

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

**Rui Donizete Casarin<sup>1</sup>; Eduardo Luiz de Oliveira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, ruicasarin@ig.com.br*

<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP*

### **1 RESUMO**

As estradas rurais de terra são estruturas viárias importantes para o desenvolvimento rural econômico e social da nação, sendo que a erosão provocada pelas águas das chuvas no seu leito e margens esta intimamente relacionada à má drenagem, tornando-se um dos principais fatores para sua degradação. Para que o sistema de drenagem funcione de forma adequada é necessário o conhecimento da erodibilidade, capacidade de infiltração de água no solo e adoção de práticas mecânicas de abatimentos de taludes com elevação do greide e interceptação de águas por meio de dispositivos de drenagem e captação. Neste artigo apresenta-se um modelo de drenagem por meio da construção de terraços embutidos com gradiente associados à bacia de captação em solos do tipo Argissolo Vermelho distrófico abrupto de textura arenosa a média, com base em técnicas de abatimentos de taludes, elevando seu leito transversalmente das estradas com desviadores de fluxo. As frações granulométricas (areia, silte, argila) e a estabilidade de agregados indicam que esse solo sob ação antrópica pode apresentar processos erosivos resultando em escoamento superficial com arrastamento de solos, assoreando mananciais e cursos d'água localizados abaixo das estradas proporcionando grandes impactos ambientais nos corpos hídricos. A redução destes problemas de erosão nestas estradas de terra está na adoção de medidas que intercepte águas do próprio escoamento do seu leito, bem como as águas pluviais vindas de áreas adjacentes da contribuição, que são coletadas e conduzidas para terraços embutidos e bacias de captação.

**UNITERMOS:** erosão em estradas rurais, infiltração de água no solo, práticas mecânicas de conservação de solo, contenção de águas pluviais.

### **CASARIN, R. D.; OLIVEIRA, E. L. CONTROL OF EROSION IN RURAL UNPAVED ROADS UTILIZING A TERRACE SYSTEM WITH GRADIENT ASSOCIATED TO CAPITATION BASIN**

### **2 ABSTRACT**

The agricultural unpaved roads are important road structures for the economic and social agricultural development of the Nation, and the erosion provoked by rain water in the road bed and sides are closely related to bad draining, one of the main factors for their degradation. In order to make the draining system adequate, it is necessary to know about erodibility, infiltration capacity of water in the ground and adoption of mechanical slope abatement with grid elevation and water interception. This study presents drainage model through the construction of terraces with gradient transversally associated to the capitation

basin in abruptic red dystrophic argisol soils, medium sandy texture, based on slope abatement techniques, elevating the road bed and deviating flow. The grain sized fractions of this ground (sand, silt, clay) and the aggregate stability indicated that this ground, under anthropic action, presents erosive processes resulting in superficial draining with ground hauling, sanding sources and courses of water situation below roads, providing great environmental impacts in the hydric bodies. The reduction of erosion problems in these unpaved roads is in the adoption of measures that intercept waters from the draining of their stream bed itself, as well as pluvial waters comings from adjacent areas of contribution, that are collected and conducted to inlaid terraces and capitation basis.

**KEYWORDS:** erosion in agricultural roads, water infiltration in the soil, mechanical soil conservation practices, pluvial water containment.

### 3 INTRODUÇÃO

A tecnologia de adequação de estradas rurais de terra, associando um sistema de drenagem de águas pluviais por meio da construção de terraços embutidos com gradiente associados às bacias de captação, disciplina essas águas de forma a eliminar seu efeito destrutivo, acumulando-as em locais determinados, facilitando sua infiltração no solo, favorecendo abastecimento do lençol freático e aumentando a água das nascentes.

O procedimento de intervenção técnica utilizado para controlar erosões, controle do escoamento superficial de águas pluviais e sedimentos de solo, leva em consideração, tipo de solo do local, comprimento e inclinação de rampa, altura, inclinação de taludes, cortes e aterros.

Conforme dados do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, de Outubro de 2007, Regional de Bauru a malha viária do Estado de São Paulo é composta de 200.225 km de estradas, sendo que menos de 8% são pavimentadas resultando em 175.807 km de estradas municipais de terra, sendo o regime pluviométrico do Estado de 1.300 mm, em concentração de outubro a março, período que coincide com a maior intensidade de tráfego em virtude do transporte de insumos e produtos agrícolas resultando em dificuldades de escoamento (Bertolini, 1993).

Bertolini et al. 1993, recomendam adoção de espaçamentos entre desaguadouros ou bacias de acumulação de água baseada apenas na declividade do terreno e na textura do solo, sendo esses valores muito genéricos, não levam em consideração a resistência que os diferentes tipos de solos apresentam ao desprendimento, e não consideram a vazão a ser transportada pelos canais dos terraços com gradiente.

Quanto ao destino das águas interceptadas, o terraço de drenagem ou gradiente, construído com o canal com pequeno declive, acumulando e conduzindo o excedente de água para fora da área protegida, a sua eficiência dependerá de práticas complementares com manutenção de cobertura verde e morta do solo (Paraná, 1989).

Para o dimensionamento e terraços com gradiente, a taxa de escoamento superficial é o parâmetro de maior importância. Esses terraços são projetados como canais de drenagem, enquanto os terraços em nível têm como função armazenar água do escoamento superficial (Pruski, F.F., 1990).

Das perdas anuais de solo no estado de São Paulo que superam mais de 200 milhões de toneladas, 50% são causados pelas estradas vicinais de terra, e cerca de 70% deste solo chega aos mananciais pelas estradas vicinais de terra, em forma de sedimentos transportados

pela água, causando assim assoreamento e poluição, aumentando a degradação do meio ambiente e reduzindo drasticamente a qualidade e quantidade de água; e as estradas rurais também causam danos ambientais. São responsáveis por 70% das erosões das pastagens e lavouras próximas (Zoccal, 2007).

Levando-se em conta a falta de estudos sobre formas e identificação de erosão em estradas rurais, e da relativa complexidade e ineficiência das ferramentas disponíveis para quantificação e qualificação da erosão para situações brasileiras, há dificuldades para o manejo dessas estradas quanto ao manejo da erosão, o que acarreta danos (Antonangelo, A.; Fenner, P.T., 2005)

A baixa capacidade de infiltração de água de 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, conforme relata (Pruski 1998).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver métodos de contenção de águas em solos do tipo Argissolo Vermelho abrupto distrófico textura arenosa a média, em função da carência e métodos para implementação de técnicas mais seguras para o dimensionamento de sistemas de drenagem em um trecho de estrada rural degradada PLA-06 no município de Paulistânia, SP.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e Componentes

A intervenção de adequação de trecho de estrada rural foi realizado no município de Paulistânia, distante aproximadamente 48 Km de Bauru, a uma altitude média de 550 m, cujas coordenadas geográficas do início do trecho 22°34'54" de latitude sul e 49°25'02" de longitude oeste e finais 22°34'53" de latitude sul e 49°24'34" de longitude oeste, no período de abril a outubro de 2007. O trecho de estrada rural adequado encontra-se inserido na Microbacia do Córrego São Gerônimo, na estrada municipal PLA-06, com relevo predominante suave a pouco ondulado e solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico abrupto, com textura arenosa a média conforme (Embrapa 1999). De acordo com a classificação de Köpen, o clima é do tipo CB e W, mesotérmico de inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 1.604,4 mm.

Para a realização do processo de adequação de erosões do leito deste trecho de estrada rural, que apresentava tráfego regular de veículos foi determinado aleatoriamente um comprimento de rampa de 500 metros, de extensão linear, com declividade de 0-8% em condição de greide encaixado no terreno com taludes variando de 3 a 5 metros de altura, sulcos de erosão hídrica, provocados por práticas conservacionistas inadequadas aceleradas por ações antrópicas resultando em fenômeno de desagregação e transporte de solos carreando para as laterais, transpondo a faixa de tráfego, chegando a assorear nascentes de água a jusante. Consideraram-se também problemas inerentes que contribuem para aumento dos taludes, invadindo o leito carroçável resultando em aumento de processo erosivo.



**Figura 1.** Visão geral da Área Experimental, Bacia Hidrográfica Córrego São Gerônimo, Município de Paulistânia, SP

Para que as águas das chuvas sejam armazenadas no solo é necessário que infiltre na superfície, e a intensidade das chuvas ( $\text{mmh}^{-1}$ ) sendo maior que a velocidade de infiltração da água no solo ( $\text{mmh}^{-1}$ ) haverá escoamento superficial da água. O teste de infiltração de água no solo foi realizado por infiltrômetro de anéis na área do experimento e a VIB estabilizou-se em  $14 \text{ mm/h}$  a partir dos 120 minutos do teste.



**Figura 2.** Trecho da estrada PLA – 06 antes do processo de intervenção

A figura acima é 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 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.

#### 4.2 Aspectos construtivos e operacionais

Para adequação do trecho de rampa de PLA-06 será utilizada metodologia de intervenção corretiva com abatimentos de taludes laterais e elevação radical do leito com equipamentos do tipo tratores de esteiras que proporcionaram corte e recuo do horizonte A depositando em forma de leira com média fertilidade e escavando o horizonte B, que serão depositados no leito encaixado da estrada elevando-o e compactados a camadas de 30 em 30 cm com rolo compactador e elevação do greide acima da superfície planaltimétrica do local. Serão construídos também desviadores de fluxo de água para interceptar águas no leito e com o uso de motoniveladora realizado o abaulamento transversal com 4% de desnível lateral para drenar águas para fora da pista. O horizonte A será voltado sobre o solo escavado para garantir o estabelecimento de gramíneas no local, diminuindo arrastamento de solos.

O mesmo equipamento motomecanizado trator de esteiras será utilizado para construir terraços embutidos com gradiente e bacias de captação, com objetivo de controle de erosões marginais evitando o transporte de solos para baixadas evitando assoreamento de nascentes.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de intervenção técnica adotado no trabalho corretivo é próprio para trechos de estradas que possuem seu leito encaixado no terreno, com problemas de erosão, ausência de dispositivos de drenagem eficientes, e dificuldades de infiltração de água no solo, como é o caso do trecho de rampa da PLA-06, com solo do tipo Argissolo Vermelho distrófico abrupto de textura arenosa a média. São solos com mudança textural abrupta, com horizonte B textural, com acumulação de argila translocada.

Através da Tabela 01 pode-se avaliar resultados da análise de solos coletados em 35 pontos com profundidades (0 - 20 cm) e (20 - 60 cm) de frações granulométricas e o diâmetro médio ponderado dos agregados, que é um dos índices que indica a estabilidade da estrutura frente à ação desagregadora da água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo a erosão hídrica, indicando assim a baixa resistência deste solo ao processo de erosão hídrica.

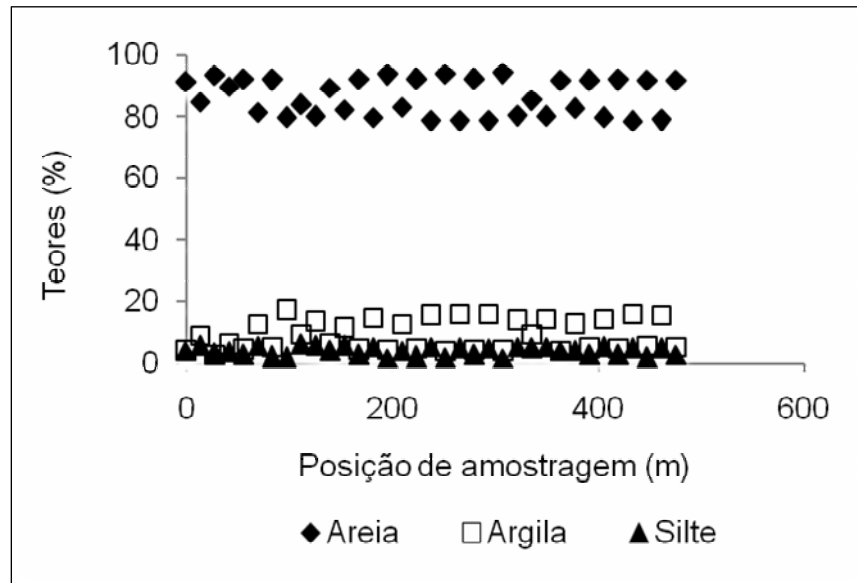
**Tabela 1.** Distribuição de frequência das frações granulométricas (areia, argila e silte) e DMP (diâmetro médio ponderado dos agregados)

Variáveis <sup>1/</sup>	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 (0,20-0,60m)	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

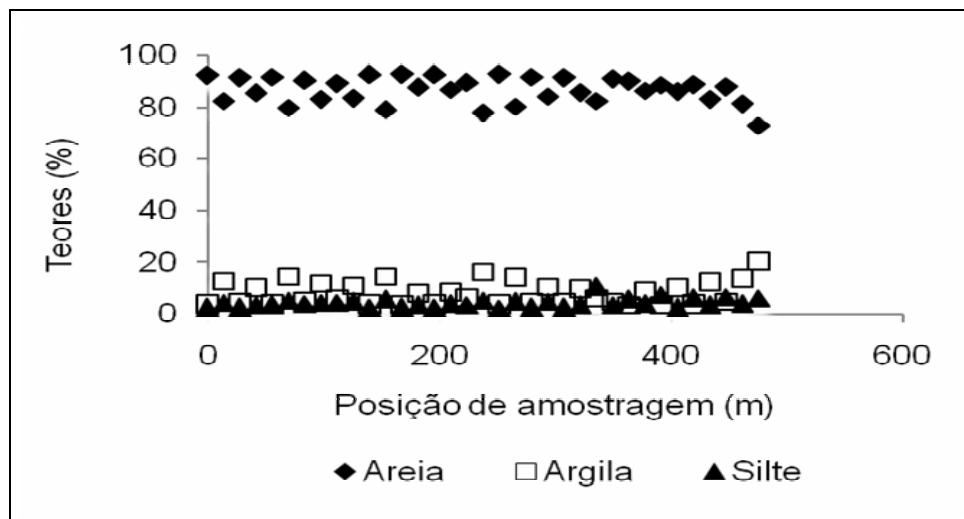
<sup>1/</sup>Frações granulométrica em percentagem (%); Md – mediana; Mín. – mínimo; Máx. – máximo; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Ck – coeficiente de curtose; Cs – coeficiente de simetria; K-S

Segundo (Bertolini et al 1993) o diâmetro ponderado dos agregados (DMP) é um dos índices que indica a estabilidade da estrutura frente a ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo a erosão hídrica.

As figuras 3 e 4 a seguir, apresentam as distribuições das frações de areia, argila e silte ao longo da transeção de amostragem da área experimental. 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 tendência para argila. Isto pode estar relacionado com a topografia do terreno.



**Figura 3.** Distribuição dos teores das frações granulométricas do solo (areia, argila e silte) na profundidade de 0,20 m., ao longo da transeção



**Figura 4.** Distribuição dos teores das frações granulométricas do solo (areia, argila e silte) na profundidade de 0,20-0,60 m., ao longo da transeção

Para que as águas das chuvas sejam armazenadas no solo é necessário que ela infiltre na superfície, e a intensidade das chuvas ( $\text{mm h}^{-1}$ ) sendo maior que a velocidade de infiltração da água no solo ( $\text{mm h}^{-1}$ ) haverá escoamento superficial da água. O teste de infiltração de

água no solo foi calculado por infiltrômetro de anéis e na área do experimento a VIB estabilizou-se em 14 mm/h<sup>-1</sup> a partir dos 120 minutos do teste, apresentando boa drenagem no horizonte A e baixa condutividade hidráulica saturada no horizonte B, que o torne pouco permeável, facilitando escoamento superficial.

### 5.1 Fatores responsáveis pelas perdas de solo

As perdas de solo foram avaliadas pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), 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 Mg ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>

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., 1990). 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 M.J. mm. ha<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup>.

A erodibilidade (fator K) para cada unidade de solo foi determinada segundo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

O Fator Topográfico (**LS**) foi calculado através da equação desenvolvida por (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

$$LS = 0,00984 . C^{0,63} . D^{1,18}$$

Onde: C = comprimento de rampa, em m; D = declividade, em porcentagem.

O uso e manejo do solo (Fator C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes do terreno mantido continuamente descoberto e cultivado; os valores de C foram obtidos segundo metodologia de (Bertoni e Lombardi Neto 1990).

Práticas conservacionistas (Fator P) é a relação esperada entre as perdas de solo com determinada prática conservacionista e as perdas quando a cultura está plantada no sentido do declive.

Os valores de P foram obtidos através da formulação desenvolvida por (Bertoni e Lombardi Neto 1990), considerando a declividade como fator limitante para as práticas conservacionistas. Segundo a expressão:

$$P = 0,69947 - 0,08911 . D + 0,01184 . D^2 - 0,000335 . D^3$$

D = declividade em porcentagem; sendo P assume valor 0,69 para declividades menores que 0,5% e P = 1,0 para declividades maiores do que 20%.

De acordo com (Nogami e Villibor 1995) a erodibilidade de solo é um dos fatores mais importantes para a escolha do projeto mais apropriado para controlar a erosão ao longo das rodovias.

O Potencial Natural de Erosão é definido pelos fatores da EUPS que representam os parâmetros do meio físico (erosividade, erodibilidade, topográfico) e expresso pela fórmula  $PNE = R \cdot K \cdot LS$ .

O Risco de Erosão (RE) relaciona a perda anual de cada unidade do solo (Valor A) com a perda permissível deste por erosão expressa:  $RE = A/T$ .

Onde A= perda anual de solo em  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$  e T = perda máxima permissível de solo por erosão  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ .

**Tabela 2.** Distribuição das unidades de mapeamento de solo, erodibilidade e tolerância de perdas de solo na área do experimento da Microbacia do córrego São Gerônimo.

Unidade de Solo	Área		Erodibilidade	Tolerância
	ha	%	$Mg \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$	$Mg \cdot ha^{-1}$
PEd	50	1,9	0,0405	8,9

**Tabela 3.** Distribuição das classes de perda de solo estimadas pela EUPS para a Microbacia do córrego São Gerônimo (local do experimento)

Classes $l \cdot ano^{-1}$	Perdas de solos		Área	
	$Mg \cdot ha^{-1}$	ha	%	
Moderado 50	20 a	850	32	

## 5.2 Situação Final Pretendida

O abaulamento da seção transversal da pista de rolamento no trecho da estrada constante do projeto a inclinação 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-los, evitando-se assim acúmulo na pista.

Os equipamentos motomecanizados utilizados voltaram também o horizonte A, dentro dos canais dos terraços em gradiente a 1% em camadas de 15 cm de solo superficial rico em sementes de gramíneas que garantiram a infiltração de águas no canal e o seu escoamento superficial para bacias de contenção com o mínimo de arrastamento de solo.

O greide da pista da estrada em seu comprimento de rampa e a faixa trafegável recebe camada de 10 cm de material granular, seguido de agulhamento evitando formação de erosão laminar no seu leito, o que permitirá sua conformação de abaulamento transversal de 4% de inclinação, e garantirá a drenagem do leito da pista de rolamento.

Os dispositivos de drenagem através de terraços embutidos com gradiente foram construídos com tratores de esteiras para interceptar o escoamento superficial de áreas do leito da estrada e áreas adjacentes de contribuição e conduzi-las com segurança para as bacias de captação, diminuindo assoreamento de leito de estrada, e mananciais, comparado ao sistema tradicional que não utiliza bacias de captação e também não há plantio de gramíneas.

Esse método de controle de erosões em estradas rurais apresenta resultados satisfatórios na contenção do escoamento superficial dentro das bacias de captação e na rugosidade dos canais dos segmentos de terraços embutidos, e também controle do assoreamento; quando comparado ao método tradicional utilizado na correção do leito, onde se usa o abatimento de taludes com elevação radical do leito da pista, com dispositivos de



drenagem utilizados, desviadores de fluxo e segmentos de terraços embutidos, lançam águas pluviais do escoamento superficial sobre áreas adjacentes a rampa da estrada e o processo erosivo se reinicia com sulcos rasos em forma de ravina.

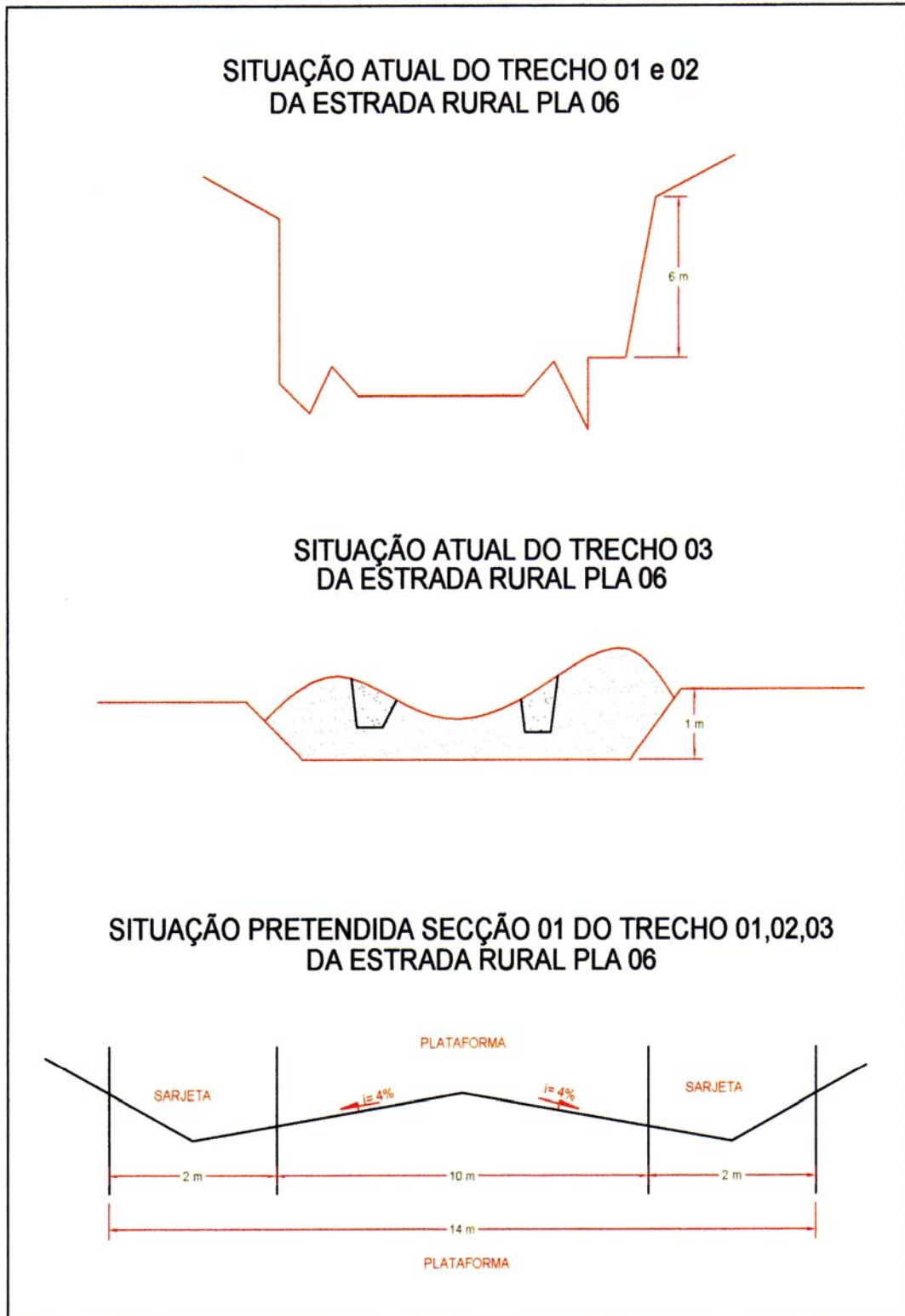


Figura 5. Situação anterior e estrada adequada

Esta modalidade de trabalho neste tipo de solo Argissolo Vermelho distrófico abrupto de textura arenosa a média, com horizonte A, de boa infiltração, e Horizonte B de baixa permeabilidade em função dos teores de argila na faixa de 35%, mostrou-se eficiente, pois todo escoamento superficial foi controlado.

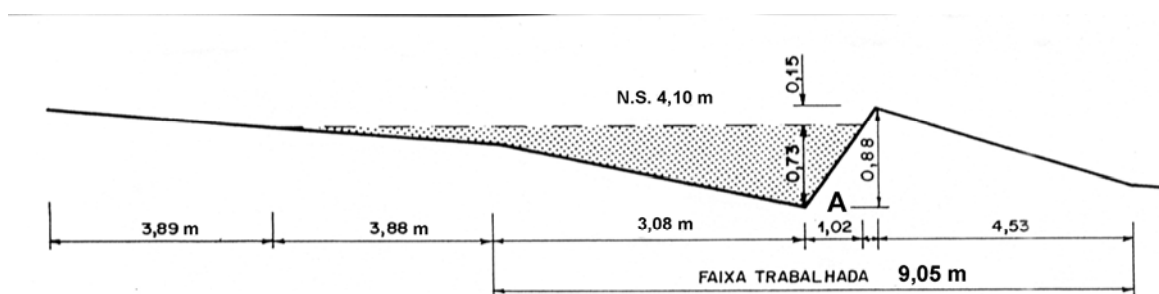
As superfícies dos terraços embutidos, canal e taludes, e maciços da estrutura das caixas de contenção encontram-se vegetadas com gramíneas o que diminui consideravelmente o arrastamento de solos, comparados visualmente ao método tradicional, que não utiliza vegetação nos dispositivos de drenagem.

As intervenções realizadas neste trecho de comprimento de rampa de 500 metros conduziram as águas com segurança a águas que cruzam a plataforma para os dispositivos de segmentos de terraços e bacias de captação, eliminando o carreamento de solo e água para os mananciais que causavam grandes impactos ambientais com diminuição de água potável a jusante da estrada.

A água em excesso conduzida seu escoamento de um local para outro como foi a finalidade da drenagem do leito da estrada PLA-06 e áreas adjacentes. É importante o conhecimento da vazão escoada e capacidade de armazenagem dos dispositivos de contenção (Pruski, 1993).

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 escoamento superficial 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 6.** 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, proposto por (Pruski et al. 2003).

$$Q_{\max} = \frac{c \cdot I_m \cdot A}{360} = Q_{\max} = \frac{0,282 \cdot 187,40 \cdot 0,20}{360} = 0,029 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Onde:

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

$c$  = coeficiente de escoamento superficial adimensional = 0,282

$$I_m = \text{intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, mm h}^{-1} = 187,40 \text{ mmh}^{-1}$$

$$A = \text{área da bacia de drenagem, ha.} = 0,20 \text{ km}^2$$

Foi utilizado por fundamentar em princípios básicos, como precipitação de alta intensidade e curta duração, precipitações no local com duração igual ao tempo de concentração, e considerou-se durante o evento externo o solo encontra-se saturado com infiltração estável e ocorrência de escoamento superficial e coeficiente superficial estimado com base nas características da bacia; este método foi aplicado cuidadosamente, pois envolve simplificações e uso de coeficientes de grande subjetividade em bacia  $< 2 \text{ km}^2$  na área de estudo, pois áreas maiores implicarão em maiores imprecisões do método.

### 5.3 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:

$$\text{Para o espaçamento vertical: } EV = 0,4518 K \cdot D^{0,58} - \frac{\mu + m}{2} = 2,90 \text{ m}$$

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

$\mu$  = fator de uso do solo = 1,75

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

2,0

$$\text{Para o espaçamento horizontal: } EH = \frac{100EV}{D} = 41,42 \text{ m}$$

Onde:

EH = é o espaçamento horizontal entre terraços em metros

EV = é o espaçamento vertical entre terraços em metros = 2,90 m

D = é a declividade expressa em porcentagem = 7%

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.

#### 5.4 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 ocasionando, 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:

$$V = C.L.I = 45,56 \text{ m}^3$$

Onde:

V = volume em  $\text{m}^3$

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

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

I = precipitação máxima em 24 horas em 110 mm



**Figura 7.** Bacia de captação com presença de água coletada no leito da estrada associada à ponta de terraço da PLA - 06

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.

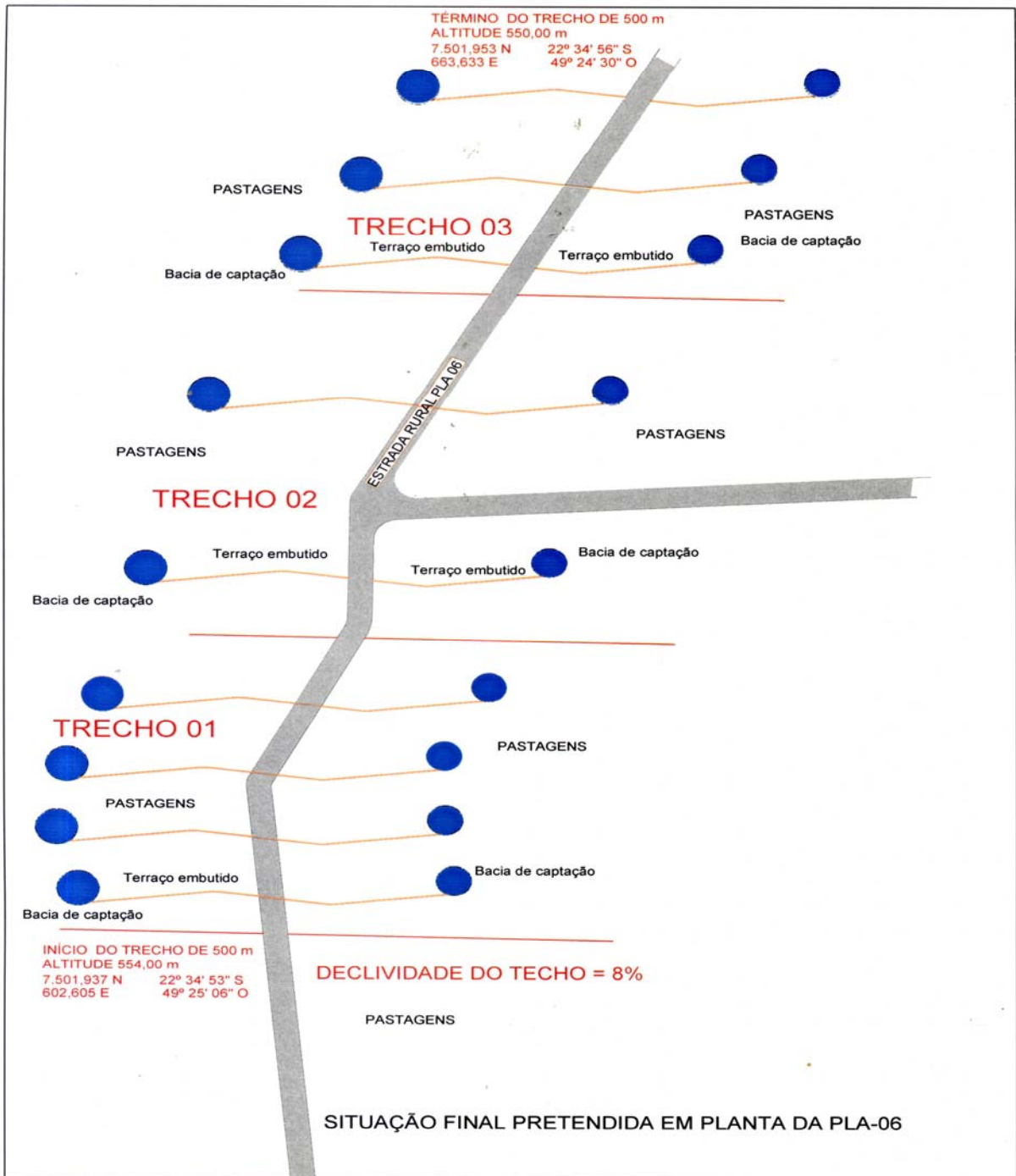
As bacias construídas no local obedeceram a uma técnica própria em função das áreas de contribuição da secção trabalhada. No decorrer da estação chuvosa, as bacias de captação, locadas em pontos determinados, nas pontas dos terraços embutidos, armazenam as águas das chuvas que, por infiltração através 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.



**Figura 8.** Abaulamento transversal e dispositivos de drenagem do trecho da estrada PLA-06, objeto de processo de intervenção corretiva



**Figura 9.** Terraço com gradiente em detalhe a ponta escoando água para a bacia de captação na PLA-06



**Figura 10.** Situação final pretendida usando-se tecnologia convencional no trecho da estrada PLA-06

## 6 CONCLUSÕES

1 – 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.

2 – 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.

3 – 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.

4 – 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.

5- Esse sistema de adequação de estradas rurais poderá ser utilizado em implantação de projetos agrícolas com intenso tráfego de máquinas e equipamentos.

## 7 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/Área Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

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**. São Paulo: Ícone, 1990. 393 p.

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. **Equação de perdas de solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 25 p. (Boletim técnico, 21).

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ, 1999, 412 p.

LIBARDI, P. L. et al. 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, JÚNIOR; LEPSH, T. F. **Terraceamento agrícola do Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. 39 p. (Boletim técnico, 206).

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, 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: Villibor, 1995. 240 p.

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

PRUSKI, F. F. **Análises de precipitações extremas e de escoamento superficial para áreas agrícolas da região do Paraná.** 1990. 109 f. (Dissertação Mestrado em Drenagem Superficial e Escoamento Superficial), 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). 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.

ZOCCAL, J. C. Soluções cadernos de estudos em conservação do solo e água. Codasp, Presidente prudente, V. 1, n. 1, p. 11-60, maio 2007.

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