



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Estimativa de Taxas de Erosão Linear através de Levantamento por Posicionamento Global e Densidade do Solo

Alyson Bueno Francisco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geógrafo e Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Presidente Prudente. Rua Roberto Simonsen, 305 – Centro Universitário – Laboratório de Geocartografia - Presidente Prudente-SP - 19060-900– Fone: 18-3229-5877 – E-mail: [alysonbueno@gmail.com](mailto:alysonbueno@gmail.com)

Artigo recebido em 07/05/2012 e aceito em 15/10/2012

### RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma estimativa de taxa de erosão linear através de dois levantamentos planialtimétricos com o uso de receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) num intervalo de doze meses e de análise de densidade global do solo erodido pelo processo de ravinamento localizado em área do Campus da Unesp de Presidente Prudente. Foi constatada uma taxa de erosão linear de 148,65 t/ha/ano, cujo solo apresentou densidade global de 1,43 g.cm<sup>-3</sup>, sendo esta taxa quatro vezes superior à taxa constada em parcelas experimentais de cultivo de algodão (Lepsch, 2002), o que demonstra a importância do estudo e estimativas das taxas e evoluções das feições erosivas lineares.

Palavras-chave: erosão de solos, GPS, densidade e taxas.

## Estimating Erosion Rates through Linear Survey by Global Positioning and Soil Density

### ABSTRACT

This paper presents the results of an estimative of erosion linear rates through of two topography withdrawals with the use of GNSS (*Global Navigation Satellite System*) receivers within twelve months and overall density analysis by eroded soil of ravines process located at Unesp of Presidente Prudente. It was observed a linear erosion rate of 148,65 t/ha/year, whose soil presented overall density of 1,43 g.cm<sup>-3</sup>, being this rate four upper turns as verified rate in experimental parcels of cotton crop (Lepsch, 2002), that shown the importance of research and estimations of rates and evolutions of linear erosion shapes.

Keywords: soil erosion, GPS, density and rates.

### 1. Introdução

A erosão de solos provocou transformações em inúmeras paisagens de diversas regiões tropicais do globo, sendo o Sudeste Brasileiro uma das regiões mais afetadas pela erosão hídrica acelerada pela

ausência de práticas conservacionistas na implantação de monoculturas para exportação (Furon, 1947).

As atividades agropecuárias, muitas vezes implantadas com ausência de práticas de conservação adequadas a capacidade de uso da terra, e a expansão das áreas urbanas e de infraestrutura com a ausência de

\* E-mail para correspondência: [alysonbueno@gmail.com](mailto:alysonbueno@gmail.com) (Francisco, A. B.).

planejamento adequado, geraram os processos erosivos acelerados em diversas regiões rurais e urbanas. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (1967), a necessidade de produzir alimentos para suprir as populações exige a aplicações de técnicas de conservação dos solos, principalmente nos países em desenvolvimento localizados em ambientes tropicais.

Através de pesquisas sobre os depósitos sedimentares recentes e datações de sedimentos, Wilkinson e McErloy (2007) constataram que as taxas atuais de erosão geológica (aproximadamente 21 gigatons/ano) foram superadas pelas taxas de perda de solos decorrentes das atividades humanas (aprox. 75 gigatons/ano). Montgomery (2007), através de estimativa de produção de sedimentos em diferentes usos do solo, constatou que 65% da produção de sedimentos são atualmente provocadas pelas atividades agropecuárias. Isto representa um indicativo de que a ação humana altera o ritmo dos processos geomorfológicos, principalmente nas áreas urbanas e em suas proximidades, onde o uso e na ocupação do solo são mais impactantes.

As pesquisas sobre a quantificação da erosão de solos ganharam repercussão a partir da década de 1960 com a publicação da Equação Universal de Perda de Solos por Wischmeier & Smith (1962), um modelo empírico que visou a estimativa das taxas de erosão laminar, ao considerar os fatores:

erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, a topografia, a cobertura do solo e as práticas conservacionistas aplicadas.

Dentre as formas de erosão hídrica, pode-se diferenciá-las em laminar e linear. A erosão laminar é causada pelo escoamento em lençol das águas pluviais, resultando na remoção progressiva dos horizontes dos solos e na perda de nutrientes. Já a erosão linear ou em sulcos é provocada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno que podem evoluir para a formação de ravinas e voçorocas (Salomão, 1999).

Em decorrência das alterações na dinâmica hidrológica, a erosão linear pode gerar o processo de erosão remontante, quando o trabalho de incisão se direciona de jusante à montante (Rossato *et al.*, 2003).

Com o aprofundamento dos sulcos erosivos, surgem incisões lineares denominadas de ravinas. Segundo Salomão (1999), com o aprofundamento das ravinas, interceptando o freático, pode se observar um somatório de processos erosivos pela ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais, cujas ravinas atingem grandes dimensões com a possibilidade de instalação de um processo de voçorocamento.

As mudanças no comportamento hidrológico das vertentes, com tendência de predomínio de escoamento em relação à infiltração das águas pluviais, pela retirada de cobertura vegetal com a introdução de

culturas agrícolas e infraestrutura, acelera os processos de perda de solos tropicais (Cassetti, 1983). Estes processos da morfodinâmica atual induz a necessidade de novos métodos para compreender os novos ritmos destes processos. No entender de Suertegaray (2005, p. 95): “[...] estes estudos são objetivados, [...] através de diagnósticos, dos monitoramentos e das medidas mitigadoras. Devemos ter presente que monitoramento pressupõe controle e medidas mitigadoras, soluções técnicas de restauração da natureza, portanto, natureza tecnificada”.

Dentre as novas tecnologias empregadas no monitoramento destes novos processos está o Posicionamento por Satélite. O sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), foi introduzido pelo GPS (*Global Positioning System*), um sistema de radionavegação desenvolvido, em 1973, pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América para fins estratégicos, mas devido ampliação das geotecnologias e as mudanças no cenário geopolítico, o sistema GPS passou a ter grande utilização pela sociedade civil. A implantação do sistema russo GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), ampliou a constelação de satélites disponíveis aos usuários civis, sendo que os receptores de precisão geodésica com dupla frequência (L1/L2), captam os dados transmitidos pelas constelações GPS e GLONASS.

O sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) possui como princípio a

medida das pseudodistâncias entre o usuário e pelo menos quatro satélites visíveis. A partir das coordenadas dos satélites em um sistema de referência adequado, é possível calcular as coordenadas X, Y e Z da antena do receptor em relação ao mesmo sistema de referência dos satélites (MONICO, 2008).

Os métodos de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) podem ser classificados em absoluto e relativo. De acordo com Monico (2008), o posicionamento absoluto utiliza-se apenas um receptor de única frequência, enquanto que no posicionamento relativo utilizam-se pelo menos dois receptores, sendo um posicionado num ponto de coordenadas conhecidas e o outro é estacionado no ponto para se determinar suas coordenadas.

Lopes & Guerra (2001) para cadastrar voçorocas no município de Florianópolis-SC, utilizaram os métodos de posicionamento pelo sistema GPS (*Global Positioning System*) com o objetivo de elaborar cartas e analisar a evolução espacial e temporal das feições erosivas lineares.

Além da importância de se estimar as taxas de perda de solos, com a finalidade de se diagnosticar os impactos das atividades socioeconômicas aos solos, a compreensão da dinâmica erosiva nas escalas espacial e temporal favorece os estudos da Geomorfologia na fisiologia da paisagem e dos processos atuais.

Logo, ao mencionar sobre os conceitos de erosão de solos e sistema *Global*

*Navigation Satellite System*, o objetivo deste artigo é analisar as taxas de erosão linear numa feição erosiva de ravina com a aplicação de levantamento planialtimétrico por posicionamento por satélite e análise da densidade do solo, a fim de se estimar a perda de solo por hectare numa área degradada por erosão do tipo linear.

## 2. Caracterização da área de estudo

A região do Extremo Oeste Paulista apresenta-se situada, geologicamente, na morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná sobre o substrato rochoso de arenitos do Grupo Bauru. A Formação Adamantina, predominante em toda porção do município de Presidente Prudente, é de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981, p. 48), constituída por: “[...] arenitos finos a muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte”. Além dos arenitos da Formação Adamantina, no município de Presidente Prudente são encontrados depósitos correlativos datação quaternária (Suarez, 1991).

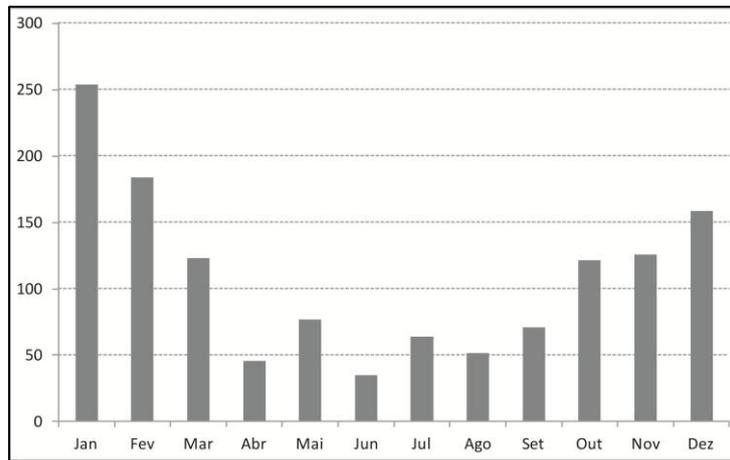
Sobre os aspectos morfoesculturais, o município de Presidente Prudente localiza-se no Planalto Ocidental Paulista, precisamente no Planalto Centro Ocidental, conforme apresenta o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross & Moroz, 1996). De

modo regional, a morfologia do relevo apresenta topos em espigões suavemente ondulados, com superfícies de cimeira em decorrência da resistência por cimentação carbonática de arenitos da Formação Adamantina, além de vertentes predominantemente retilíneas com passagem suave para a forma convexa (Sudo, 1980).

A pedologia da região de Presidente Prudente é caracterizada pelo predomínio de Latossolos de textura média nos topos aplainados e Argissolos Vermelho-Amarelos com horizonte A e E de textura arenosa e horizonte B textural argiloso. De acordo com Almeida Filho et al. (1997), o município de Presidente Prudente está localizado em uma área de muito alta suscetibilidade à erosão, com a presença de erosão laminar intensa mesmo com manejo adequado do solo, de ravinas muito grandes e profundas que se transformam frequentemente em voçorocas quando atingem o nível d'água, e a presença de voçorocas de drenagem.

Para Boin (2000), o clima da região de Presidente Prudente é do tipo tropical, que se caracteriza por precipitação anual média que varia entre 1200 e 1500 mm e pela erosividade das chuvas entre 7000 e 7350 Mj/mm/ha/ano. O gráfico da Figura 1 mostra as médias dos totais mensais de precipitação em Presidente Prudente na década de 2000.

Os índices de precipitação mensais referentes ao período de monitoramento da ravina apresentado neste trabalho estão presentes na Tabela 1.



**Figura 1.** Médias mensais de precipitação em Presidente Prudente (2000-2009).

Fonte dos dados: Estação Meteorológica da FCT/Unesp.

**Tabela 1.** Totais mensais de precipitação em 2011.

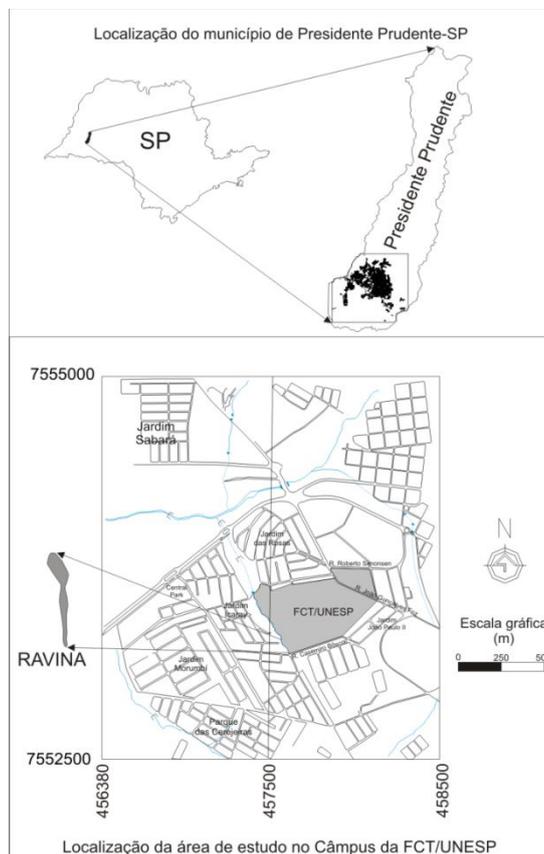
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Índice (mm)	211,6	296,6	94,0	68,8	12,8	41,6	18,2	22,8	06,6	193,2	116,4	154,4

Fonte: Estação Meteorológica da FCT/Unesp.

### 3. Material e Métodos

O primeiro procedimento empírico a ser apresentando é o levantamento

planialtimétrico de uma ravina localizada em área do Campus da Unesp de Presidente Prudente, como mostra o mapa da Figura 2.



**Figura 2.** Mapa de localização da ravina objeto de levantamento topográfico planialtimétrico.

Na execução do levantamento planialtimétrico foi aplicado o método semicinemático, para delimitar as bordas e os canais de escoamento concentrado da ravina, foi utilizado o receptor Promark 2 (Figura 3) com coletor de dados para pós-processamento.



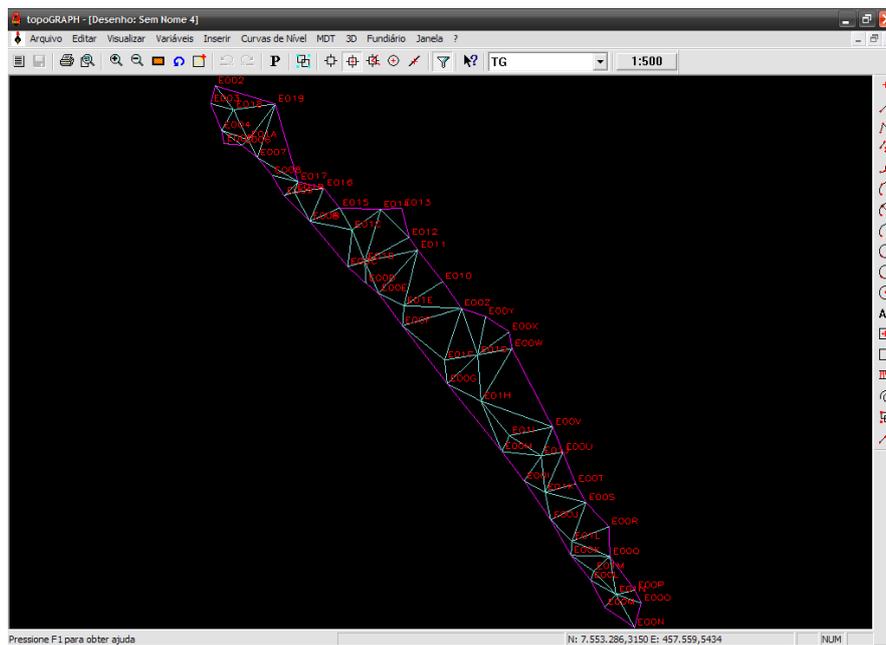
**Figura 3.** Receptor Promark 2 (marca Ashtech) instalado no ponto base.

Inicialmente foi coletado um ponto base com tempo de coleta de 20 minutos. Em

seguida, para se definir as coordenadas limítrofes da ravina e os pontos de apoio para descrição da rugosidade do terreno da área degradada (interior da ravina), o receptor GPS foi estacionado em cada ponto por 2 minutos de rastreo.

Após a coleta dos dados em campo, o pós-processamento foi elaborado no aplicativo “GNSS Solutions” da empresa Topcon, tendo como base as coordenadas absolutas da Estação PPTE da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, localizada no mesmo campus da Unesp de Presidente Prudente.

Após obter as coordenadas pós-processadas com o uso do aplicativo GNSS Solutions, as coordenadas foram inseridas numa tabela do aplicativo TopoGraph 98 Segunda Edição, a fim de se obter a área e o volume da ravina objeto de levantamento (Figura 4). As coordenadas pós-processadas obtiveram precisão média de 07 cm.



**Figura 4.** Geração de malha triangular no aplicativo TopoGraph 98 Segunda Edição.

Para se estimar a densidade global do solo, foi aplicado o método do Anel Volumétrico, apresentado por Camargo et al. (2009). O procedimento, inicialmente implica na pesagem do anel volumétrico seco, com volume de 50 cm<sup>3</sup>, em balança analítica laboratorial e na coleta de amostra de solo introduz o anel no horizonte desejado, do qual deve-se preencher o interior do anel com o solo natural e retirar o anel, aparando o excesso de solo dos dois lados com uma faca. A amostra intocada juntamente no anel volumétrico é transferida para uma placa de Petri, seca e pesada. Ambas são colocadas numa estufa a uma temperatura de 105°C durante 24 horas. Após deixar esfriar a amostra num dissecador, a amostra é pesada novamente na balança analítica. Calcula-se a

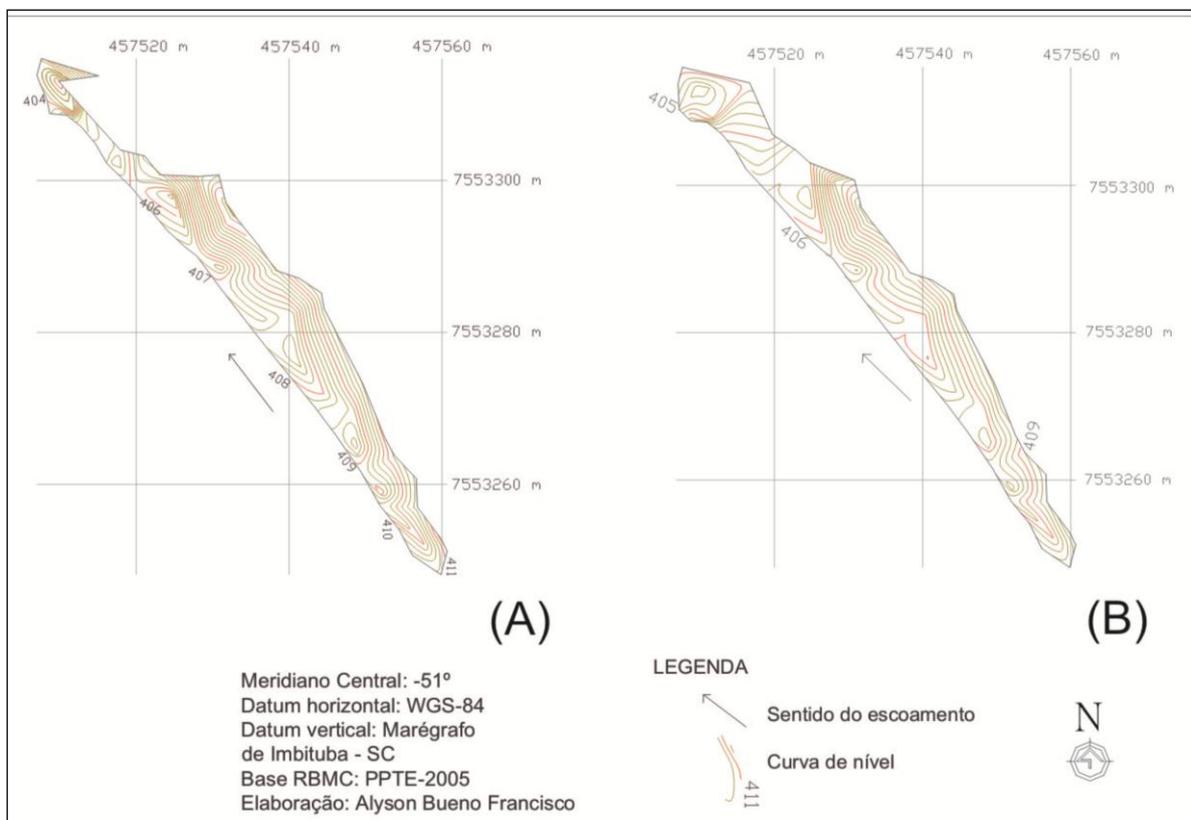
densidade global do solo através da Expressão 01:

$$dg \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso seco da amostra}}{\text{volume (50cm}^3\text{, no caso)}} \quad \text{(Expressão 01)}$$

Para se obter os valores de densidade global do solo da área sob processo erosivo, foram coletadas quatro amostras com o auxílio do Anel Volumétrico.

#### 4. Resultados e Discussão

A respeito dos resultados sobre o método de posicionamento por satélite para cadastro e monitoramento do ravinamento objeto de análise, a Figura 5 mostra a variação espacial da feição erosiva linear no período de aproximadamente doze meses.



**Figura 5.** Distribuição espacial da ravina em 04 de dezembro de 2010 (A) e em 21 de dezembro de 2011 (B).

De acordo com os cálculos realizados pelo aplicativo TopoGRAPH Segunda Edição, através das coordenadas X, Y e Z (E, N e altitude), o volume da ravina no levantamento de dezembro de 2010 foi de 1.766,140 m<sup>3</sup> e área de 562,096 m<sup>2</sup>, e no levantamento de dezembro de 2011 o volume foi de 2.168,463 m<sup>3</sup> e área de 600,778 m<sup>2</sup>, ou seja, um aumento em volume de 402,323 m<sup>3</sup> num período de aproximadamente doze meses.

Ao comparar a variação espacial da

ravina, nota-se que o aumento em larguras e profundidades ocorreu de forma mais concentrada no trecho a jusante, com tendência de erosão remontante, onde foi notada presença de afloramentos de arenitos da Formação Adamantina e possivelmente aparecimento do freático no período de precipitações concentradas.

As fotos da Figura 6 mostram uma alcova de regressão e a presença de afloramento de arenitos da Formação Adamantina.



**Figura 6.** Presença de feição gerada por escoamento subsuperficial (alcova) e perfil da ravina com afloramentos de arenitos da Formação Adamantina.

Em relação à densidade global do solo, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Densidade global do solo

Amostra	Profundidade (cm)	Horizonte diagnóstico	Densidade global (g.cm <sup>-3</sup> )
A	18,0	A	1,33
B	25,0	A	1,42
C	45,0	Bt	1,51
D	56,0	Bt	1,48

Ao considerar uma densidade global média de  $1,43 \text{ g.cm}^{-3}$ , e um volume de perda de solo de  $402,323 \text{ m}^3$ , pode-se estimar que a taxa de erosão linear no período foi de aproximadamente  $0,575 \text{ t/ano}$ , numa área erodida de  $38,68 \text{ m}^2$ , durante os doze meses de intervalo do levantamento realizado, com um total de  $1.237 \text{ mm}$  de precipitação.

Para efeito de comparação, caso a área atingida pela perda de solo fosse de um hectare ( $10.000 \text{ m}^2$ ), a taxa de erosão linear seria estimada em  $148,65 \text{ t/ha/ano}$ .

Para efeito de comparação, Lepsch (2002), ao apresentar taxas de erosão laminar de parcelas experimentais de diferentes usos da terra, mostra que a taxa de erosão laminar para uma área de cultivo de algodão é de  $38 \text{ t/ha/ano}$ , ou seja, aproximadamente quatro vezes menor que a taxa de erosão linear estimada neste trabalho.

## 5. Conclusões

Os resultados apresentaram a significativa quantidade estimada de perda de solo pela ação acelerada do processo erosivo do tipo linear se comparada às estimativas de erosão do tipo laminar. A área degradada deste estudo sofre processo de ravinamento e as proximidades de nascentes de um fundo de vale podem indicar uma tendência ao voçorocamento caso não sejam implantadas técnicas de controle para o processo erosivo linear.

As estimativas de perda de solo com métodos de monitoramento são apresentadas

em vários trabalhos a partir da década de 1960 com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo, entretanto o uso de metodologias com o sistema GNSS demandam recursos e na região de estudo não foram encontradas referências para efeito de comparação dos resultados.

Entretanto, esta situação de degradação representa uma necessidade de controle da erosão de solos com a implantação de métodos de terraceamento em curvas de nível e barramentos de baixo custo, inclusive com materiais como bambus, troncos de madeira, pneus, entre outros, visando a diminuição do escoamento concentrado das águas pluviais que favorece a incisão e o aprofundamento da feição erosiva, além de proposta de revegetação da área com espécies pioneiras e de crescimento rápido.

## 6. Agradecimentos

O autor agradece ao Laboratório de Astronomia, Topografia e Geodésia e ao Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos, ambos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp de Presidente Prudente, pelo apoio no fornecimento dos equipamentos necessários para coleta dos dados.

## 7. Referências

Almeida Filho, G. S.; Gouveia, M. I. F.; Canil, K. (1997). Mapa de suscetibilidade à erosão no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT/DAEE, Escala 1: 500.000.

Boin, M. N. (2000). Chuvas e erosões no

Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 264 p.

Camargo, O. A.; Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. (2009). Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim Técnico 106, Instituto Agrônomo de Campinas.

Cassetti, V. (1983). Estudos dos efeitos morfodinâmicos pluviais no planalto de Goiânia-GO. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo.

Furon, R. (1947). L'Erosion du sol. Paris: Payot.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1981). Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 500.000. São Paulo: IPT, vol. I. (Publicação IPT 1.184).

Lepsch, I. F. (2002). Formação e conservação do solo. São Paulo: Oficina de Textos.

Lopes, S. L.; Guerra, A. J. T. (2001). Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis/SC. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Anais..., 7, Goiânia.

Monico, J.F.G. (2008). Posicionamento pelo

GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora da Unesp.

Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. Pnas, n.33, v. 104. Disponível em: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0611508104>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. (1967). La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo. Roma: FAO, Cuadernos de Fomento Agropecuario.

Rossato, M. S.; Bellanca, E. T.; Fachinello, A.; Cândido, L. A.; Suertegaray, D.M.A. (orgs.). (2003). Terra: feições ilustradas. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Salomão, F. X. T. (1999). Controle e prevenção dos processos erosivos. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. (orgs.) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.229-267.

Suarez, J. M. (1991). A localização das cidades no extremo oeste do Estado de São Paulo (Brasil) e seus problemas. In: Encontro de Geógrafos de América Latina, Anais..., 3, Toluca, México. p. 323-36.

Sudo, H. (1980). Bacia do Alto Santo Anastácio: estudo geomorfológico. Tese (Doutorado em Geografia Física com ênfase em Geomorfologia), Faculdade de Filosofia,

Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

Suertegaray, D. M. A. (2005). A subordinação que recria e reinventa a natureza. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE

GEÓGRAFOS, 10., Anais... São Paulo.

Wilkinson, B. H.; Mcelroy, B. J. (2007). The impact of humans on continental erosion and sedimentation. Geological Society of America Bulletin, n.119, p.140-156.