (1996) e GONÇALVES et al. (2001), para verificação da presença de pontos discrepantes (*outliers*) e sua influência quanto às medidas de posição e de dispersão. Foram, também, realizadas as análises de medidas de posição (média, mediana, moda); medidas de dispersão (valores máximo e mínimo, quartis superior e inferior, desvio-padrão, variância e coeficiente de variação, amplitude total e interquartílica); forma da dispersão (gráfico de probabilidade normal, coeficientes de assimetria e curtose); análise exploratória dos dados (gráfico de caixa); e a verificação da normalidade dos dados a 5% de significância, com base nos testes de KOLMOGOROV- SMIRNOV (KS).

A tabela 1 apresenta as estatísticas utilizadas para descrever as distribuições dos dados medidos. Os valores das frações de argila e areia nas duas

profundidades e silte (0,0-0,20 m) nos 35 pontos amostrais compõem uma distribuição cuja média é próxima da mediana, revelando uma distribuição ligeiramente assimétrica, como pode ser observado pelo coeficiente de assimetria com valor positivo. Segundo LIBARDI et al. (1996), na assimetria positiva a mediana é menor que a média dos dados, mostrando assim, a tendência para concentração de valores menores que a média.

Tabela 1: Estatística descritiva de distribuição de frequência das frações granulométricas (areia, argila e silte) e DMP (diâmetro médio ponderado dos agregados)

Variáveis ^{1/}	Estatísticas								
	Média	Md	Mín.	Máx.	s	CV	Ck	Cs	K-S
Areia (0-0,20 m)	86,61	85,60	78,90	94,30	5,86	6,77	-1,82	-0,06	p<0,1
Argila (0-0,20 m)	9,33	9,00	2,80	17,50	4,87	52,26	-1,67	0,24	p<0,1
Silte(0-0,20 m)	4,07	4,10	1,60	6,40	1,37	33,66	-1,18	-0,17	p>0,2
Areia (0,20-0,60 m)	86,98	88,10	73,10	93,10	5,06	5,82	0,02	-0,73	p>0,2
Argila (0,20-0,60 m)	8,56	6,60	3,60	20,70	4,46	52,10	-0,13	0,81	p>0,2
Silte (0,20-0,60 m)	4,46	4,10	2,30	10,90	1,70	38,12	4,85	1,77	P<0,15
DMP (mm)	0,55	0,55	0,31	0,74	0,12	21,82	-0,93	-0,18	p>0,2

^{1/}Frações granulométrica em percentagem (%); Md – mediana; Mín. – mínimo; Máx. – máximo; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Ck – coeficiente de curtose; Cs – coeficiente de simetria; K-S

Pelo teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV, todas as frações granulométricas e DMP apresentaram normalidade nos dados. Os resultados dos coeficientes de assimetria e de curtose e a proximidade entre os valores de média e mediana evidenciaram que, embora existam alguns valores elevados, estas distribuições não apresentam extremidades alongadas que possam comprometer a análise estatística.

A variabilidade dos dados, medida pelo coeficiente de variação (CV), foi baseada nos limites propostos por WARRICK & NIELSEN (*Apud* GRIEBELER, 2005), para classificação de atributos do solo. Os coeficientes de variação mostram-se: baixo para

areia ($CV < 12\%$) e médio para argila, silte e DMP ($12\% < CV < 60\%$). De acordo com esses mesmos autores, alguns atributos de solo podem apresentar CV variando entre 10 a 100%.

Diversos autores, estudando as frações granulométricas, também encontraram CV na ordem de 10 a 60% (GONÇALVES, 1997; CERQUEIRA, 2004). Segundo LANDIM (2003), o CV fornece uma medida relativa da precisão do experimento, sendo bastante útil na avaliação da dispersão dos dados. Esses resultados indicam que as frações granulométricas e o diâmetro médio ponderado dos agregados, após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelo homem, atividades agrícolas e, conseqüentemente, pelos processos erosivos, comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da transeção da estrada.

Tal fato contraria, em parte, as afirmações de GUIMARÃES (2000) de que as frações granulométricas são pouco dependentes do uso e manejo a que o solo é submetido; que esta variável é fixa e a variação é proveniente da própria formação natural do solo.

Segundo BERTOLINI et al. (2004), o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) é um dos índices que indica a estabilidade da estrutura frente à ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo à erosão hídrica. Um transepto ao longo da estrada não define, por si só, o comportamento das frações granulométricas e o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP); mostra existir variação destes atributos ao longo da transeção estudada, na região, apesar da homogeneidade na sedimentação.

Conforme ORTIZ (2003), a porosidade do solo aumenta à medida que a textura vai diminuindo, visto que solos argilosos retêm e armazenam mais umidade que os arenosos. Grandes teores de areia no solo provocam maiores infiltrações e podem levar à redução no armazenamento de água.

As figuras 7 e 8, a seguir, apresentam as distribuições das frações de areia, argila e silte ao longo da transeção de amostragem na área escolhida para o experimento. Verificou-se que existe baixa tendência na variação dos teores de areia e silte, ao longo da secção – o que foi confirmado pelos coeficientes de variação dos dados – e média para argila. Isto pode estar relacionado com a topografia do terreno.

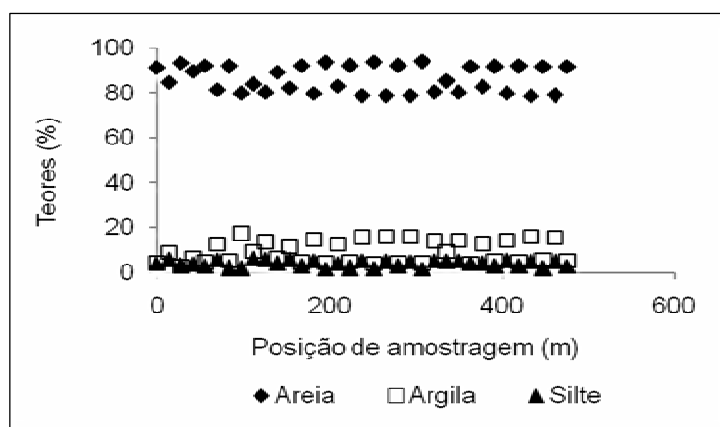


Figura 7: Distribuição dos teores das frações granulométricas do solo (areia, argila e silte) na profundidade de 0,20 m., ao longo da transeção.

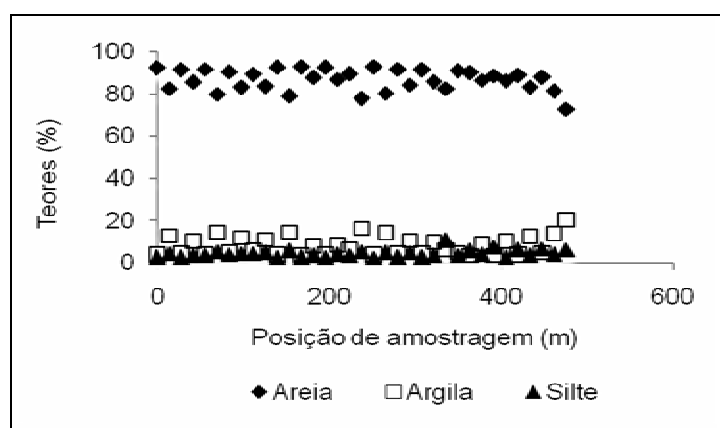


Figura 8: Distribuição dos teores das frações granulométricas do solo (areia, argila e silte) na profundidade de 0,20-0,60 m., ao longo da transeção.

5.1.5 Relevo

O relevo, na área escolhida para a intervenção corretiva, segundo POUÇANO (Apud Cavarsan 2007) apresenta-se geomorfologicamente, em escala regional, constituído por colinas amplas, morrotes alongados e espigões com altitudes médias que variam de 500 a 630 m do fundo até o topo do espigão e podem ser assim descritos:

- a) Colinas amplas, onde predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados e vertentes com perfis de retilíneos a convexos.
- b) As drenagens neste tipo de relevo são de baixa densidade, padrão subdentrítico com vales abertos e planícies aluviais interiores restritas com a presença eventual de lagoas perenes e intermitentes.
- c) Morrotes alongados e espigões, onde predominam interflúvios sem orientação preferencial com os topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos com drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados.
- d) A superfície da topografia é pouco diferenciada, com elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 a 100 m, apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%.



Figura 9: Mostrando foto aérea do Satélite Land Sat (2000) a situação do relevo na área de estudo.

5.1.6 Classes de drenagem no local

O solo, em que o experimento se realizou está na classe de drenagem moderadamente drenado, o que significa que a água recebida da precipitação pluviométrica é parcialmente escoada e parcialmente infiltrada, apresentando uma camada de permeabilidade rápida no Horizonte A, onde a infiltração acontece até atingir a capacidade de campo e possui uma camada localizada, logo abaixo, no Horizonte B, com permeabilidade lenta associada à diferença textural acentuada entre A e B na qual se relaciona com a condição epiáquica, conforme se pode visualizar na foto abaixo onde a camada de argila do horizonte B textural é visível e dificulta o movimento da água no perfil do solo devido a sua baixa condutividade hidráulica saturada. .



Figura 10: Mostra solo com camadas que diferem em textura e estrutura no perfil do solo, que retardam o movimento de água durante a infiltração, escoando pela superfície.

5.1.7 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal natural que recobria a área do município de Paulistânia anterior a 1.854, segundo KRONKA et al. (Apud Cavarsan, 2007) , era constituída pela Floresta Tropical subcaducifólia.

No Inventário Florestal do Estado de São Paulo realizado em 1993, por esse mesmo autor, foi constatada a existência de áreas remanescentes de cerrado, campo cerrado, cerradão, vegetação de restinga e várzea, e floresta subcaducifólia tropical (Mata Atlântica), o que foi confirmado pelo levantamento da Organização não Governamental SOS Mata Atlântica, em 2003.

Nas formações florestais nativas existentes, na área selecionada para o experimento, foi observado que o cerrado e a Mata Atlântica são os dois biomas que possuem, ainda, significativa presença, seguidos pela formação de floresta estacional semidecidual (também conhecida como Mata) e a vegetação de várzea.

5.1.8 Velocidade de infiltração básica no solo na área selecionada

Para que as águas das chuvas sejam armazenadas no solo é necessário que ela se infiltre pela sua superfície. A intensidade das chuvas (mm h^{-1}) sendo maior que a velocidade de infiltração da água no solo (mm h^{-1}) haverá escoamento superficial da água. Portanto, foi realizado um teste de infiltração de água no solo, calculando-se a VIB (velocidade de infiltração básica), utilizando o infiltrômetro de anéis, equipamento esse composto por dois anéis de aço.

O procedimento para o teste consistiu em: a) colocar os anéis metálicos em superfície plana do solo; b) colocar um caibro de madeira atravessado sobre os anéis e batido nele com uma marreta para que os anéis penetrassem no solo cerca de 0,10 m; c) prender uma régua comum à parede interna do anel menor, com fita adesiva, de modo que a base encostasse ao solo e a ponta ficasse acima da borda do anel; d) colocar um saco plástico no anel interno, encostando-o nas paredes e no fundo; e) encher o anel externo e o saco

plástico de água e preparar um cronômetro; f) puxar uma das bordas do saco plástico até que ele saísse do anel, deixando a água em contato com o solo; g) ativar o cronômetro, nesse instante, e anotar a altura da água na régua.

No caso da área do experimento, a velocidade de infiltração (VI) estabilizou-se em 14 mm/h a partir de 120 minutos do teste. Isto significa que, se as lâminas de chuva apresentam taxas de precipitação menor ou igual a (VIB) 14 mm/h não haverá escoamento superficial e, acima deste valor, haverá escoamento de água na superfície do solo, conforme representado na tabela 2.

Tabela 2: Determinação da infiltração acumulada e da velocidade de infiltração, pelo método do “infiltrômetro de anel”, na área do experimento.

Tempo		Leitura da Régua		Velocidade de Infiltração	
T	ΔT	L (cm)	ΔL (cm)	ΔL (mm)	(mm/h)
0	0	10	--	--	--
1	1	11,4	1,4	14	840
3	2	13/10	1,6	16	480
5	2	10,9	0,9	9	270
10	5	11,9	1,0	10	120
20	10	13,3/10	1,4	14	84
30	10	10,9	0,9	9	54
45	15	11,8	0,9	9	36
60	15	12,5	0,7	7	28
90	30	13,2	0,7	7	14
120	30	13,9/10	0,7	7	14
150	30	10,7	0,7	7	14

T – tempo acumulado; ΔT – tempo instantâneo; L – leitura da régua em cm; ΔL – diferença entre leituras em cm; VI – velocidade de infiltração em cm.



Figura 11: Mostra infiltrômetro de anéis.

5.1.9 Fatores responsáveis pelas perdas de solo

As perdas de solo foram avaliadas pela EUPS (Equação Universal de Perda de Solo), que considera informações sobre o clima, solo, relevo e uso da terra. A equação desenvolvida por WISCHMEIER e SMITH (1978) e adaptada por BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) é expressa por:

$$A = R K L S C P$$

Onde: A = perda anual de solo em $\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$

R, K, L e S = são fatores dependentes das condições naturais (clima, solo e topografia).

C e P = fatores antrópicos (relacionados com as formas e uso e ocupação do solo).

O potencial erosivo das chuvas (**Fator R**) para a microbacia do Córrego São Gerônimo, onde se localiza o trecho de estrada em estudo, foi obtido com fundamento em LOMBARDI NETO et al. (2000). Devido à pequena extensão da área de estudo foi estimado um valor único de erosividade para todo o trecho de estrada e áreas adjacentes = $6.865 \text{ M.J. mm. ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

A erodibilidade para cada unidade de solo foi determinada segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990).

Os limites das unidades de solo foram mapeados e digitados para construir o plano de informação do solo. A tabela, abaixo, mostra a distribuição dessas unidades, com legenda simplificada.

Tabela 3: Distribuição das unidades de mapeamento de solo, erodibilidade e tolerância de perdas de solo na área do experimento, dentro da microbacia do córrego São Gerônimo.

Unidade de Solo	Área		Erodibilidade	Tolerância
	ha	%	$\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$	Mg ha^{-1}
PEd	2385	91,7	0,0405	8,96
LVd	215	8,3	0,0132	14,2

Aproximadamente 91,7% da área da microbacia estão ocupados com solos do tipo Argissolo Vermelho, que apresentam valores de erodibilidade moderada e grande parte da área apresenta solos distróficos 85% e 15% apresentam eutróficos, solos do tipo latossol vermelho distrófico textura arenosa, representam 8,3% da microbacia com valor de erodibilidade baixa.

Tabela 4: Distribuição das classes de erodibilidade no trecho trabalhado da PLA-06, na microbacia do córrego São Gerônimo.

Classes	Valores	Área	
		Ha	%
Muito baixa	< 0,010	-	-
Baixa	0,010 – 0,020	215,80	8,3
Moderada	0,020 – 0,030	2.384,20	91,7
Alta	0,030 – 0,040	-	-
Muito Alta	> 0,040	-	-
Total		2.600	100

Tabela 5: Distribuição das classes do fator topográfico (LS) no trecho do experimento dentro da microbacia do córrego São Gerônimo.

Classes	Valores	Área	
		Ha	%
Muito baixa	< 1,0	675,00	25,98
Baixa	1,0-5,0	760,68	29,25
Moderada	5,0-10,0	850,00	32,68
Alta	10,0 – 20,0	99,22	3,81
Muito Alta	> 20,0	215,10	8,27
Total		2.600,00	100,00

Os fatores comprimento de rampa (L) e declividade (S) da EUPS foram calculados por interpolação dos dados altimétricos não constituindo mapa em forma de apresentação. Seus valores específicos em cada área de trabalho foram utilizados no preparo das cartas de classes de declive, de classes de risco de erosão, de classes de potencial natural de erosão e, conseqüentemente, da carta de capacidade de uso das terras. O resultado dos valores do fator LS foram classificados em cinco níveis e apresentado na tabela 9, com sua distribuição.

O Fator Topográfico (**Fator LS**) foi calculado através da equação desenvolvida por BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), ou seja: $LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18}$

Onde: C = comprimento de rampa, em metros.

D = declividade, em porcentagem.

A tabela 6 abaixo, apresenta a distribuição do uso e os valores do Fator C, determinados segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990).

Foi feita a correção para manejo (**Fator C**) das culturas anuais, perenes, semiperenes e pastagens, de acordo com o levantamento sócio-econômico da Casa da Agricultura de Paulistânia (CATI). Cerca de 80,7% da área da microbacia do córrego São Gerônimo está ocupada com culturas perenes.

Tabela 6: Distribuição do uso atual e classes de declive das terras da microbacia do córrego São Gerônimo.

Classes de Declive		Área	
	%	ha	%
A	< 3	245	9,42
B	3 – 6	945	36,34
C	6 – 9	596	22,92
D	9 – 12	445	17,11
E	12 – 18	301	11,57
F	> 18	68	2,61
Total		2.600,0	100

Em 91,7% da área da Microbacia do córrego São Gerônimo – incluindo o trecho em estudo – há um potencial natural de erosão que se classifica como moderado mostrando que, mesmo sem cobertura do solo ou prática de manejo, a área possui condições naturais de baixa a média perda de solo.

Observa-se que o restante (8,3%) da área apresenta muito baixo a baixo o PNE, sendo, portanto, áreas com cobertura vegetal devido a fatores naturais (solo e topografia). Se utilizadas com manejo inadequado podem apresentar alto risco de erosão, conforme se verifica na tabela 3, à página 33.

Tabela 7: Distribuição do uso atual e o fator C para microbacia do córrego São Gerônimo.

Uso	Área		Fator C
	Ha	%	
Pastagem	2.100	80,7	0,0020
Eucalipto	75	2,88	0,0147
Cana-de-açúcar	300	11,53	0,1111
Mata Ciliar	110	4,23	0,0004
Área Urbana	15	0,57	1
Total	2.600	100,0	-

Observa-se que 68,68% da área da microbacia – incluindo-se o trecho da PLA-06 – apresentam uma declividade menor que 9%, mostrando o alto potencial para uso de mecanização, mas com possibilidades de outras tecnologias que diminuam os problemas de erosão, como o uso do plantio direto para culturas anuais e de cana-de-açúcar.

5.1.10 Perdas de Solo

O Quadro da tabela 8 apresenta as perdas de solo estimadas pela EUPS, para a microbacia do córrego São Gerônimo.

Tabela 8: Distribuição das classes de perda de solo estimadas pela EUPS para a Microbacia do córrego São Gerônimo

Perdas de solos		Área	
Classes	Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	ha	%
Muito baixo	<10	675,00	25,98
Baixo	10 a 20	760,68	29,25
Moderado	20 a 50	850,00	32,68
Alto	50 a 100	99,22	3,81
Muito Alto	>100	215,50	8,27
Total		2.600	100

O trecho da estrada PLA-06, no qual serão desenvolvidos os trabalhos de adequação e disciplinação de águas, apresenta “classe moderada” de Potencial Natural de Erosão (entre 20 e 50. Mg.ha⁻¹.ano⁻¹).

Com o uso de tecnologia adequada é possível passar a para “classe muito baixa”, com perdas menores que 10.Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. O manejo das áreas laterais ao trecho que sofrerá intervenção, também precisa ser alterado com o plantio de gramíneas e a impermeabilidade do leito da estrada deverá ser feita com material granular (tipo seixo rolado, mais argila na proporção de 2,5:1), para se reduzir as perdas de solo para um nível aceitável.

O escoamento superficial no espaço entre terraços acontece com o excedente de águas pluviais quando este atinge a capacidade de campo. O arrastamento de solos para o canal dos terraços deverá ficar reduzido a níveis aceitáveis em função da cobertura vegetal do solo e a rugosidade da superfície, mesmo em condições de aumento de intensidade e duração da precipitação, deverá contribuir para diminuir as perdas de solo no local.

Com a perenização do leito da pista de rolamento, não deverá haver mais o uso da prática da raspagem com lâmina de motoniveladora, o que contribuirá para diminuir a remoção de solo sobre a superfície e minimizar o transporte deste material, impedindo o assoreamento nos canais de terraços.

A construção de sarjetas ao longo do trecho, da estrada, a ser adequado tem por objetivo captar e drenar as águas superficiais que se acumulam na pista de rolamento, conduzindo-as para os segmentos de terraços embutidos que serão vegetados com gramíneas, do gênero brachiárias, para diminuir as perdas de solo.

A distribuição do risco de erosão na área escolhida para a intervenção corretiva mostra que 100% da mesma apresentam risco, ou seja, os valores de perda de solo são significativos e indicam que, ao longo dos 80 anos de existência desta estrada, os locais a jusante foram impactados com assoreamento dos mananciais e do leito do Córrego São Gerônimo em níveis de até 3 m de deposição de solo desestruturado, causando poluição e morte de vegetação em áreas de APP.

5.2 O Trabalho de Campo: metodologia de intervenção corretiva

Este trabalho foi realizado em várias etapas interligadas, ao longo de um trecho da estrada rural de terra PLA-06, empregando-se procedimentos e técnicas específicas para cada etapa configurando-se, assim, a metodologia desenvolvida na intervenção corretiva do trecho de estrada já localizado, identificado e caracterizado.

5.2.1 Estudo do trecho da estrada e das técnicas a serem empregadas

O trecho de estrada escolhido para sofrer adequação possui uma extensão de 500 m, conforme se pode visualizar no gráfico 7, à página seguinte. Possui plataformas encaixadas com taludes de corte variando de 1 a 6 m de altura e contribuição lateral de águas de chuvas. As condições edáficas possuem limites de infiltração de água, de lenta a moderada, e a textura arenosa é média argilosa; a topografia é pouco acidentada e as áreas marginais são utilizadas com culturas perenes, semiperenes e pastagens.

5.2.1.1 Estratégia de intervenção técnica

Inicialmente, adotou-se a tecnologia convencional que consistiu em trabalhos de elevação do leito da pista de rolamento, através do abatimento de taludes e implantação de sistemas de drenagem superficial, compostos de derivados de fluxo de águas, saídas de água através de segmento de terraços embutidos, com gradientes associados, em sua extensão final, a bacias de captação, conforme projeto constante Figura 13, à página 40.

Em seguida, procedeu-se ao revestimento da pista de rolamento com material granular para diminuir a tensão de cisalhamento, que arrasta solo, e à implantação de técnicas de proteção vegetal junto às áreas trabalhadas, taludes de corte/aterro, sarjetas e saídas de água.

Desse modo, passou a existir, no local, adequada recepção das águas superficiais contribuindo para a melhoria da plataforma que antes era uma área de contribuição lateral da “lavoura-estrada” e posteriormente passou a ser uma “estrada-lavoura”, a qual as águas são conduzidas para bacias de captação, através de terraços embutidos com gradiente.

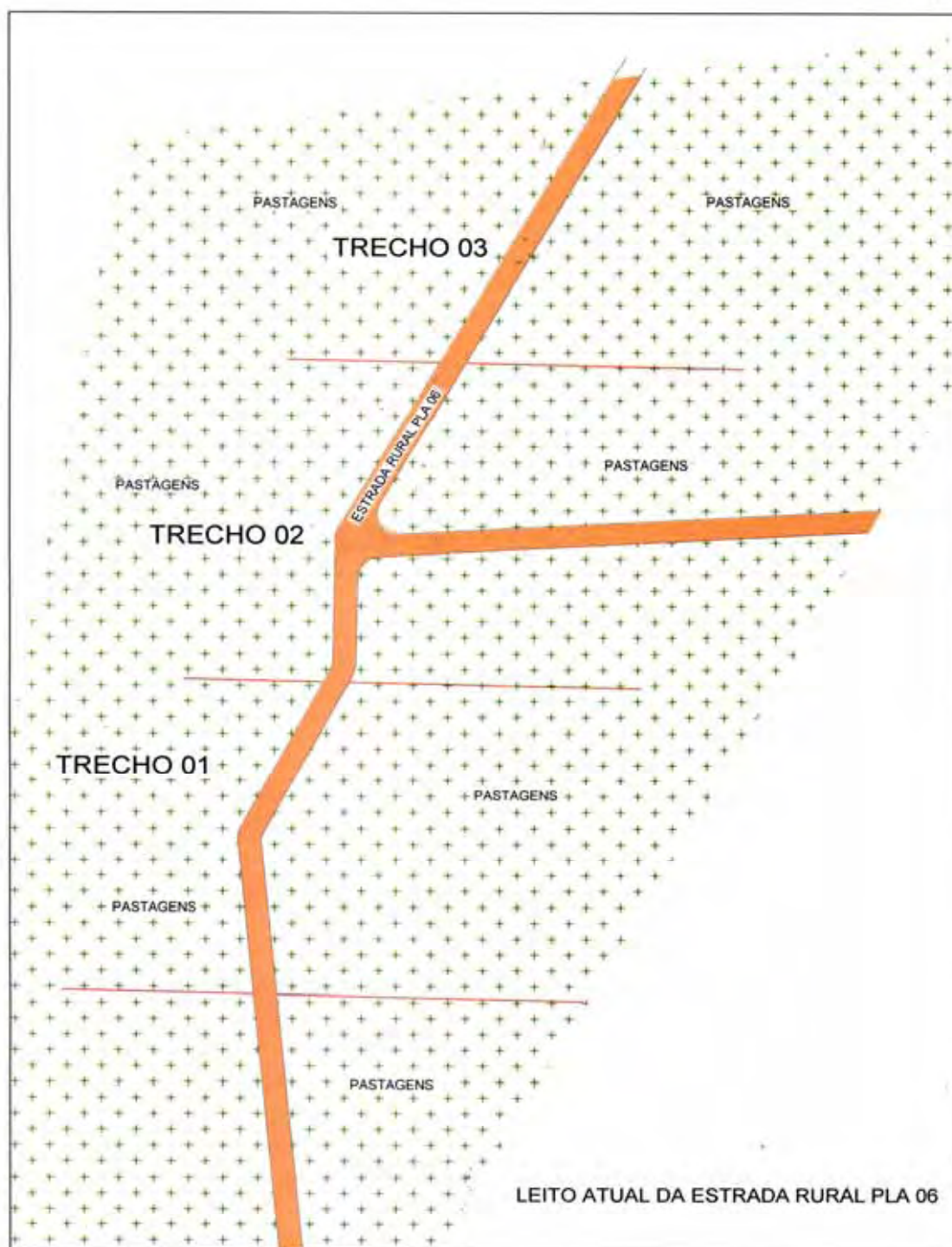


Figura 12: Leito atual da estrada PLA-06

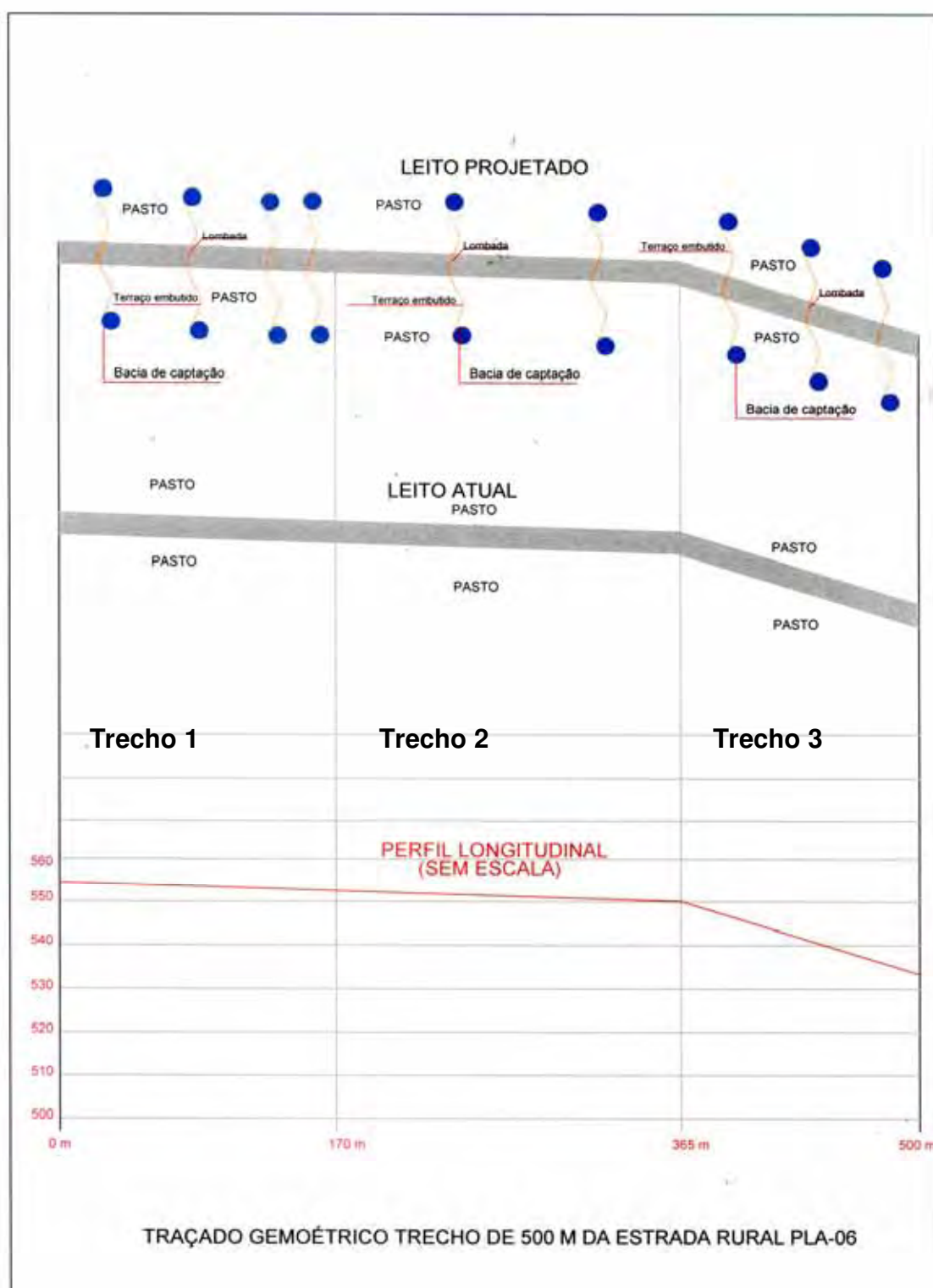
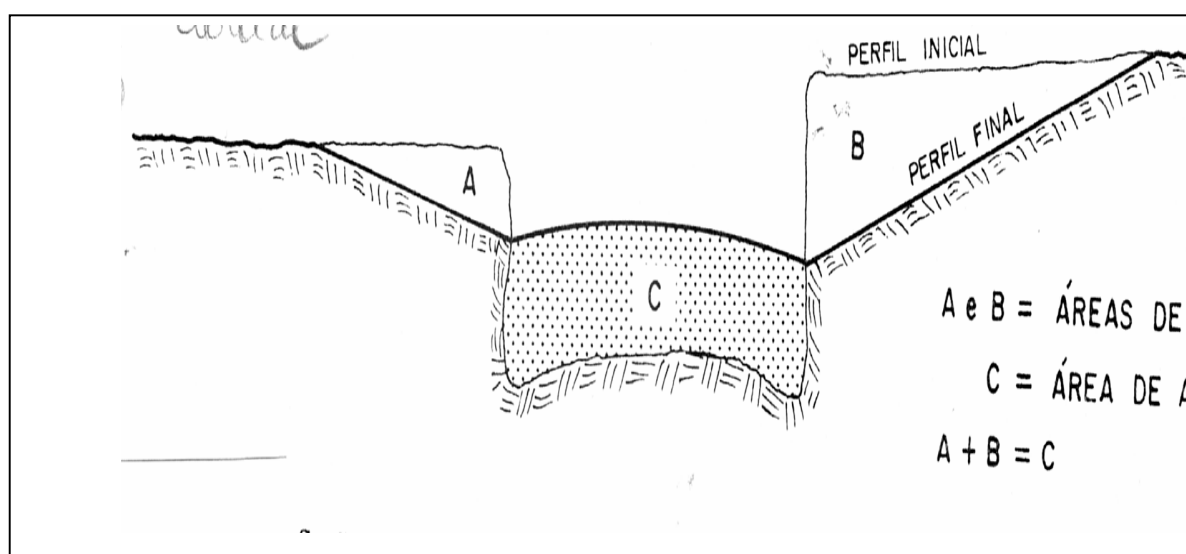


Figura 13: Traçado geométrico do trecho de 500 m. da estrada PLA-06

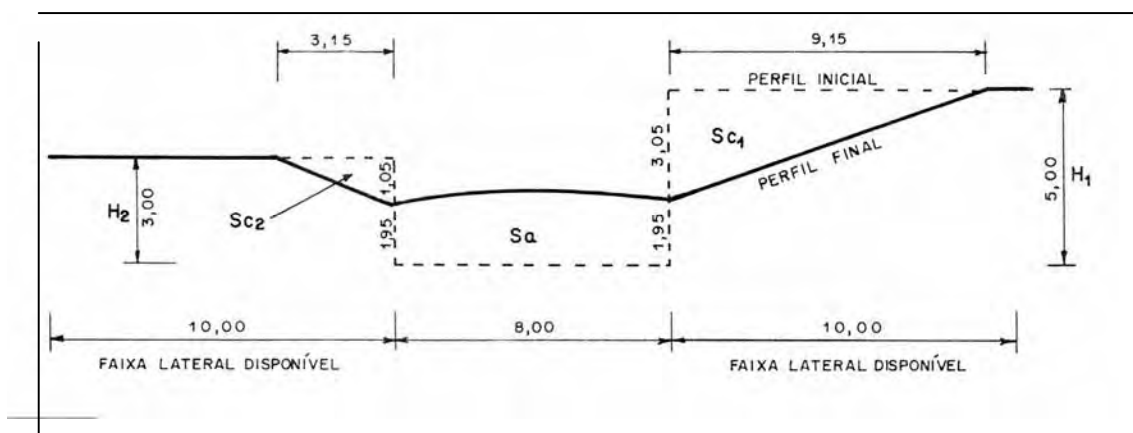
5.2.1.2 Época ideal para início dos serviços de adequação

Recomenda-se que os serviços de adequação de estradas não sejam realizados nos períodos de ocorrência de maiores precipitações pluviométricas, as quais se verificam, em geral, entre os meses de dezembro a fevereiro. Por isso a intervenção foi realizada entre os meses de abril a outubro de 2007, período de inverno, de baixa pluviosidade evitando-se, assim, o escoamento superficial das águas, no momento em que o solo se encontrava revolvido e com menor capacidade de expansão volumétrica (empolamento). Também foram abatidos os taludes no trecho de estrada encaixada no terreno, da PLA-06, conforme mostram os gráficos 13 e 14, abaixo.



Fonte: CODASP – Manual Técnico de Moto-Mecanização Agrícola (1999)

Figura 14: Secção típica de estrada rural encaixada no terreno.



Fonte: CODASP – Manual Técnico de Moto-Mecanização Agrícola (1999)

Figura 15: Secção transversal de estrada encaixada

5.2.2 Situação atual dos segmentos 1, 2 e 3 do trecho de estudo da estrada PLA – 06 e soluções propostas para intervenção corretiva

De forma geral, o traçado do trecho escolhido da estrada rural PLA-06, bem como a configuração de sua secção transversal orientam-se pelas condições naturais de disponibilidades de espaços e do tipo e volume de tráfego esperado.

A Figura 16 na página 43 mostra a situação atual do trecho 01 da estrada PLA-06, caracterizada como estrada tipicamente encaixada no terreno, com erosão no leito e nas sarjetas, com carreamento de solo e água, com queda de taludes no período de verão, e com contribuição de águas das áreas marginais, no sentido lavoura-estrada.

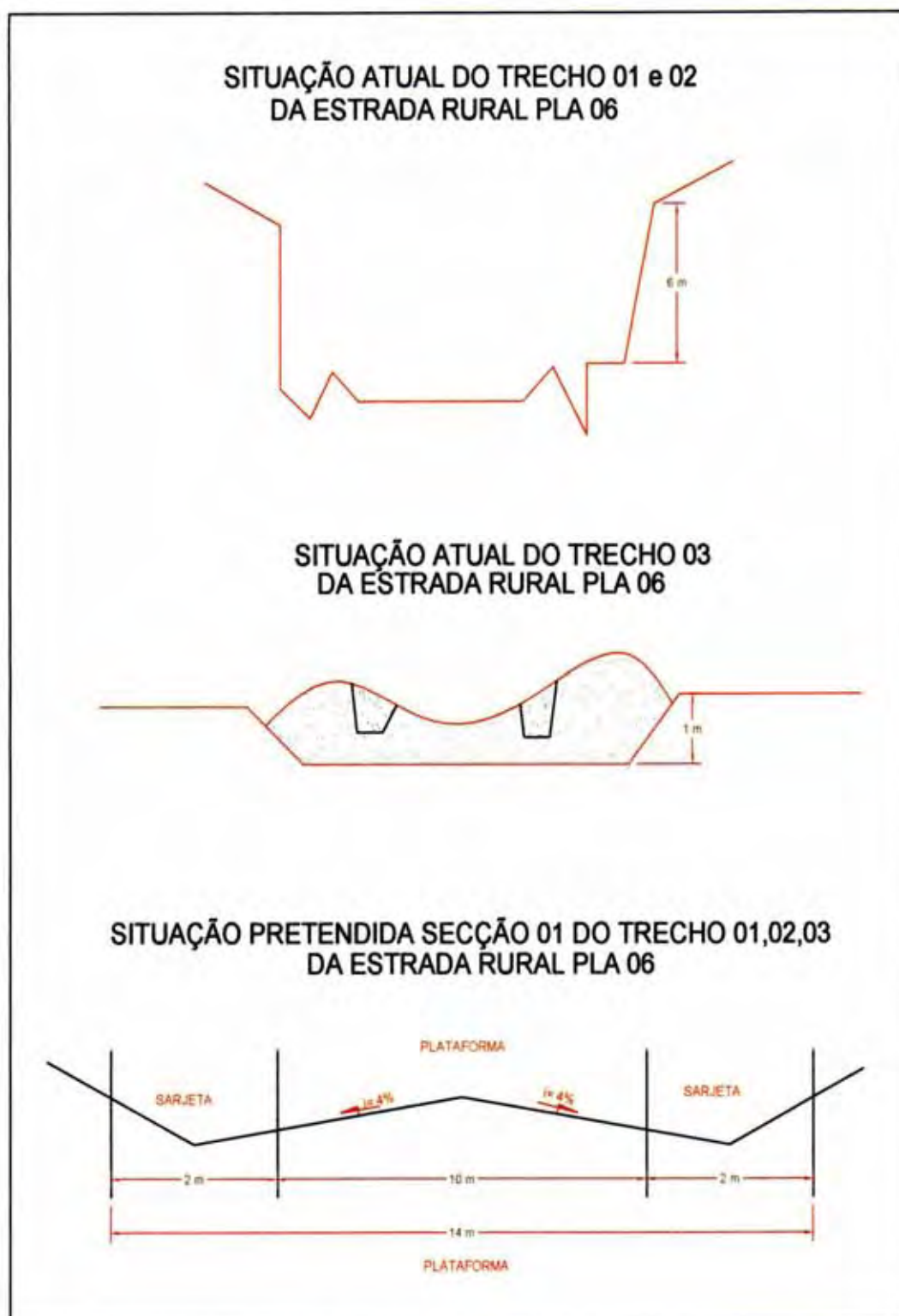


Figura 16: Situação atual do trecho 1 e solução proposta.



Figura 17: Mostra trecho 01 da secção 1 da estrada PLA-06 antes da realização do trabalho de intervenção.

A foto acima é do trecho 01 da secção 1 da estrada PLA-06, na qual se pode visualizar os problemas de erosão do tipo de sulcos em estágio progressivo com arrastamento de solo e com escoamento superficial de águas, com transposição de água no leito da pista, carreamento de solo e água para áreas a jusantes.

O trecho apresenta secção extremamente encaixada no terreno e taludes superiores a 3 m de altura mostrando-se extremamente impactante no local, com escoamento difuso da água, juntamente com raspagem da superfície do leito com equipamento motoniveladora, aumentando o transporte do solo da superfície da faixa de tráfego.



Figura 18: Foto do autor mostrando trecho 02 da secção 01 da estrada PLA – 06 antes do processo de intervenção.

A figura acima é do trecho 02 da secção 01 da estrada PLA – 06, na qual se podem visualizar problemas de erosão no seu leito seguido de arrastamento de solo com escoamento superficial de águas vindas como contribuição de outra estrada perpendicular secundária e de áreas adjacentes de lavoura, contribuindo no sentido Lavoura-estrada. Este trecho apresenta-se encaixado no terreno com problemas de drenagem, carreando solo e água até um ponto de sangria em sua leira, agredindo o manancial abaixo com assoreamento.

As áreas adjacentes são exploradas sem manejo de solo adequado pelos produtores rurais, onde as águas de escoamento superficial descem pelos taludes, escavando-os verticalmente, introduzindo no leito grandes quantidades de solo sedimentado.



Figura 19: Mostrando trecho 03 antes da intervenção da PLA-06 com acúmulo de solo sedimentado formando areião

No trecho 3 a topografia local apresenta-se em condições mais harmônicas com as áreas marginais, mas há acúmulo de areia de até 60 cm, o que dificulta o tráfego e, o excedente, é carregado pelas águas das chuvas até o manancial, através de um sangradouro lateral da plataforma do lado direito.

A solução proposta é a manutenção do greide da pista de rolamento nas mesmas condições planaltimétricas encontradas, conferindo abaulamento transversal com declividade transversal de 4% e implantação de dispositivos de drenagem, conforme figura 15, onde se lê situação pretendida da secção 01 dos trechos 01,02 e 03 da PLA-06.



Figura 20: Mostrando assoreamento de manancial ocasionado pelo carreamento de solo da PLA-06 sobre manancial

A situação impactante da Figura 19 mostra acúmulo de sedimentos de solo, matéria orgânica, resíduos de agrotóxicos e minerais ocasionados por escoamento de solo com água, acumulando partículas mais pesadas sobre áreas de corpos hídricos, causando poluição, morte de Áreas de Preservação Permanente, resultando em grande impacto ambiental.

5.2.2.1 Tipo e volume de tráfego

O tráfego, nas áreas rurais é composto de automóveis, caminhões e, em certas regiões, de máquinas agrícolas de tração própria. Esse tráfego abrange as viagens entre cidades, vilas, ou agrupamentos rurais, ou entre propriedades e o campo.

Entre as propriedades e o campo o tráfego é muito variável, dependendo do tipo de aproveitamento do solo, nas áreas adjacentes à estrada, e é mais intenso na época de semeadura, manutenção e colheita.

No trecho da estrada, objeto do experimento, o tráfego é considerável visto que essa estrada deve estar adequada para suportar, também, a passagem de “treminhões” que transportam as cargas de cana-de-açúcar, bem como das máquinas agrícolas ligadas ao setor sucroalcooleiro.

5.2.2.2 Perfil longitudinal (greide)

As inclinações longitudinais deste trecho de estrada são variáveis de 1 a 8%, não excedendo este limite; assim, no trabalho corretivo, ajustou-se ao relevo para uma melhor integração com a paisagem, atingindo o mesmo nível de superfícies planimétricas de áreas adjacentes.

5.2.2.3 Abaulamento da seção transversal da pista de rolamento

No trecho da realização deste trabalho a inclinação da seção transversal da pista de rolamento e ficou da faixa de 4%. O objetivo dessa inclinação é promover a adequada drenagem da plataforma, encaminhando as águas superficiais para os dispositivos destinados a recebê-las evitando, desse modo, o acúmulo de águas sobre a pista. Tal procedimento é de vital importância para as estradas rurais, uma vez que proporciona uma maior perenização do seu leito, conforme se representa na figura abaixo.

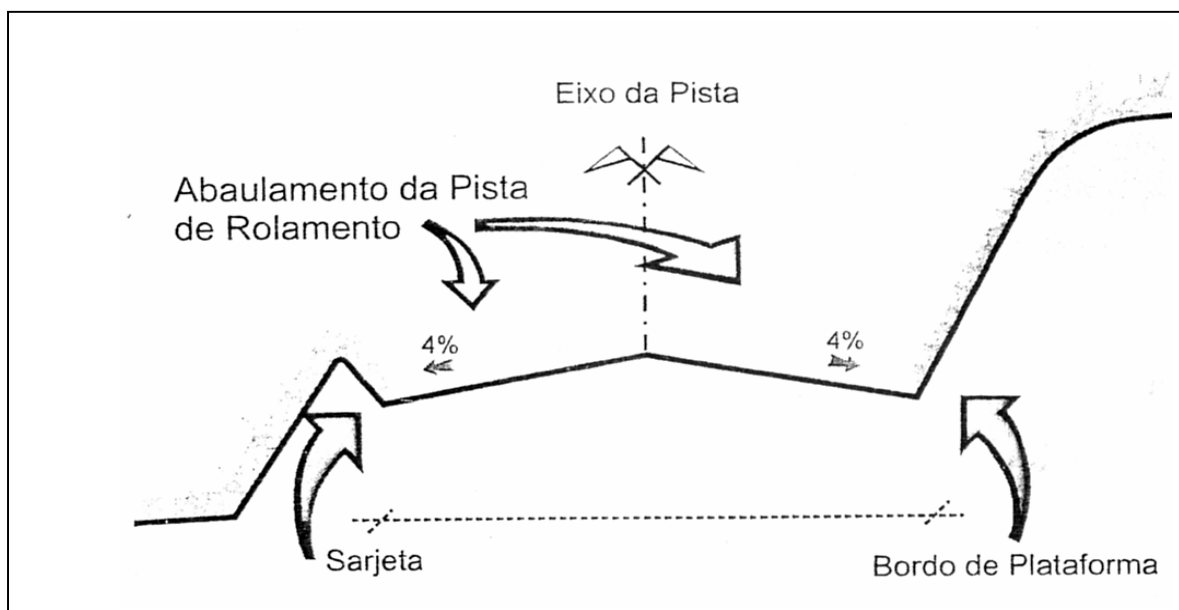


Figura 21: Mostra a importância do abaulamento

Fonte: CODASP, São Paulo.

5.2.2.4 Seção transversal da plataforma e elementos contribuintes

A largura da pista de rolamento da estrada, em função de sua importância para o tráfego que ocorre na região e da largura padrão dos veículos, foi configurada para duas faixas de tráfego para possibilitar encontro e ultrapassagem de veículos, conforme se pode verificar na figura 21 página 49 que mostra a importância do abaulamento, para sua drenagem de águas superficiais para dispositivos de condução de águas.



Figura 22: Mostrando a secção transversal da plataforma da PLA – 06 já pronta.

5.2.2.5 Melhorias na plataforma da secção transversal

A primeira atividade realizada para a correção do trecho da estrada PLA-06 foi a terraplanagem de sua plataforma, segundo os gabaritos estabelecidos no projeto de adequação. Para tanto, executou-se uma série de serviços destinados a promover melhoramentos e elevar o padrão deste trecho de estrada, tais como: remoção e recolocação de cercas, serviços de destoca e limpeza do terreno, corte e recuo do horizonte A, abatimento de taludes e aterros, compactação para desenvolvimento e um greide, em conformidade com os níveis dos investimentos pretendidos e contenção do escoamento superficial das águas do leito da estrada, bem como das áreas adjacentes, para locais de captação das mesmas.

Esse sistema de drenagem foi integrado às práticas conservacionistas que já estavam implantadas nas áreas adjacentes.



Figura 23: Mostrando a operação de corte de taludes do horizonte Bt e recuo do Horizonte A na PLA – 06.



Figura 24: Mostrando a situação obtida da PLA – 06 após o processo de intervenção planejado, e recuo do horizonte A em forma de murundu.



Figura 25: Focalizando a pista abaulada da estrada já com plenas condições de drenagem na PLA-06.

5.2.2.6 A construção dos terraços

5.2.2.7 Construção de dispositivos de drenagem através de terraços embutidos em desnível, com gradiente

Conforme as técnicas recomendadas por LOMBARDI NETO (1994) foram construídos, nesta área, terraços em desnível em que a drenagem com gradiente tem a função de interceptor para o escoamento do excesso das águas superficiais.

Esta técnica é indicada para solos cuja permeabilidade é lenta ou moderada, como é o caso do trecho de estrada submetido ao processo de correção.

5.2.2.8 Forma utilizada para a construção dos terraços

Utilizou-se o sistema de terraços embutidos, caracterizado por ser construído de modo que o canal tenha formato triangular fazendo com que o talude, que separa o canal do camalhão, fique praticamente vertical.



Figura 26: Mostrando terraços embutidos com secção triangular do canal, construídos no local da área adjacente da PLA – 06.

5.2.2.9 Espaçamento entre os terraços embutidos

O espaçamento entre os terraços embutidos foi calculado em função da capacidade de infiltração de água no solo, da resistência que o solo apresenta contra a erosão e do uso e manejo do solo. Os terraços foram construídos em desnível e, nos espaços entre os terraços, colocou-se vegetação para facilitar a infiltração das águas e dificultar o escoamento superficial das mesmas.

Foram utilizadas as equações propostas por LOMBARDI (1994) para determinar o espaçamento vertical e horizontal entre os terraços, ou seja:

$$\text{Para o espaçamento vertical: } EV = \frac{0,4518 K D^{0,58} (\mu + m)}{2}$$

Onde:

EV = espaçamento vertical entre terraços, em m

D = declive do terreno em porcentagem = 7%

K = índice variável para cada tipo de solo = 0,90

μ = fator de uso do solo = 1,75

m = fator de manejo do solo (preparo do solo e manejos de restos culturais) = 2,00

$$\text{Para o espaçamento horizontal: } EH = \frac{100 EV}{D}$$

Onde:

EH = é o espaçamento horizontal entre terraços em metros

EV = é o espaçamento vertical entre terraços em metros

D = é a declividade expressa em porcentagem

5.2.2.10 Dimensionamento utilizado para os terraços

Os terraços embutidos foram construídos com equipamento do tipo trator de esteiras FIAT AD7-D, com pequeno gradiente de 1,0%, com a finalidade de reter,

infiltrar e escoar, lentamente, a parcela excessiva das águas das chuvas lançadas no solo, de forma a minimizar o poder erosivo das vazões.

A secção transversal foi dimensionada em função do volume de água possível de ser escoada pela superfície do terreno e foi localizada imediatamente acima do terraço. Estes foram locados com gradientes com declividade e mantidos com as pontas abertas para que o excedente das águas seja recolhido pela bacia de retenção.

A dimensão dos canais desses terraços embutidos é de 3,08 m com profundidade de 30 cm real de corte no solo; as águas de enxurradas são conduzidas a uma velocidade de 0,60 m/s; a altura do camalhão é de 88 cm e sua secção transversal é de 9,05 m, conforme representado na figura abaixo.

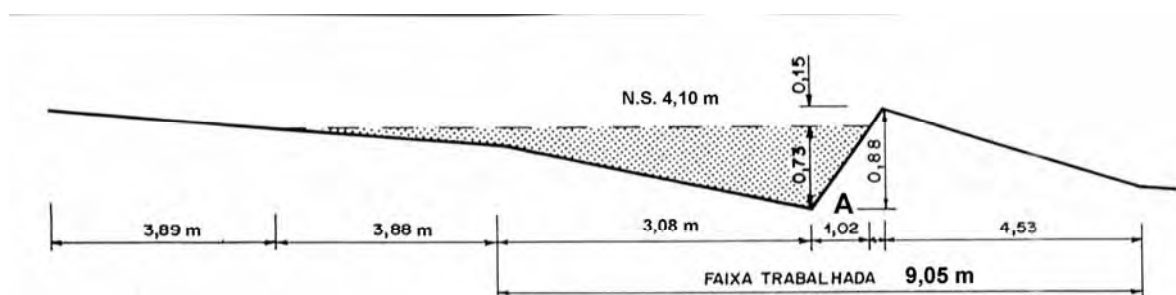


Figura 27: Mostra secção transversal típica do terraço embutido construído na área de estudo.

O processo mais simples para o cálculo da vazão máxima de escoamento superficial é o método racional, expresso pela equação:

$$Q = \frac{c \cdot I_m \cdot A}{360}$$

Onde:

Q = enxurrada em metros cúbicos por segundo, $m^3 \cdot s^{-1}$

c = coeficiente de escoamento superficial adimensional

I_m = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, $mm \cdot h^{-1}$

A = área da bacia de drenagem, ha

Tabela 9: Vazões dos canais dos terraços para velocidade da enxurrada de $0,60 \text{ ms}^{-1}$

Profundidade do canal	Largura do Canal (m)						Limite do gradiente (m/1.000)
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	
(cm)	m^3/s						
5	0,022	0,033	0,044	0,055	0,066	0,077	25,0
10	0,041	0,061	0,082	0,103	0,123	0,143	10,0
15	0,060	0,092	0,122	0,152	0,182	0,213	4,5
20	0,080	0,120	0,162	0,202	0,243	0,283	2,7
25	0,103	0,154	0,205	0,254	0,305	0,354	2,4
30	0,125	0,185	0,246	0,306	0,367	0,427	1,4

Fonte: Bertoni, J. & Lomardi Neto

Tabela 10. Dimensionamento de canal de terraço em nível.

SOLO	CHUVA MÁXIMA DIÁRIA m	c	EH m	VOLUME m^3/m	SEÇÃO DO CANAL
A	0,12	0,4	25	1,20	1,20
B	0,12	0,5	22	1,32	1,32

Tabela 11. Dimensão do canal do terraço com gradiente.

SOLO	INTENSIDADE MÁXIMA DA CHUVA mm	c	ÁREA 500m X 20m ha	$Q = \frac{cIA}{360}$ m^3/s	SECÇÃO DO CANAL	
					V=0,6m/s	V=0,75m/s
C	120	0,6	1	0,20	0,33	0,27
D	120	0,7	1	0,23	0,38	0,31

Fonte: Lombardi Neto

Onde:

c = coeficiente de escoamento superficial adimensional

Q_{\max} = vazão máxima de escoamento superficial, adimensional, $m^3 s^{-1}$

I_m = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, $mm h^{-1}$

A = área da bacia de drenagem em ha

S = secção do canal em m^2

V = velocidade em m/s

Utilizando-se os dados da Tabela 11, como exemplo, encontra-se as dimensões dos canais de terraços, com gradiente, conforme estão representadas na tabela 12, abaixo.

Tabela 12. Dimensões dos canais de terraços com gradiente.

SOLO	Q	Velocidade 0,6m/s		Velocidade 0,75m/s	
		profundidade	largura	profundidade	largura
	m^3/s	m	m	m	m
C	0,20	0,25	2,00	0,20	2,00
D	0,23	0,25	2,26	0,15	3,00

Fonte: Lombardi Neto & Bellinazzi Junior

5.3 Construção das bacias de captação

5.3.1 Sistema de bacias de captação e retenção no segmento de terraços embutidos com gradiente na extremidade

No projeto, as bacias de captação e infiltração, foram previstas nas pontas dos segmentos de terraços embutidos em desnível, com a função principal de aproveitar racionalmente as águas das chuvas para reduzir, ao mínimo, as perdas de solo por enxurradas, bem como para dar, às áreas trabalhadas, a segurança de conservação permanente.

O cálculo de vazão das águas se processou nos moldes tradicionais, levando-se em conta a precipitação pluviométrica e a área livre de exposição, que compreende a faixa da estrada e a área de contribuição.

No uso desta tecnologia atentou-se para captar as águas das chuvas na estrada e as águas das enxurradas provenientes das áreas adjacentes, à faixa da estrada, em bacias de captação e retenção objetivando a segurança das próprias bacias implantadas. Por isso, no trecho da estrada – objeto do experimento – as bacias foram construídas nas pontas dos terraços e os leitos deles foram vegetados com gramíneas para se reduzir a velocidade das águas e ajudar a infiltração delas no solo. A locação das bacias foi feita em função dos terraços, pois estão associadas ao espaçamento dos mesmos.

5.3.2 Dimensionamento das bacias de captação

O volume de água captado pela estrada foi calculado considerando-se uma seção de comprimento C, largura L e água altura I, com base em uma precipitação máxima de 110 milímetros por hora.

Foram utilizadas as curvas de precipitação máxima em 24 horas, para período de retorno de 10 anos, conforme isoietas (Fonte: SCC/IAC)

A definição do espaçamento entre bacias e suas dimensões (raio) foi em função dos parâmetros de precipitação máxima em 24 horas, largura da estrada, tipo de solo e declividade do terreno.

O volume estimado a ser captado na seção foi estimado segundo a seguinte fórmula: $V = C L I$

Onde:

V = volume em m³

C = comprimento da estrada (espaçamento entre bacias em metros)

L = largura da estrada em metros (considerar área de contribuição dos taludes + leito carroçável)

I = precipitação máxima em 24 h, em mm.

5.3.3 Cálculo do volume das bacias

Conforme recomendação de BERTOLINI (1993), as bacias de captação e retenção que foram utilizadas nas pontas dos terraços com gradiente têm a forma de semicírculo e o cálculo do volume das mesmas foi feito segundo a seguinte fórmula:

$$C = \frac{R^2}{L I}$$

Onde: C = Volume da bacia

R = Raio da Bacia

L = Largura da estrada em metros

I = precipitação máxima em 24 horas em mm

5.3.4 Declividade da estrada

Considerou-se a declividade média da estrada em 7% que, embora não contribua muito com o aumento do volume de água, determinou variações na velocidade da mesma. Por esse motivo houve reduções no espaçamento entre as bacias.

Declividade Média	Fator de Correção (fd)
0 – 5%	1
5 – 10%	1/2
10 – 15%	1/3
15 – 20%	1/4

Tabela 13: Agrupamentos de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão.

Principais Características							
Grupo	Grupo de Resistência à erosão	Profundidade (1)	Permeabilidade (1)	Textura (1)	Razão textural (2)	Grandes grupos de solos	K Índice
A	Alto	Muito profundo (> 2,0 m) ou profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Moderada/rápida	Média/ Média/ M. argilosa / M. Argilosa Argilosa /argilosa	<1,2	LR, LE, LV, LVr, LVt, LH, Lea e LVa	1,25
B	Moderado	Profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Rápida /Moderada	Arenosa/arenosa Arenosa/ Média Arenosa/ argilosa Média/argilosa Argilosa/ M. argilosa	1,2 a 1,5	Lj, LVP, PV, PVL, Pln, TE, PVls, R, RPV, RLV, LEa ⁽³⁾ e LVa ⁽³⁾	0,90
C	baixo	Profundo (1,0 a 2,0 m) Moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m)	Lenta/rápida Lenta/moderada Rápida/moderada	Arenosa/ média ⁽²⁾ Média/ argilosa ⁽²⁾ Arenosa/ argilosa Arenosa/ m.argilosa	>1,5	PmL,PVp,PVLs, Pc e M	0,90
D	Muito baixo	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m) Ou raso (0,25 a 0,50 m)	Rápida/moderada Ou Lenta sobre lenta	Muito variável	Muito variável	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac-e PVp (raso)	0,75

(1) Média da porcentagem de argila do horizonte B (excluindo B3) sobre média da porcentagem de argila de todo horizonte A;

(2) Somente com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B

(3) Somente aqueles com horizonte A arenoso.

Fonte: Francisco Lombardi neto, 1994.

5.3.5 Fórmula para o cálculo do espaçamento entre bacias

Considerando correções relativas, declividade e tipo de solo, temos a seguinte fórmula para calcular o espaçamento das bacias:

$$C = \frac{r^2 f_d f_s}{L I}$$

Onde:

C = espaçamento entre bacias em metros

r = raio da bacia em metros

L = largura da estrada em metros

I = intensidade máxima de chuva em 24 h, em metros

f_d = fator de correção para declividade

f_s = fator de correção para tipo de solo

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Seleção da estratégia de intervenção técnica e equipamentos

O modelo de intervenção técnica adotado no trabalho corretivo é próprio para trechos de estradas que possuem seu leito encaixado no terreno, levando em consideração forma e altura dos taludes, ausência de sistema de drenagem eficiente e dificuldades de infiltração de água no solo, como é o caso do trecho da PLA-06, objeto deste trabalho.

A tecnologia adotada para a correção da plataforma da estrada encaixada no terreno, com taludes de corte que variavam de 1 a 6 m de altura, com condições edáficas de infiltração moderada a lenta e textura subsuperficial média, topografia pouco acidentada e áreas marginais utilizadas com culturas perenes e áreas de pastagem, foi a de abatimento dos taludes, elevação do leito da pista de rolamento e recuo do Horizonte A, mantendo-se a superfície planialtimétrica no mesmo nível das áreas adjacentes.

O gráfico da página 64 (figura 28) mostra a situação final pretendida para a área da estrada PLA-06, após correção com o uso de tecnologia convencional.

Tratores de esteiras com lâmina frontal modelo FIAT AD-7D, motoniveladora HUBER-WARCO 120B e pá carregadeira VOLVO 76 C foram os equipamentos utilizados para as operações de: corte/recuo do horizonte A, escavação, transporte da carga do material escavado, descarga e espalhamento, inclusive de 12% para a camada superficial seca e de 25% para as camadas sub-superficiais secas, conforme se pode observar na figura 23, à página 51.

As inclinações longitudinais deste trecho de estrada rural foram ajustadas ao relevo para uma melhor integração com a paisagem e foram adotadas rampas menores que 8% de declividade.

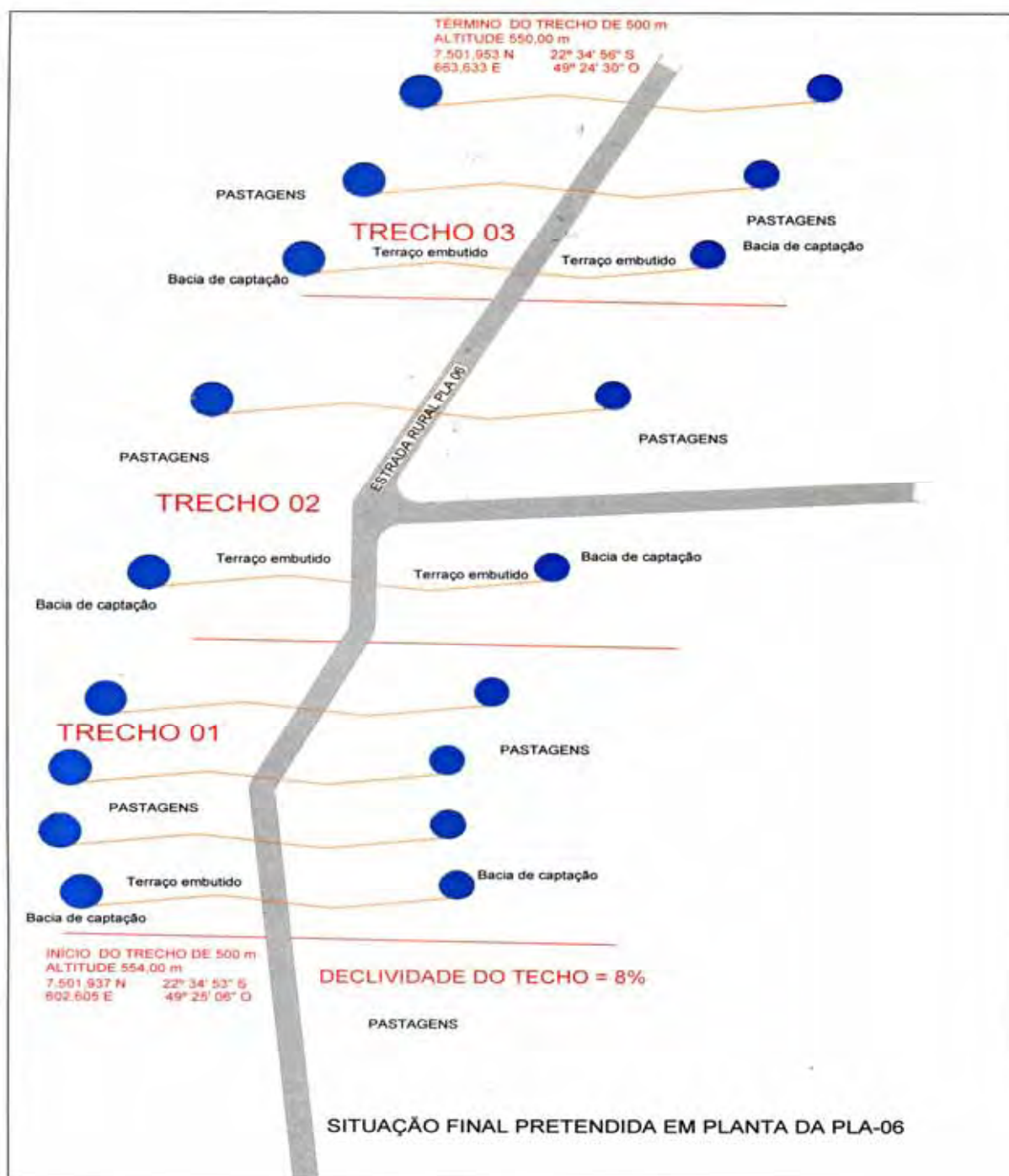


Figura 28: Situação final pretendida usando-se tecnologia convencional no trecho da estrada PLA-06.



Figura 29: Mostrando os equipamentos em operação para recuo e corte de taludes com elevação do greide no leito da PLA-06.

6.1.1 Abaulamento da secção transversal da pista de rolamento no trecho da estrada, constante do projeto

Nas tangentes, a inclinação da secção transversal da pista de rolamento, do trecho da PLA-06 foi mantida em 4%, com o objetivo de corrigir a drenagem das águas pluviais da plataforma, encaminhando-as aos dispositivos de drenagem desenvolvidos para recebê-las evitando-se, assim, acúmulo na pista, como se pode observar na figura 30 à página 66.

Os elementos que foram considerados constituintes da secção transversal foram: a) Acostamento (espaço adjacente à faixa de tráfego destinada à parada emergencial de veículos) com largura 1,5 m. de cada lado; b) Eixo da estrada (a estrada propriamente dita) projetado no plano horizontal da secção transversal; c) Rampa de corte (superfície lateral que resultou na conformação da secção de corte); d) Taludes (as formas de

caracterizar a inclinação da “saia” do aterro), para os quais se adotou a relação 1:5 (V:H) na rampa de corte; e) Plataforma (a porção da estrada compreendida entre os bordos externos dos acostamentos incluindo as sarjetas); f) Sarjetas (pequenas valetas laterais executadas ao longo dos bordos da plataforma onde a secção transversal apresenta-se sem corte).



Figura 30: Mostrando a situação final de adequação do leito da PLA - 06, com elevação do greide da pista e dispositivos de drenagem.

A cada camada de 0,2 m, de material de solo depositado para elevação do greide da pista, realizou-se a compactação do solo com rolo compactador vibratório objetivando-se boa capacidade de suporte para dificultar a infiltração de água nestas áreas e diminuir o arrastamento de solo.

Nesta secção transversal da plataforma (largura da pista de rolamento) foi adotado o critério de largura padrão de 10 m em função da largura dos veículos que a utilizarão.

A superfície da pista foi compactada para restringir a infiltração de água, levando a um aumento das taxas de escoamento superficial. Dessa forma, houve interferência nos padrões naturais de drenagem nos comprimentos de rampa. Os cortes realizados, a conformação da nova plataforma e as subseqüentes movimentações de terra modificou, no local, o fluxo das águas superficiais e subterrâneas, conforme mostra a foto a seguir.



Figura 31: Mostrando o abaulamento transversal do trecho da estrada PLA-06, objeto de processo de intervenção corretiva.

6.1.2 Serviços de drenagem e técnicas utilizadas

Como as áreas de corte e aterros estarão sujeitos a intempéries, e suas superfícies a processos erosivos, utilizou-se um sistema de drenagem de águas pluviais,

chamado “superficial”. Considera-se que esse sistema de drenagem, no projeto de controle de erosão, é o mais importante do sistema de adequação de estradas rurais.

Esta estrada rural, se revestida e não contemplada com a devida implantação de adequados dispositivos de drenagem, estará com sua plataforma seriamente comprometida, na primeira chuva que ocorrer.

Foram levados em conta fatores climatológicos, topográficos, geológicos, tipo de solo, susceptibilidade a erosão, infiltração de água, contribuição de áreas adjacentes no escoamento superficial, em função do traçado da estrada.

O trecho da estrada, antes da intervenção, apresentava um comprimento de rampa longo de 500 m sem sangradouros laterais; somente uma sangra lateral nas margens da sarjeta por onde carreava solo e água, com agressões impactantes no manancial de abastecimento da comunidade. Desse modo as águas eram inadequadamente conduzidas afetando a capacidade de uso da via, havendo no seu leito areiões de baixada, depressões, trilhamentos, erosões, com rompimentos de bordos.

As intervenções corretivas adotadas para obtenção de uma boa drenagem para este trecho de estrada foram: a) conduzir, com segurança, toda a água que cruza a plataforma da estrada para dispositivos de segmentos e bacias de captação; b) remover da pista toda a água sem danificar a estrada ou sua estrutura, o mais rápido e seguidamente possível; c) reduzir a velocidade das águas, bem como a distância de rampa a ser percorrida por elas; d) adotar um sistema de plataforma cuja largura e altura dos cortes produzissem o mínimo de perturbações; e) utilizar drenagens transversais – chamados desviadores de fluxo – para a mais rápida remoção das águas; f) usar gramíneas para revestir as áreas de corte dos taludes e as áreas marginais para diminuir o carregamento de solo; g) construir dispositivos para escoamento das águas superficiais para que elas fossem conduzidas a local de drenagem natural ou contidas em bacias de captação e terraços embutidos com gradiente.

Essas intervenções de drenagem superficial integraram-se às práticas conservacionistas existentes nas áreas agrícolas adjacentes ao trecho trabalhado, como vegetação com gramíneas para melhorar a infiltração de água no solo e conter arrastamento de solo evitando-se, assim, a deposição de resíduos dentro dos canais dos terraços e das bacias de captação.

O planejamento de sistema de terraços embutidos com gradiente foi eficiente no controle da erosão, na área do experimento, porque se considerou: a natureza do solo (principalmente textura, permeabilidade e erodibilidade); a área de contribuição a montante; o regime pluviométrico na região; o comprimento de rampa da estrada e sua declividade e a construção de escoadouros artificiais (bacias de captação e retenção).

6.1.3 Segmentos de terraços embutidos com gradiente

Essas correções dos dispositivos de drenagem permitiram armazenar, infiltrar e conduzir as águas pluviais, vindas da plataforma da estrada rural PLA-06, para as bacias de captação evitando-se o seu deságüe diretamente nas áreas de plantio, por onde haveria infiltração no solo com abastecimento do lençol freático e perdas superficiais de solo, por escoamento.

O sistema de drenagem adotado integrou-se a práticas vegetativas com gramíneas do gênero *Brachiárias*, que promovem boa cobertura e revestimento do solo, produzindo bons efeitos de infiltração e interceptação as águas advindas das chuvas. Daí que, quanto maior for a porcentagem de cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, no local, menor o escoamento superficial das áreas de contribuição. As três fotos, a seguir, mostram aspectos da vegetação no local.



Figura 32: Mostrando terraço vegetado embutido com gradiente, construído no local da estrada PLA-06.



Figura 33: Mostrando outro aspecto de terraço vegetado, embutido com gradiente drenando as águas da PLA - 06.



Figura 34: Mostrando mais um aspecto de terraço vegetado, embutido com gradiente ao lado da PLA - 06.

Constatou-se resultado satisfatório com o revestimento, com gramíneas, dos canais dos terraços, bem como dos seus camalhões, pois houve diminuição de arrastamento de solo e de erodibilidade. Entretanto, como essa prática de construção de terraço embutido foi implantada, no local, em complementação ao desviador de fluxo das águas, ao longo do tempo será necessária manutenção constante para se retirar o excesso de assoreamento que se acumula no início dos canais.

Na construção destes terraços, usou-se equipamento motomecanizado: trator de esteiras Modelo FIAT AD7-B com rendimento de 80 m lineares por hora, com secção de canal $3,08 \text{ m}^2$ e largura de 7,50 m com cinco operações básicas (escavação, carga do material escavado, transporte, descarga e espalhamento).



Figura 35: Mostrando terraço embutido pronto, construído no trecho da estrada PLA-06.

O espaçamento entre os terraços embutidos foi calculado em função: da capacidade de infiltração de água no corpo do solo, da resistência que o solo oferece contra a erosão e do uso e manejo do solo.

Foram construídos em desnível de 1%, e o espaço, entre os terraços e as áreas adjacentes, foi vegetado para promover a infiltração de água no solo, e diminuir o escoamento superficial seguido de arrastamento de solo.

Aplicaram-se as equações de LOMBARDI (1994) para o cálculo do espaçamento vertical e horizontal em solos de tipo argissolo vermelho distrófico abrupto, de textura arenosa, ou seja:

6.1.3.1 Para o espaçamento Vertical

$$EV = 0,4518 K D^{0,58} \frac{(u + m)}{2}$$

$$EV = 0,4518 0,90 7^{0,58} \frac{(1,75 + 2,0)}{2}$$

$$EV = 2,90 \text{ m}$$

Onde: EV = espaçamento vertical entre terraços em metros

D = declive do terreno em porcentagem – 7%

K = índice variável para este solo – 0,90

u = fato de uso deste solo – 1,75

m = fator de manejo do solo – 2,0

6.1.3.2 Para o espaçamento horizontal

$$EH = \frac{100 EV}{D}$$

$$EH = \frac{100 \cdot 2,90}{7} = 41,42 \text{ mt}$$

Onde:

EH = espaçamento horizontal em metros

EV = espaçamento vertical

D = declividade do local expressa em porcentagem – 7



Figura 36: Mostrando os novos terraços embutidos com gradiente nas áreas adjacentes da PLA – 06, e com detalhe o desviador de fluxo.

6.1.4 Dimensões dos terraços construídos na área

Os terraços embutidos com gradiente que se construiu no trecho da estrada PLA-06, objeto do experimento, e em suas áreas adjacentes possuem comprimento de 100 m. A secção de canal é de $3,08 \text{ m}^2$ e a largura da secção transversal 9,05 m, calculado em função da água escoada na rampa do greide da pista e áreas adjacentes entre terraços. Suas pontas possuem vegetação com gramíneas para minimizar efeito de erodibilidade do solo, na passagem da água do canal para a bacia de captação. Considerando a erodibilidade deste solo ($\text{Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1} = 0,0405$), a área em torno ao trecho de estrada, objeto do experimento, é de 50 ha.

Após o término do período de verão, observou-se que a estrutura física dos terraços se manteve uniforme sem destruição dos camalhões e houve assoreamento só no início do canal, próximo ao desviador de fluxo.

A velocidade da água na secção do canal é projetada para 0,60 m., mas a vegetação de gramíneas, presente na área, reduz essa velocidade contribuindo cerca de 1% de gradiente para a diminuição do processo erosivo, o que é um resultado satisfatório.

6.1.4.1 Uso do método racional para cálculo da vazão máxima

Utilizou-se a equação proposta por LOMBARDI NETO et al. (1994) para o cálculo de vazão máxima, na área:

$$Q_{\max} = \frac{C \cdot I_m \cdot A}{360}$$

Onde: Q_{\max} = vazão máxima de escoamento superficial, $m^3 \cdot s^{-1}$

I_m = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, $mmh^{-1} = 1,69 \text{ mm/h}$

A = área da bacia de drenagem, $ha = 50 \text{ ha}$

C = coeficiente de escoamento superficial = 0,70

$$Q_{\max} = 0,164 \text{ m}^3/\text{s}$$

As pontas dos terraços foram vegetadas com gramíneas para diminuir o efeito abrasivo sobre o solo e diminuir a erodibilidade nos pontos de escoamento em que o fluxo da enxurrada tem sua velocidade reduzida adentrando para o interior da bacia de captação, na qual parte da água é infiltrada no solo e parte é evaporada para a atmosfera.

Estes dispositivos de drenagem foram executados simultaneamente aos serviços de conformação final da plataforma no trecho da estrada e foram revestidos com grama. Assim, a água da chuva que cai na superfície do solo, parte se infiltra e o excedente escoar pela superfície do leito da estrada e é recolhida pelo terraço em desnível que dará a vazão do deflúvio superficial de forma disciplinada, sem causar problemas de erosão.

As áreas entre os terraços construídos – chamadas áreas adjacentes – foram revestidas com o material de recuo e revegetadas com sementes de gramíneas para promover a infiltração de água.

Quando a chuva excede a capacidade de infiltração do solo, o excesso de água escoar sobre a superfície do terreno e é colhida pelos canais dos terraços em gradiente

sem causar danos ao meio ambiente a jusante como: represas, ribeirões, nascentes e áreas de APP.

No caso do trabalho executado no trecho da Estrada PLA-06 o volume da enxurrada máxima depende da intensidade das chuvas que poderão ocorrer. Com base em observações e das características da bacia hidrográfica, da declividade, do solo, da cobertura vegetal existente determinou-se, na área do projeto, a proporção com que as águas das chuvas penetram no perfil deste solo e a velocidade de seu escoamento.

Para que o terraceamento resista à maior chuva, que já ocorreu no local, foi determinado o período de retorno de 10 anos, utilizando cartas de isoietas de chuvas diárias de 24 horas máximas, com duração de 6 dias ou 144 horas ou lâmina de 245 mm.

6.1.5 Construção das bacias de captação e retenção

Estes dispositivos foram construídos associados ao terraceamento nas pontas para a captação das águas superficiais oriundas da plataforma da estrada, áreas adjacentes e águas dos canais dos terraços, em função da drenagem lenta interna do horizonte B - textural que possui na sua composição granulométrica mais de 35% de argila, o que o classifica como solo mal drenado, com permeabilidade lenta. Em função da diferença textural entre horizontes A e B, o Horizonte A é raso e de textura arenosa, absorvendo o máximo da precipitação pluviométrica até atingir a capacidade de campo, e aí se inicia o escoamento superficial provocado pela má percolação de água no horizonte B.

O solo, na área do experimento, apresenta risco de erosão moderado com índices de 2 a 5 e pertence a classes de solos com perdas de 20 a 50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

O objetivo da construção das bacias de captação foi aproveitar racionalmente as águas das chuvas, reduzindo ao mínimo suas perdas por enxurradas e, ao mesmo tempo, dar às áreas trabalhadas a segurança de sua conservação permanente.

As bacias de captação foram locadas tecnicamente, em função do declive do local, da área de exposição, do tipo de solo, e da precipitação local para diminuir a erosão por escoamento de águas, em sulcos de erosão, como acontecia anteriormente nas áreas adjacentes.

Foram consideradas também as enxurradas das áreas adjacentes provenientes dos espaços entre terraços, além das provenientes da plataforma da estrada, do comprimento de rampa, entre desviadores de fluxo, e terraços com gradiente.

As bacias construídas no local obedeceram a uma técnica própria em função das áreas de contribuição da secção trabalhada. No decorrer da estação chuvosa, as bacias de captação, locadas em pontos determinados, nas pontas dos terraços embutidos, armazenam as águas das chuvas que, por infiltração através dos horizontes do perfil do solo, iriam abastecer o lençol freático, aumentando o potencial dos mananciais a jusante do local, evitando o assoreamento que sempre ocorreu, anteriormente, nos locais das nascentes.

O espaçamento entre as bacias construídas são os mesmos dos terraceamentos embutidos com comprimento de 100 m e com 1% de gradiente no seu canal.



Figura 37: Mostrando bacia de captação com presença de água coletada no leito da estrada associada à ponta de terraço da PLA - 06.

6.1.5.1 Dimensionamento das bacias de captação e retenção

Para o cálculo do volume de água a ser armazenado dentro das bacias, conforme método utilizado por BERTOLINI (1993) foi considerado, no local do experimento, uma secção de comprimento (C), largura (L), e altura (I) com base numa precipitação máxima de 110 mm por hora e curvas de precipitação máxima de 24 horas para um período de retorno de 10 anos.

Segundo BERTOLINI (1993) as estradas rurais possuem o leito carroçável sem cobertura vegetal e o solo superficial se torna compactado de forma impermeabilizada pelo adensamento de material depositado na superfície. Isso faz com que haja um escoamento no sentido de maior declive com força destruidora e arrastadora de solo ocaiosando, nas áreas adjacentes a jusante, assoreamento de mananciais, quando atinge o eixo do talvegue, ou abertura de erosões tipo voçoroca.

As dimensões (raio) foram calculadas em função dos seguintes parâmetros: precipitação máxima em 24 horas, largura da estrada, tipo de solo e declividade do terreno.

O cálculo do volume armazenado foi baseado em curvas de isoietas de chuvas diárias (24 horas) máximas em milímetros, para período de retorno de 10 anos, conforme a seguinte fórmula:

$$V = C L I$$

Onde:

V = volume em m³

C = comprimento da estrada (espaçamento entre bacias) 41,42 mts

L = largura da estrada em m (consideramos a área de contribuição dos taludes e leito carroçável) 10 mts

I = precipitação máxima em 24 horas em mm (110)

Assim o dimensionamento das bacias foi calculado:

$$V = 41,42 \times 10 \times 110$$

$$V = 45,56 \text{ m}^3$$

Os equipamentos utilizados para construção foram tratores de esteira FIAT – AD – 7D e CATERPILLAR- D-6; o tempo necessário a sua execução e função do diâmetro da Bacia, do volume escavado e do tipo de solo.



Figura 38: Mostrando terraço embutido vegetado, com gradiente e com bacia de captação associada na extremidade da PLA - 06.



Figura 39: Mostrando terraço com gradiente e manejo do solo com vegetação em áreas adjacentes da PLA-06.



Figura 40: Mostrando ponta de terraço vegetado com gramíneas e com ligação para a caixa de contenção, vegetada, na área adjacente a PLA-06.



Figura 41: Mostrando terraço com gradiente em detalhe a ponta escoando água para a bacia de captação na PLA-06

Realizados os estudos sobre o processo da erosão hídrica e de como ele se verifica no trecho da estrada identificada como PLA-06 – selecionado para a intervenção corretiva –, foram realizados os testes sobre a qualidade do solo e a incidência das precipitações pluviométricas e, a partir desses dados, foram elaborados os projetos de intervenção para cada um dos segmentos desse trecho, levando-se em consideração suas características específicas.

6.1.5.2 Custo das operações de práticas mecânicas

Só depois disso foram iniciados os trabalhos de campo, patrocinados pelo Poder Público Municipal e cujos custos totais importaram em R\$21.880,00, conforme estão discriminados nas tabelas 13, 14 e 15.

**Tabela 14: Produção e construção de terraços embutidos com gradiente em 2,6 Km ,
secções e custos nas áreas marginais da PLA-06 .**

Tipo de terraço	Equipamento utilizado	Pot. (cv)	Marcha	Vel. (km/h)	Nº de passadas	Largura mt	Secção m²	Prod. (m/h) construção	Total horas em construção	Custo (R\$) hora/máquina	Custo (R\$) hora m.total
Embutido	Trator de esteiras	155	2ª	3,7	1- Levant. 4. Acab.	9,05	3,08	120	24	70,00	1.680,00
Embutido	Trator de esteiras	86	1ª	2,5	1- Levant. 4. Acab.	9,05	3,08	80	10	100,00	1.000,00
TOTAL											2,680,00

Fonte: Codasp (1994) Manual Técnico de Moto-mecanização Agrícola

Tabela 15: Produção e construção de bacias de captação: operações e custo

Diâmetro da Bacia					
Equipamentos	Marca	12 m	Quantidade	Custo hora máquina (R\$)	Custo total (R\$)
			horas p/ construção bacias		
Trator de Esteiras 86CV	FIAT AD=7B	3,0	45	70,00	3.150,00
155 CV	Caterpillar D-6	2,0	8	100,00	800,00
TOTAL: 3.950,00					

Tabela 16: Reconstrução de 500 m do leito da estrada PLA-06: operações e custos

Tipo de Estrada	Equipamento utilizado	Pot. (cv)	Marcha	Vel. (km/h)	Nº de passadas	Largura de faixa de corte	Largura de plataforma aterro	Largura de corte taludes	Produção m/h	Total horas	Custo (R\$) hora m.total
Reco do horizonte A e retorno	Trator esteiras FIAT-AD-7D	150	2ª	3,7	2	40	—	—	100	40	2.800,00
Abatimento de taludes	Trator esteiras FIAT-AD-7B	150	1ª	3,7	5	--	10	30	150	110	7.700,00
Abaulamento da pista	Motoniveladora Caterpillar 120 B	190	3ª	3,7	6	--	10	—	600	15	1.050,00
Compactação das camadas de 20 x 20 cm	Rolo compactador vibratório	90	3ª L	5,5	30	--	10	—	1000	40	2.400,00
Espalhamento e regularização da pista com cascalho	Motoniveladora Caterpillar 120 B	190	3ª	6,0	4	--	10	—	600	10	700,00
Revestimento primário cravamento material granular	Rolo compactador liso	110	3ª L	6,0	7	--	10	—	1000	10	600,00

TOTAL: 15.250,00

Fonte: Codasp (1994) Manual Técnico de Mecanização Agrícola

Custos totais da intervenção da plataforma correção do leito (R\$ 15.250,00) + construção das bacias de captação (R\$ 3.950,00) + construção de terraços embutidos (R\$ 2.680,00). Somam total de R\$ 21.880,00.

7 CONCLUSÕES

Ao final da pesquisa teórica e da realização do experimento, algumas considerações finais parecem ser importantes:

1ª) As frações granulométricas e a estabilidade dos agregados do solo – após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelo homem, especialmente nas suas atividades agrícolas, eventualmente desencadeadoras de processos erosivos – comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da transeção de uma estrada.

2ª) A metodologia de intervenção corretiva utilizada, neste trabalho, para o controle da erosão no trecho da estrada, anteriormente identificada, apresentou resultados positivos para a contenção das águas pluviais e diminuição do assoreamento a jusante em áreas de recursos hídricos.

3ª) As práticas de construção de terraços embutidos associados a bacias de captação e retenção só foram eficientes, no controle da erosão da estrada, quando complementadas com a vegetação do solo, entre os terraços, para diminuir o assoreamento destes dispositivos.

4ª) O sistema de drenagem utilizado foi adequado e constituiu o aspecto mais importante do projeto de intervenção corretiva, no trecho da estrada em que se trabalhou, pois eliminou o assoreamento a jusante em nascentes, córregos e áreas de APP.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONANGELO, A.; FENNER, P.T. **Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS**. 2005. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

BASTOS, C.A.B. **Estudo geotécnico sobre erodibilidade de solos residuais não-saturados**. 1999. 256 f. Tese (Doutorado em erodibilidade de solo usando canais hidráulicos e simuladores de escoamento), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BERTOL, I. et al. **Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas ao campo nativo**. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, vol 28, nº 1, 1998.

BERTOLINI, B. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 37 p. (Boletim Técnico, 207)

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**: Uso em manejo e práticas conservacionistas. 1. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1990. 393 p.

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. ; BENATTI JR, R. **Equação de perdas de solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas e IAC, 1975. 25 p. (Boletim Técnico, 21).

BRAGA, J.C. **Modelo hidrológico de parâmetros distribuídos para obtenção do hidrograma de escoamento superficial**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Escoamento Superficial – Hidrograma e Hidrologia) Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

BRANDÃO, V.S. ; SILVA, D.D. ; PRUSKI, F.F. **Escoamento superficial: fatores que intervem no escoamento superficial, método racional e coeficiente de escoamento.** Viçosa: Editora UFV, 2003. 88 p.

BRYAN, R.B. **The development, use and efficiency of indices of soil erodibility.** Geoderma, v. 2, p. 5-26, fev, 1978.

CAVARSAN, E.A. **Utilização do geoprocessamento na prevenção e estratégias de combate a incêndios florestais no município de Cabrália Paulista.** 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado em Uso de Estratégias de Combates a Incêndios Florestais) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

DEMARCHI, L. C. **Adequação de estradas rurais.** Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, jul. 2003, 64 p. (Manual Técnico, 77)

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** 1990. 113 f. Tese (Doutorado em Erodibilidade de Solo). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Sistema brasileiro de classificação de solos,** Rio de Janeiro, RJ, 1999, 412 p.

EMMERICH, W. ; MARCONDES, M.A.P. **Algumas características do manejo de bacias hidrográficas.** São Paulo: Instituto Florestal, fev. 1975, 24 p.

FERREIRA, V.A. ; SMITH, R.E. **The limited physical basis of physically based hidrologic models.** In: ASAE, E.D. Modeling Agricultural, Forest and Rangeland Hidrology. Chicago, 1998, p. 10-18.

FORSTER, G. R. **Modelling soil erosion and sediment yield.** Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988, p. 97-117.

GONÇALVES, A. C. A. ; FOLEGATTI, M. V. ; MATA, J. D. V. **Análise exploratória e geoestática da variabilidade de propriedades físicas de um argissolo vermelho.** Maringá, PR. *Acta Scientiarum*: 2001. v. 23, n. 5.

GRACIA, M.E.P.S. **Planejamento ambiental da microbacia do córrego soturninha.** 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Agroambiental, Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto). Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2001.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um latossolo vermelho amarelo-escuro, textura argilosa, na região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** 2000. 85 f. Tese (Doutorado em Variabilidade Espacial de Latossolo). Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

JAKOB, A. A. E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão.** 1999. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 1999.

KING, K.W. **Erodibility parameters influenced by long-term management practices.** ASAE, v. 38, n. 1, 1995, p. 159-164.

KRONKA, F.J.N et al. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo.** 1. ed. São Paulo, Instituto Florestal, 2005, 200 p.

LAFIEN, J.M. **Wepp soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils: Soil and Water Conservation,** 1991, v. 46, n. 1, p. 39-44.

LAL, R. **Erodibility and erosyivity. Soil erosion research methods:** Soil and Water Conservation. Ankeny, 1988, p. 141-160.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos:** Estatística descritiva de distribuição de frações granulométricas. 2. ed. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2003. 253 p.

LIBARDI, P. L. *et alli.* **Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

LOMBARDI NETO, F. ; BELLINAZZI, JR. ; LEPSH, T.F. **Terraceamento agrícola do Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Integral, 1994. 39 p. (Boletim Técnico, 206)

NOGAMI, J.S. ; VILLABOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos:** a erodibilidade é um dos fatores mais importantes para escolha do projeto para controlar erosões ao longo das rodovias. São Paulo, Editora VILLIBOR, 1995, 240 p.

NOGUEIRA, F.L. **Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz.** 2000. 84 f. Tese (Doutorado Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

ORTIZ, J.L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo.** 2003. 205 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo.** Curitiba, 1989, 306 p.

PEREIRA, S.B. **Desprendimento e arraste de solos em decorrência do escoamento superficial**. 2000. 81 f. Dissertação (Mestrado em Perdas de Solos em Erosão de Sulcos). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento de solos**. Jaboticabal, Editora FUNEP, 1993, 218 p.

PRUSKI, F.F. **Análises de precipitações extremas e de escoamento superficial para áreas agrícolas da região do Paraná**. 1990. 109 f. Trabalho de conclusão de tese (“Magister Scientie” em Drenagem Superficial e Escoamento Superficial), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

PRUSKI, F.F. **Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de canais de terraços**. 1993. 97 f. Tese (Doutorado em Conservação de Solo e Terraços). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993.

PRUSKI, F.F. ; SILVA, D. D. ; BRANDÃO, V.S. **Infiltração da água no solo: manejo de solos, percolação da umidade dos solos**. Viçosa: Editora UFV, 2003, 98 p.

SANTOS, A.R. ; PASTORE, E.L. ; JUNIOR, F..A. ; CUNHA, M. A. **Estradas vicinais de terra: estradas de terra – características técnicas essenciais**. 2. ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998, v. 2, 128 p.

WARRICK, A. W. ; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980, 179 p.

WISCHMEIER, W.H. ; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook Washington, DC: USDA, 1978, 58 p. (Handbook, 537)