



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

*Campus de Rio Claro*

**PATRÍCIA BORGES SILVEIRA**

**INFLUENCIA DA ESCALA NOS RESULTADOS DE  
ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO POR MEIO  
DA EUPS**

Rio Claro - SP

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

*Campus* de Rio Claro

**PATRÍCIA BORGES SILVEIRA**

**INFLUENCIA DA ESCALA NOS RESULTADOS DE  
ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO POR MEIO  
DA EUPS**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

**Orientadora: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci**

Rio Claro - SP

2017

**PATRÍCIA BORGES SILVEIRA**

**INFLUENCIA DA ESCALA NOS RESULTADOS DE  
ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO POR MEIO  
DA EUPS**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Comissão Examinadora

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Cenira Lupinacci.

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leandro de Souza Pinheiro.

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Salvador Carpi Junior

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Rio Claro, SP 01 de Dezembro de 2017.

Resultado: Aprovado.

551.302 Silveira, Patrícia Borges  
S587i Influencia da escala nos resultados de estimativa de perda  
de solo por meio da EUPS / Patrícia Borges Silveira. - Rio  
Claro, 2018

126 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientadora: Cenira Maria Lupinacci

1. Erosão. 2. Geomorfologia. 3. Erosão dos solos. 4.  
EUPS. 5. Extensão de vertente. I. Título.

**À Deus, pela força e graça dessa conquista.**

## **AGRADECIMENTO**

À minha orientadora Cenira Lupinacci pela dedicação e ensinamentos durante esses 14 anos de orientação: muito obrigado!

À minha família pelo apoio e compreensão durante esses anos, ao meu esposo Alan, pelas palavras de incentivo e coragem.

À todos os amigos do Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, pelos momentos de ajuda, de companheirismo e de muitas alegrias.

Ao CNPQ pelo crédito da concessão da bolsa.

## RESUMO

Dentre os recursos naturais que o homem necessita para sobreviver, o solo se insere na lista dos mais importantes, sendo um dos suportes da produção agrícola, a fim de abastecer as populações. Contudo, pesquisadores do mundo todo têm alertado que devido à pressão de uso e ocupação da terra, os solos tendem a se modificarem pela força da água e dos ventos o que ocasionará a formação de desertos. Assim, visando contribuir com estudos que buscam a preservação e conservação dos solos para fins agrícolas, a presente pesquisa tem por objetivo colaborar com o aprimoramento de modelo preditivo de erosão (EUPS), visando uma melhor aproximação entre os dados de estimativa de perda de solo obtidos com o modelo e os dados registrados em campo. Para atingir os objetivos propostos e avaliar as hipóteses formuladas, a Equação Universal de Perdas de Solo, EUPS, foi aplicada na bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei, na escala de 1:10.000, utilizando três diferentes técnicas de obtenção dos valores referentes ao fator topográfico da EUPS. Tais resultados foram comparados com os dados obtidos em duas vertentes selecionadas dessa bacia na escala de detalhe de 1:1.000, a fim de verificar como a escala interfere nos resultados obtidos com o referido modelo. Os resultados mostraram que a escala de maior detalhe favorece a obtenção de dados de melhor qualidade, a fim de apresentar valores finais de EPS mais reais, já que permite a obtenção de dados menos generalizados. Além disso, os valores de estimativa de perda de solo adquiridos com o modelo EUPS foram comparados com duas parcelas de experimentação, pinos de erosão e calhas de Gerlach, indicando valores muito discrepantes dos dados reais de perda de solo. Dessa forma, entende-se que a variedade de dados encontrados na presente pesquisa demonstra a necessidade de se concentrar esforços na busca de obtenção de valores mais satisfatórios dos parâmetros que compõem a EUPS, a fim de que o modelo citado, amplamente usado no mundo todo, possa ser um instrumento que forneça subsídios a fim de planejar e viabilizar ações de uso e ocupação da terra e práticas conservacionistas que visem amenizar o desencadeamento dos processos erosivos em áreas agrícolas.

Palavras-Chave: Geomorfologia. Erosão dos Solos. EUPS. Extensão de Vertentes.

## **ABSTRACT**

Among the natural resources that man needs to survive, the soil is included in the list of the most important, since without it the agricultural production, in order to supply the populations, becomes unfeasible. However, researchers around the world have warned that due to improper exploitation, the world's soils tend to change by force of water and wind, which will lead to the formation of uninhabitable deserts. Thus, in order to contribute to studies that seek the preservation and conservation of soils for agricultural purposes, this research aims to collaborate with the improvement of the predictive model of erosion (EUPS), aiming at a better approximation between the data of estimation of soil losses obtained with the model and the data registered in the field. In order to reach the proposed objectives and to evaluate the hypotheses formulated, the Universal Soil Loss Equation (EUPS) was applied in the Alam Grei river basin, in the scale of 1: 10,000, using three different techniques to obtain the values referring to the topographic factor of the EUPS. These results were compared with the data obtained in two selected slopes of this basin in the detail scale of 1: 1,000, in order to verify how the scale interferes in the results obtained with said model. The results showed that the scale of detail favors the obtaining of data of better quality, in order to present final values of more real EPS, since it allows obtaining data less generalized. In addition, the soil loss estimation values acquired with the EUPS model were compared with two experimental plots, erosion pins and Gerlach gutters, indicating very discrepant values of the actual soil loss data. In this way, it is understood that the variety of data found in the present study demonstrates the need to concentrate efforts in the search for obtaining more satisfactory values of the parameters that make up the EUPS, so that the model mentioned, widely used worldwide, can be an instrument that provides subsidies in order to plan and make feasible land use and occupation actions and conservation practices aimed at mitigating the triggering of erosion processes in agricultural areas.

Keywords: Geomorphology. Soil Erosion. USLE. Extension Slope.

## LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 – Localização das áreas de estudo.....	34
Figura 2 - Esboço Geológico da bacia do ribeirão Alam Grei, SP.....	35
Figura 3 – Solos da bacia do ribeirão Alam Grei.....	38
Figura 4 – Presença de Latossolos em setor da alta bacia do ribeirão Alam Grei (SP).....	37
Figura 5 – Presença de Argissolos na alta bacia e média bacia oeste do ribeirão Alam Grei (SP).....	39
Figura 6 – Presença de Neossolos Litólicos na bacia do ribeirão Alam Grei (SP).....	40
Figura 7 – Esboço Pedológico do sítio Lagoa Grande.....	41
Figura 8 – Carta de Declividade do ribeirão Alam Grei (SP).....	43
Figura 9 – Carta de Declividade do Sítio Lagoa Grande.....	45
Figura 10 – Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal da bacia do ribeirão Alam Grei.....	46
Figura 11 – Carta de Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal do sítio Lagoa Grande.....	47
Figura 12 – Instrumentos para análises visuais e de textura dos solos em campo.....	54
Figura 13 – Pontos de amostragem da bacia do ribeirão Alam Grei, SP.....	55
Figura 14 – Pontos de amostragem no sítio Lagoa Grande.....	55
Figura 15 – Parcelas Experimentais de Calhas de Gerlach instaladas no sítio Lagoa Grande.....	69
Figura 16 – Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 1.....	72
Figura 17 – Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 2.....	73
Figura 18 – Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 3.....	74
Figura 19 - Carta de Estimativa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 1.....	76
Figura 20 - Carta de Estimativa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 2.....	77
Figura 21 - Carta de Estimativa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 3.....	78
Figura 22 – Carta de Estimativa de perda de Solo do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 1.....	88
Figura 23 – Carta de Estimativa de Perda de Solo do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 2.....	89
Figura 24 – Carta de Estimativa de Perda de Solo do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 3.....	90
Figura 25 – Cobertura Vegetal de Mata no Interflúvio do ribeirão Alam Grei e o afluente “a”.....	87
Figura 26 – Carta de Potencial Natural à Erosão do Sítio Lagoa Grande – Técnica 1.....	91
Figura 27 – Carta de Potencial Natural à Erosão do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 2.....	93
Figura 28 – Carta de Potencial Natural à Erosão do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 3.....	94
Figura 29 – Parcela experimental da calha coletora de Gerlach no setor sudeste do sítio Lagoa Grande em área de pasto sujo.....	96
Figura 30 – Feições erosivas lineares no setor sudeste do sítio Lagoa Grande (SP).....	97
Figura 31 – Área de APTF no setor oeste do sítio Lagoa Grande.....	98

Figura 32 - Parcela experimental da calha coletora de Gerlach no setor sudeste do sítio Lagoa Grande em área de cultivo perene.....	100
Figura 33 – Solos na área da parcela experimental do setor leste.....	105
Figura 34 – Solos na área da parcela experimental do setor oeste.....	110
Figura 35 – Perdas Totais de Solo de acordo com a técnica de obtenção dos dados de extensão das vertentes, em escalas distintas, nos pontos de análise 2, 3, 4 e 5.....	110

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classes de declividade determinadas para a presente pesquisa.....	49
Quadro 2 - Classes de Dissecação Horizontal da bacia do ribeirão Alam Grei e do sítio Lagoa Grande.....	51
Quadro 3 – Etapas da construção da primeira base de cálculo dos fatores da EUPS.....	57
Quadro 4 – Etapas da construção da segunda base de cálculos dos fatores da EUPS.....	57
Quadro 5– Etapas da construção da terceira base de cálculos dos fatores da EUPS.....	58
Quadro 6 – Valores médios das classes de declividade da bacia do ribeirão Alam Grei...	60
Quadro 7 – Classes de Dissecação horizontal do relevo da bacia do ribeirão Alam Grei (SP) e do sítio Lagoa Grande (SP) e respectivos valores da extensão das vertentes.....	61
Quadro 8 – Classes de Solos da bacia do ribeirão Alam Grei e valores de K.....	64
Quadro 9 – Classes de uso e ocupação da terra da bacia do ribeirão Alam Grei e valores de CP.....	64
Quadro 10 – Classes de potencial natural à erosão da bacia do ribeirão Alam Grei.....	66
Quadro 11 – Classes de estimativa de perdas de solo de acordo com o índice de tolerância de perdas para cada tipo de solo da bacia do ribeirão Alam Grei.....	68
Quadro 12 – Valores de estimativa de perdas de solo através do modelo preditivo EUPS e perdas reais de solo através das parcelas experimentais.....	82
Quadro 13 – Comparação dos valores absolutos de estimativa de perda de solo adquiridos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão das vertentes com os dados de perda de solo das parcelas experimentais.....	86
Quadro 14 – Comparação dos valores de estimativa de perdas de solo através das três técnicas de distintas de obtenção dos dados da extensão da vertente e das parcelas experimentais...	96
Quadro 15 - Comparação dos valores de estimativa de perdas de solo através das três técnicas de distintas de obtenção dos dados da extensão da vertente e das parcelas experimentais.....	100
Quadro 16 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e dados de perdas de solo reais no ponto 1.....	101
Quadro 17 - Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perdas de solo reais no ponto 2.....	102
Quadro 18 – Análise granulométrica do solo.....	104
Quadro 19 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perdas de solo no ponto 3.....	106
Quadro 20 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perdas de solo em campo no setor de média vertente, ponto 4.....	107
Quadro 21 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perdas de solo em campo no setor de média vertente através das calhas coletoras de Gerlach, ponto 5.....	108

Quadro 22 – Análise granulométrica do solo 2.....	109
---	-----

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Precipitação Mensal obtida na Fazenda São José, Rio Claro, SP.....	62
Tabela 2 - Fator R a partir dos dados de chuva da estação pluviométrica D4-016.....	63
Tabela 3 – Dados mensais de chuva obtidos com pluviômetro 1 em área de citricultura no sitio Lagoa Grande.....	63
Tabela 4 – Dados mensais de chuva obtidos com pluviômetro 2 em área de pasto no sitio Lagoa Grande.....	63
Tabela 5 – Fragmento da planilha de cálculo do PNE.....	65
Tabela 6 – Fragmento da planilha de cálculo do EPS.....	67

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Total de solos (g) coletados na parcela experimental da calha de Gerlach e as quantidades de chuva (mm) mensais no setor leste do sitio Lagoa Grande.....	104
Gráfico 2 - Total de solos (g) coletados na parcela experimental da calha de Gerlach e as quantidades de chuva (mm) mensais no setor leste do sitio Lagoa Grande.....	109
Gráfico 3 – Perdas Totais de Solo de acordo com a técnica de obtenção dos dados de extensão das vertentes, na escala de 1:10.000, no ponto 1.....	112
Gráfico 4 – Comparação dos dados totais de solo adquiridos com as duas parcelas experimentais das calhas coletoras de Gerlach.....	113
Gráfico 5 – Valores de perda de solo, em ton/ha/ano, de acordo com as parcelas dos pinos de erosão em diferentes usos da terra.....	115

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2 HIPÓTESES .....</b>	<b>13</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
3.1 Teoria Geral dos Sistemas.....	14
3.2 Erosão Hídrica de Superfície.....	17
3.3 A Equação Universal de Perdas de Solo.....	22
3.4 As Calhas de Gerlach e os Pinos de Erosão.....	30
<b>4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
<b>5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>48</b>
5.1 Procedimentos Cartográficos nas escala de 1:10.000 e 1:1.000.....	48
5.1.1 As Bases cartográficas.....	48
5.1.2 Cartas de Declividade.....	49
5.1.3 Cartas de Dissecação Horizontal.....	50
5.1.4 Cartas de Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal.....	52
5.1.5 Cartas de Forma de Vertente.....	52
5.1.6 Esboços Pedológicos.....	53
5.2 As Bases de Cálculo dos Fatores da EUPS.....	56
5.3 Fatores da Equação Universal de Perdas de Solo.....	59
5.4 Integração de Dados pela EUPS: as Cartas de Potencial Natural à Erosão (PNE) e de Estimativa de Perdas de Solo (EPS).....	65
5.5 As Parcelas de Monitoramento.....	68
<b>6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
6.1 Análise Comparativa dos Dados de Estimativa de Perda de Solos na Escala 1:10.000.....	71
6.2 Análise Comparativa dos Dados de Estimativa de Perda de Solos na Escala 1:1.000.....	87
6.3 Discussão e comparação dos resultados obtidos com o modelo nas escalas 1:10.000 e 1:1.000 com os resultados de perdas obtidos com as parcelas experimentais.....	101
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>116</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>120</b>

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Impactos na natureza vêm ocorrendo de forma acelerada pela crescente pressão exercida pelas atividades antrópicas. O crescimento elevado do número de habitantes no planeta, que hoje atinge, aproximadamente, sete bilhões (ONU, 2016), bem como a intensificação da produção industrial e agrícola, levou o homem a explorar os recursos terrestres de forma também acelerada a fim de suprir a demanda mundial.

Várias pesquisas e estudos, governamentais ou não, têm alertado sobre a diminuição dos recursos naturais num ritmo acelerado, mais do que o sistema terrestre pode suportar. Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que a utilização incorreta dos recursos naturais vêm ocorrendo devido o desenvolvimento das economias nacionais, o que tem ocasionado danosas consequências ao homem. De acordo com os autores “as florestas se acabaram, grandes extensões de terra perderam a fertilidade pela erosão ou pelo desgaste dos nutrientes do solo, a fauna diminuiu, as fontes de água declinaram. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990, p.27)

Os autores ressaltam ainda que resolver o problema da escassez dos recursos naturais não é tarefa para uma minoria da sociedade, mas sim dever de todos, a fim de preservar os recursos que, de acordo com eles “formam a base da economia da Nação.” (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1990, p. 27)

Macagnan (1990, p.1) ao se referir também aos recursos naturais afirma que preservá-los é dever de toda a sociedade e não só da comunidade científica, haja visto que todos dependemos do sistema natural para sobreviver.

Segundo Machado et al (2013, p. 42), a preservação dos recursos naturais solo e água são de vital importância para o planeta pois permitem a vida dos biomas, assim como os habitats das espécies e a variedade das paisagens, florestas e plantações. De acordo com os autores citados, o mundo todo tem enfrentado a degradação de seus recursos naturais que, no Brasil, resultam principalmente das atividades antrópicas como a construção de estradas, atividades industriais e agrícolas mal planejadas.

Dentre os recursos naturais que o homem necessita para sobreviver, o solo se insere na lista dos mais importantes, já que sem esse a produção agrícola, a fim de abastecer as populações, torna-se inviável. De acordo com a ONU, citado pela Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo (2016), o solo é um patrimônio da humanidade e seu uso indevido, sem práticas conservacionistas adequadas, está causando perdas muito além dos níveis toleráveis.

Para Lepsch (2010) o desenvolvimento da agricultura deve ser realizado de maneira sustentável a fim de provocar o mínimo impacto na natureza. De acordo com o autor citado:

Na maior parte dos sistemas de cultivo é preciso retirar a cobertura vegetal original e revolver o solo com arado, fertilizá-lo e, por vezes irrigá-lo. Essas operações, quando efetuadas sem o devido cuidado, promovem a erosão acelerada e outras formas de degradação. (LEPSCH, 2010, p.184)

Este autor afirma ainda que o cultivo dos solos para fins agrícolas deve ser realizado de acordo com preceitos conservacionistas, onde se torna necessário um planejamento do uso racional dos mesmos, baseado nas escolhas adequadas das espécies e dos tipos de solos, já que cada um possui um limite máximo de possibilidade de uso.

A identificação do grau de intensidade máxima de cultivo, aplicado em determinado solo, sem que ele se degrade ou sofra diminuição permanente da sua produtividade, é muito importante para ajudar nas decisões de como obter uma boa e permanente razão custo-benefício das atividades agrícolas. (LEPSCH, 2010, p. 206).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993) devido à exploração indevida, os solos do mundo tendem a se modificarem pela força da água e dos ventos o que ocasionará grandes transtornos ao homem, principalmente no que se diz respeito à agricultura. Para os autores, a perda de solo através dos processos erosivos possui uma relação direta com a fome, já que “as terras erosionadas são terras que reduziram, às vezes totalmente, sua capacidade de produção agrícola.” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993, p. 11)

Dessa forma, fica evidente a necessidade de trabalhos científicos que visem oferecer subsídios para uma política de preservação, conservação e recuperação desse recurso natural tão indispensável à vida humana. Conhecer as características do meio físico, bem como as relações desse com as atividades antrópicas se tornam essenciais para atingir tal objetivo. Christofolletti (1979, p. 55) afirma que a natureza funciona como um sistema, onde é necessário, para manter seu equilíbrio, “(...) o ajustamento completo das suas variáveis internas às condições externas”.

Assim, tendo como lastro teórico que uma bacia hidrográfica funciona como um sistema, o objetivo desse trabalho é contribuir no detalhamento de procedimentos de coleta e análise de dados dos fatores do modelo EUPS para a estimativa de perda de solo por erosão hídrica de superfície e validação do mesmo com dados observados em campo. Para isso, os resultados obtidos com o modelo preditivo foram comparados com resultados obtidos em diversificados experimentos de campo, pinos e parcelas de monitoramento de erosão, em duas

escalas distintas (1:10.000 e 1:1.000), buscando entender assim, como a escala pode interferir nos resultados de perda de solo da EUPS. Dessa forma, a pesquisa busca obter dados de perdas de solo mais próximos do real e, assim, apresentar subsídios mais consistentes para políticas de planejamento territorial de determinadas áreas.

Para isso, serão realizadas as seguintes etapas:

- Analisar os valores de perda de solo obtidos por meio do modelo EUPS, na escala de 1:10.000 e 1:1.000;
- Comparar os valores de perdas de solo obtidos com o modelo, nas duas escalas, com os valores de perdas fornecidos pelos experimentos;
- Analisar a influencia da escala de trabalho no resultado da estimativa de perda de solo.
- Contribuir para o planejamento do uso da terra da bacia do ribeirão Alam Grei, que, de acordo com o Plano Diretor do município de Rio Claro, é um dos setores de expansão da cidade.

## **2. HIPÓTESES**

Tais objetivos foram definidos em função das seguintes hipóteses de trabalho:

- 1) O modelo EUPS estima valores de perda de solo mais próximos do real quando aplicados em escala de detalhe, pois é possível maior precisão na obtenção dos dados referentes às variáveis que desencadeiam processos erosão hídrica de superfície.
- 2) As técnicas de obtenção dos dados das variáveis para a aplicação da EUPS precisam ser refinadas para garantir estimativas mais convergentes com os dados observados em campo.

Para atingir os objetivos propostos e avaliar as hipóteses formuladas, a Equação Universal de Perda de Solo, EUPS, foi aplicada na bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei, na escala de 1:10.000, utilizando três diferentes técnicas de obtenção dos valores referentes ao fator topográfico da EUPS. Tais resultados foram comparados com os dados obtidos em duas vertentes selecionadas dessa bacia na escala de detalhe de 1:1.000, a fim de verificar como a escala interfere nos resultados obtidos com o referido modelo.

Assim, a pesquisa foi validada a partir da comparação dos resultados estimados pelo modelo, nas duas escalas, com aqueles provenientes de parcelas experimentais das calhas de erosão e dos pinos de erosão.

Para isso, a presente tese encontra-se organizada da seguinte maneira: primeiramente, é apresentada a Revisão Bibliográfica, seguida pelos Procedimentos Metodológicos, capítulos esses que oferecem o suporte teórico e metodológico à presente pesquisa. Em seguida, apresenta-se a Caracterização da Área de Estudo, onde encontram-se as características físicas e de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal da mesma. Logo após, está a Análise dos Resultados, onde são apresentados os resultados obtidos com as técnicas de obtenção do fator topográfico da EUPS nas duas escalas de trabalho, seguida das Considerações Finais e Referências Bibliográficas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Teoria Geral dos Sistemas**

De acordo com Christofolletti (1979), a abordagem sistêmica é um importante instrumento conceitual nas mãos do pesquisador, inclusive do geógrafo, por facilitar o tratamento dos conjuntos complexos, como os da organização espacial, onde o sistema é um conjunto de unidades que apresentam relações entre si, sendo que “cada unidade é controlada, condicionada ou dependente do estado de outras unidades (CHRISTOFOLLETTI, 1979, p. 1)

Vicente e Perez Filho (2003) afirmam que a teoria geral dos sistemas começou a se construir com vários pesquisadores, de forma distinta e esporádica, quando os mesmos se deparavam com questões que não eram possíveis de serem respondidas sob a ordem cartesiana.

[ ] é a partir do começo do século XIX, que surgem os primeiros enunciados físico-matemáticos na busca de uma compreensão sistêmica do comportamento dos elementos, calcados na incapacidade da física Newtoniana em explicar processos conservativos e dissipativos do calor, dando origem à Termodinâmica[ ] (VICENTE E PEREZ FILHO, 2003, p. 329)

Contudo, foi com Ludwig von Bertalanffy que a Teoria Geral dos Sistemas ganhou forma, sendo aplicada primeiramente na termodinâmica e na biologia.

A proposta de Bertalanffy (1973, p.28) pressupunha uma episteme complexa e que, na essência, buscava uma linguagem científica única que englobasse todos os campos do conhecimento, permeando a Biologia, a Engenharia, a Física, a Matemática, a Psicologia, as Ciências Sociais, as Ciências da Terra e outras, através da definição e análise de componentes e estruturas funcionais inerentes a todos os campos da realidade, os quais colocam-se como suporte para sua compreensão, os sistemas. (VICENTE E PEREZ FILHO, 2003, p. 329)

Christofoletti (1979) afirma que os sistemas podem ser classificados conforme critérios variados, sendo que, para os estudos geográficos, o critério funcional e o da complexidade estrutural são os mais importantes. Assim, de acordo com o critério funcional, os sistemas *abertos* são os mais comuns, sendo entendidos com “aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria...” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 15). Como exemplo de um sistema aberto podemos citar a bacia hidrográfica, objeto de estudo da presente pesquisa.

De acordo com o critério da complexidade estrutural, o sistema *controlado*, definido por Christofoletti (1979) como aquele que possui a intervenção humana sobre os sistemas de *processo-resposta*, é o que se mostra adequado para a presente pesquisa, já que, a atuação humana interfere na complexidade do sistema, ou seja, “o homem ao intervir em determinadas variáveis do sistema produz modificações na distribuição de matéria e energia dentro do sistema.” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 19)

Para Vicente e Perez Filho (2003), uma das grandes contribuições ao estudo dos sistemas encontra-se em obras de Prigogine, onde o mesmo aplica as leis da Termodinâmica ao estudo do comportamento de sistemas complexos, já que o mesmo aprimorou conceitos importantes com “estruturas dissipativas, evolução não linear, complexidade, ordem, auto-organização, retroalimentação e outros.”(VICENTE E PEREZ FILHO, 2003, p. 331). Tais conceitos, segundo os autores citados, são fundamentais para a compreensão do que vem a ser um sistema complexo.

Mattos e Perez Filho (2004) afirmam que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema complexo, já que apresenta algumas características peculiares que, segundo os autores, são características desses sistemas, a saber: não-linearidade e realimentação; o todo é diferente da soma das partes; aninhamento hierárquico; atratores e repulsores; sistemas abertos e afastados do equilíbrio termodinâmico e auto-organização.

Segundo Rocha e Morgado Souza (2007):

[ ]podemos encarar um sistema complexo como uma entidade, coerente de uma forma reconhecida, mas cujos elementos, interações e dinâmicas, geram estruturas e admitem o elemento surpresa e novidade, o qual não pode ser definido a priori. Os sistemas complexos são muito mais que a soma das suas partes e, conseqüentemente, qualquer tentativa de modelar a sua estrutura é necessariamente parcial e incompleta. (ROCHA E MORGADO SOUZA, 2007, p.2)

No que diz respeito a *não-linearidade*, Rocha e Morgado Souza (2007) afirmam que essa é uma característica dos sistemas complexos já que implicam em ações imprevisíveis, ou

seja, que não podem ser equacionadas com exatidão. Para Mattos e Perez Filho (2004), a característica da não linearidade indica que não há nos sistemas complexos apenas relações de causa-efeito entre os elementos, ou seja, quando a resposta do sistema a uma dada perturbação é desproporcional ao tamanho da perturbação. Além disso, se tratando da realimentação dos sistemas, Mattos e Perez Filho (2004, p.12) escrevem que “[ ] a existência de mecanismos de retroalimentação negativa garante uma minimização dos efeitos provocados por essa perturbação, enquanto circuitos de realimentação positiva levam à ampliação desses efeitos.”

Para os autores (Mattos e Perez Filho, 2004), a não linearidade e os mecanismos de realimentação são as duas características principais que fazem com que a bacia hidrográfica seja considerada um sistema complexo. Para Christofolletti (1979), os sistemas com retroalimentação negativa tendem a ser estáveis, modificando suas características apenas quando ocorrer um impulso que leve o mesmo a alterar seus elementos. Se houver modificação o sistema evoluirá para atingir um novo estado de equilíbrio. Como exemplo da retroalimentação negativa o autor indica um canal fluvial que:

Se aumentar o volume de água (variação externa), haverá aumento da velocidade. O aumento da velocidade ocasionará aumento da erosão (correlação positiva), e esse provocará aumento na largura do canal (correlação positiva). Todavia, o aumento da largura provocará a diminuição na velocidade da água (correlação negativa). (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 24)

Já em relação a retroalimentação positiva, Christofolletti (1979) afirma que se caracteriza quando “as variáveis reforçam a ação, externamente produzida, ocasionando uma ação de “bola de neve”. (CHRISTOFOLETTI, 1979, p.24). Ou seja, segundo o autor, a retroalimentação positiva irá desestabilizar o sistema devido ao aceleração e ampliação do efeito das forças externas. Como exemplo, o autor cita:

O desmatamento (ação externa) diminui a capacidade de infiltração e aumenta o escoamento superficial (correlação negativa). O aumento do escoamento superficial aumenta a erosão das vertentes (correlação positiva), e essa erosão diminui a capacidade de infiltração (correlação negativa) [ ]. (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 24)

Outra característica bastante importante dos sistemas complexos se refere ao aninhamento hierárquico, característica essa que indica a existência de subsistemas dentro de um sistema de hierarquia maior. Como exemplo, podemos citar a bacia hidrográfica que é composta por sub bacias de menor hierarquia. Além do aninhamento hierárquico, pode-se citar

também a auto-organização como uma característica bastante importante dos sistemas complexos. Segundo Mattos e Perez Filho (2004), a organização do sistema “é a dinâmica que garante a estruturação e o funcionamento do sistema como um todo integrado” (MATTOS E PEREZ FILHO, 2004, p. 13).

Esta ideia implica que os sistemas se organizam a eles próprios de dentro para fora; logo as estruturas não são impostas a partir do exterior, ou seja, a organização deve-se puramente a dinâmicas internas ao invés de alguma força externa. (ROCHA E MORGADO SOUZA, 2007, p.3)

Além dessas, os sistemas complexos são caracterizados também como sendo sistemas abertos já que, vivem em constante troca de energia e matéria com os ambientes externos. Contudo, conforme afirmam Mattos e Perez Filho (2004), os sistemas complexos se comportam diferente de outros sistemas abertos por se manterem afastados do estado de equilíbrio termodinâmico:

[ ] recebem fluxos de energia do ambiente e mesmo assim conseguem se manter com um baixo nível de entropia interna ao longo de sua evolução. A auto-organização deste sistema permite o surgimento de estruturas dissipativas, que expulsam a entropia do interior do sistema ao mesmo tempo em que usam a energia captada do ambiente para aumentar sua organização. (MATTOS E PEREZ FILHO, 2004, p. 13)

Dessa forma, a presente pesquisa considera que o objeto de estudo, a bacia do ribeirão Alam Grei, é caracterizada como um sistema complexo, haja vista as características citadas. Assim, os resultados obtidos com o estudo da mesma serão orientados pelos princípios que regem a teoria dos sistemas.

### **3.2 Erosão Hídrica de Superfície**

Os recursos naturais são de vital importância para as sociedades, que os exploram de acordo com suas necessidades e bem-estar. De acordo com Lepsch (2010, p. 182), a humanidade depende dos recursos naturais, a saber, do ar, água e dos solos para continuar a viver, o que torna necessário que os mesmos se encontrem em boa qualidade.

Contudo, como afirmam Bertoni e Lombardi Neto (1993, p. 27), o aumento da população mundial juntamente com o crescimento econômico de muitas nações fez com que a exploração dos recursos naturais começasse a ocorrer de maneira imprudente. Isso trouxe consequências ruins aos povos, que hoje têm que conviver com florestas degradadas ou

totalmente destruídas, grandes extensões de terras inférteis devido à erosão ou desgaste de nutrientes, redução da fauna e fontes de água totalmente poluídas.

Dentre esses recursos naturais indispensáveis para a sobrevivência do homem na Terra estão os solos, que para Bertoni e Lombardi Neto (1993) se referem à:

[ ] um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal de terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Nessa cobertura, incluem-se, não só as culturas como, também, todos os tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993, p. 28)

Dentre as formas de degradação dos solos, a erosão tem merecido atenção especial dos pesquisadores, haja vista o desencadeamento acelerado desses processos oriundos, principalmente, por causa das atividades agrícolas. Segundo Bordman (1999, citado por Guerra, 2007) a principal causa da degradação dos solos é o avanço agrícola nas áreas onde o homem não tem associado o desenvolvimento dos cultivos com práticas de conservação dos solos.

Lepsch et al (1991) afirmam que a capacidade de sustentação e a capacidade econômica dos solos são ignoradas devido o predomínio da ideia entre os agricultores de que o solo e sua fertilidade inicial são inesgotáveis.

De acordo com Hernani et al (2002) a degradação dos solos brasileiros se dá por várias razões: desmatamento indiscriminado das áreas naturais, o uso das terras além da aptidão recomendada, pela ausência de planejamento e práticas conservacionistas e pelo preparo inadequado dos solos para as atividades agrícolas.

O preparo intensivo do solo com grades de discos tem sido uma das principais causas da degradação das terras nos ambientes subtropicais e tropicais brasileiros. Seus efeitos são sentidos, principalmente, pela redução rápida dos teores de matéria orgânica e as suas consequências sobre a perda de capacidade produtiva do solo (HERNANI et al., 2002, p. 50).

Para Lepsch (2010) a erosão natural dos solos ocorre de maneira lenta devido, principalmente à ação da cobertura vegetal que protege o solo, tornando a remoção das partículas um processo não devastador, já que essa é compensada pelo processo de formação dos solos. Contudo, o autor afirma que esse processo de renovação contínua é rompido quando o homem cultiva a terra, já que a cobertura original é removida e o solo é revolvido através da técnica do arado. Tais práticas causam, segundo o autor, a erosão acelerada dos solos, bem como outras formas de degradação. Lepsch (2010) afirma ainda que:

Existem inúmeros exemplos de regiões outrora ricas e produtivas, nas quais a intensificação da agricultura, provocada pelo aumento descontrolado da população e descuido do solo, ocasionou a erosão acelerada, o que reduziu sua capacidade de produção a níveis ínfimos. (LEPSCH, 2010, p. 184)

Bigarella (2003) também discute a erosão acelerada e afirma que a mesma ocorre quando há a ruptura do equilíbrio entre a erosão natural e a renovação dos solos pelo desgaste das rochas, nas quais os agentes erosivos se tornam favorecidos. Tal ruptura poderá levar a erosão acelerada e a resultados catastróficos. Dessa forma, compreende-se que a ação antrópica é o principal agente acelerador dos processos erosivos, principalmente nas áreas destinadas à agricultura, já que as características naturais da área são modificadas sem que se preste atenção na capacidade de suporte do meio físico.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1993), a erosão é causada por um conjunto de elementos de forças ativas, como a chuva, a declividade e o comprimento do terreno e a capacidade do solo de absorver a água. Além das forças ativas, atuam no processo erosivo as forças passivas, entendidas como a resistência do solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. Dessa forma, os autores compreendem a erosão dos solos como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento, onde “as enxurradas, provenientes das águas das chuvas que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução.” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990, p. 68)

Dentre os agentes erosivos, as chuvas ganham destaque nas áreas de clima tropical devido aos totais pluviométricos elevados desses locais, sendo que, para Wischmeier e Smith (1958), as chuvas determinarão o grau da erosão de acordo com a sua duração, intensidade e tamanho das gotas. Guerra (2007, p. 17), ao se referir às chuvas tropicais como agentes desencadeadores dos processos erosivos, afirma que essas agravam o processo erosivo ao se concentrarem em certas estações do ano.

Segundo Tricart (1977), a erosão pluvial consiste na “destruição dos agregados do solo pelo impacto das gotas da chuva” (TRICART, 1977, p.26). Para o autor, a erosão pluvial é função da energia cinética das gotas da chuva e da resistência mecânica dos agregados, resistência essa que irá depender das características do solo.

Penteadó (1980) afirma que o tipo de escoamento superficial depende de alguns fatores como a declividade da vertente, a litologia e a cobertura vegetal. Contudo, a autora ressalta que as condições climáticas que comandam o regime das chuvas e da temperatura são de suma importância para o deslocamento dos materiais em superfície.

Dessa forma, os locais de clima tropical sofrem intensamente com a chamada erosão hídrica, ou seja, aquela onde o principal agente desencadeador dos processos erosivos é a água. Tal processo erosivo se inicia com o impacto da água da chuva nos solos onde haverá o desprendimento das partículas de solo, gerando o salpicamento, que está diretamente relacionado à velocidade da queda da água, ao tamanho das gotas e à intensidade da chuva. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990, p. 71).

Christofoletti et al (1994) também explica o início processo erosivo a partir do impacto das gotas da chuva no solo, o que provocará o arrancamento e deslocamento das partículas terrosas proporcionalmente à energia cinética das gotas.

A erosão hídrica pode ser classificada como laminar ou em lençol, em sulcos e voçorocas, se formando de acordo com a intensidade e concentração do escoamento superficial das águas. A erosão laminar se refere àquela na qual ocorre a lavagem do solo nos terrenos arados, ou ainda como coloca Christofoletti (1980, p. 30) é “quando as águas escorrem sem hierarquia e fixação dos leitos, anastomosando-se constantemente.”

Bertoni e Lombardi Neto (1990, p. 76) afirmam que a erosão laminar é bastante perigosa, já que essa é menos perceptível, pois se refere à retirada das camadas mais delgadas do solo sobre toda uma área. De acordo com os autores citados “a erosão laminar arrasta primeiro as partículas mais leves do solo, e considerando que a parte mais ativa do solo de maior valor, é a integrada pelas menores partículas, pode-se julgar os seus efeitos sobre a fertilidade do solo.” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990, p. 76)

Segundo Bigarella (2003) na erosão laminar ocorre a remoção progressiva e sucessiva de películas do solo, afetando as partículas mais finas deste, e por ser difícil detectá-la se torna altamente danosa à agricultura.

Já a erosão em sulcos se refere àquelas irregularidades do terreno devido a concentração da enxurrada, que poderá evoluir de pequenos sulcos para voçorocas caso a erosão não seja contida. Em fases iniciais os sulcos podem ser removidos com o preparo das terras agrícolas, porém, quando em estágios mais avançados, poderá ocorrer a destruição de áreas agrícolas e até mesmo urbanas.

Christofoletti (1980) descreve que os sulcos e ravinas surgem quando o escoamento superficial se concentra, intensificando assim sua ação erosiva “fixando o leito, deixando marcas sensíveis na superfície topográfica” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 30). Bigarella (2003), afirma que a erosão em sulcos depende bastante das ranhuras ou irregularidades do terreno, bem como de pequenos obstáculos encontrados no mesmo, que farão com que o fluxo laminar de água passe a escoar num padrão de filetes.

Além da ação das águas, não se pode deixar de considerar como fundamental no processo de contenção da erosão dos solos o papel desempenhado pela cobertura vegetal de cada uso da terra, já que cada uma irá exercer diferentes resistências à ação das águas das chuvas. Tricart (1977) afirma que “[ ] quando não há interceptação energética pela cobertura vegetal, as gotas sempre chegam ao solo com a velocidade limite, o que significa com a maior energia possível em função do tamanho das gotas, ou seja, em função da intensidade da precipitação.” (TRICART, 1977, p. 24)

Da mesma forma, Macagnan (1990) afirma que áreas que apresentam o mesmo tipo de solo, a mesma declividade e que recebem a mesma quantidade de chuvas irá apresentar graus de erosão diferentes se apresentarem coberturas vegetais distintas.

Quando cai em um terreno coberto com densa vegetação, a gota de chuva se divide em inúmeras gotículas, diminuindo também, sua força de impacto. Em terreno descoberto, ela faz desprender e salpicar as partículas de solo, que são facilmente transportados pela água. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990, p. 59).

Além dos fatores chuva e cobertura vegetal, outros fatores somam importância no desencadeamento dos processos erosivos, como a natureza dos solos, a declividade do terreno e a infiltração da água. Dessa forma, é necessária a compreensão desses fatores e suas inter-relações a fim de que se possa compreender a forma de atuação de cada um, para, a partir desse conhecimento, se estabelecer as estratégias para o combate a erosão dos solos.

Em relação à natureza dos solos, esses irão sofrer mais ou menos o desencadeamento dos processos erosivos de acordo com suas propriedades físicas, ou seja, de acordo com sua estrutura, textura, permeabilidade e densidade. Além disso, as características químicas e biológicas serão importantes para determinar o grau de erodibilidade de cada um deles. Quanto à textura, Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que um solo arenoso, por apresentar espaços porosos grandes, será facilmente arrastado pela enxurrada, enquanto que os solos argilosos terão maior resistência aos processos erosivos devido a força de coesão de suas partículas.

Quanto à sua estrutura, Bertoni e Lombardi Neto (1990, p. 61) afirmam que “a propriedade físico-química da argila faz com que os agregados permaneçam estáveis na presença de água”, fator esse que se torna então de grande importância para conter o arraste do solo, além da quantidade de matéria orgânica presente nos mesmos. Além disso, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990, p.62) “a matéria orgânica retém de duas a três vezes o seu peso em água, aumentando assim a infiltração, do que resulta uma diminuição nas perdas de solo por erosão.”

Em relação às características do terreno, Lepsch (2010) afirma que a declividade do terreno irá influenciar na concentração, dispersão e velocidade da enxurrada, que conseqüentemente proporcionará maior ou menor arraste das partículas de solo. O autor coloca que quanto maior for a declividade, menor será a resistência ao escoamento da água que alcançará maiores velocidades.

Assim, constata-se que as áreas modificadas pela ação antrópica, principalmente àquelas de uso agrícola irão sofrer mais intensamente com os processos erosivos, já que as características naturais do terreno são grandemente alteradas, o que poderá propiciar ambiente favorável ao desencadeamento de tais processos.

Tavares e Vitte (1993) afirmam que em estudos realizados por Bellizanni Jr. et al, no ano de 1981, o Brasil apresentava cerca de 80% de sua área cultivada sofrendo processos erosivos além dos limites de tolerância. De acordo com Veiga Filho (1992, citado por Pereira, 2010) o Brasil perde anualmente cerca de 600 milhões de toneladas de solo agricultável.

### **3.3 A Equação Universal de Perda de Solo**

A fim de se criar ações de planejamento e conservação das áreas agrícolas, o uso de modelos matemáticos para avaliar e quantificar as perda de solo de uma área cultivada, juntamente com os experimentos de campo se tornou de suma importância. De acordo com Hagget e Chorley (1974, citado por Christofolletti, 1999) “modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes.” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 8)

O autor citado afirma ainda que o modelo apresenta um quadro simplificado do mundo e que o mesmo consiste num conjunto de técnicas capazes de compor esse quadro, e ainda, que os modelos podem ter “a formulação qualitativa ou quantitativa, expressa em termos lógicos ou matemáticos”. (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 19)

Chorley (1962) também afirma a importância dos modelos que, apesar de apresentarem uma estruturação simplificada da realidade, são construídos a partir de características consideradas fundamentais desta realidade. Segundo Skilling (1964, citado por Chorley, 1962):

O modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma ideia estruturada. Pode ser uma função, uma relação, uma equação. Pode ser uma síntese de dados. E, mais importante, do ponto de vista geográfico, pode incluir também argumentos sobre o mundo real por meio de representações no espaço (para produzir modelos espaciais) ou no tempo (para produzir modelos históricos). (SKILLING, 1964, citado por CHORLEY, 1962, p.73).

Dessa forma, compreende-se que os modelos, apesar de não serem capazes de reproduzir fielmente os fenômenos da natureza, são importantes, dentre outras, para indicarem aspectos importantes da realidade, e assim se tornam ferramentas necessárias ao pesquisador a fim de conservar, preservar e recuperar elementos do sistema natural.

A Equação Universal de Perda do Solo (USLE – Universal Soil Loss Equation) ou EUPS, como é conhecida no Brasil, constitui-se num modelo antigo, utilizado em diversas partes do mundo, a fim de quantificar perdas de solo por erosão. Derivada da compilação de equações anteriores, a EUPS foi desenvolvida no National Runoff and Soil Loss Data Center, estabelecido em 1954 pela administração da educação e ciência do Agricultural Research Service, dos Estados Unidos, em cooperação com a Universidade de Purdue, conforme afirmam Wischmeier e Smith (1978).

De acordo com Laflen et al (2003), o desenvolvimento de equações para a quantificação de perda de solo por erosão sempre teve maior impulso nos Estados Unidos. Na década de 1940, estudos foram desenvolvidos e importantes pesquisas fizeram com que a modelagem da erosão tivesse grandes avanços, principalmente com os trabalhos de Zing (1940) que se dedicou às pesquisas da declividade e comprimento de rampa como fatores importantes nos processos erosivos. (LAFLEN et al, 2003).

A partir de então, como afirmam Laflen et al (2003), os estudos e a sistematização da modelagem da erosão não pararam mais, pois a cada nova pesquisa outros fatores iam sendo adicionados para quantificar a perda de solos. Contudo, foram Wischmeier e Smith (1965) que desenvolveram a EUPS utilizando informações do Centro de Dados, National Runoff and Soil Loss, como produto de seis fatores representando a precipitação e o escoamento, a erodibilidade do solo, extensão e declividade da vertente, cobertura vegetal e práticas conservacionistas.

Mais tarde, os mesmos autores atualizaram e melhoraram os fatores da equação e a EUPS passou a ser mais aceita e aplicada em várias partes do planeta (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Vale ressaltar que vários trabalhos anteriores foram desenvolvidos até que a EUPS ganhasse a sua forma atual e também que à mesma fossem incluídas outras possibilidades de estudos, como ocorreu no ano de 1941, quando Smith além de adicionar à equação o fator das práticas conservacionistas, desenvolveu também o conceito de limite tolerável de perdas de solo, que seria calculado após os dados apresentados pela EUPS (RENARD; MEYER; FOSTER, 1997). De acordo com Smith (1941) a taxa máxima de perda de solo permitida seria aquela que garantisse a manutenção da fertilidade do solo no tempo.

Tal equação é expressa pela seguinte fórmula:

$$A = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

onde, A é a perda de solo, R é a função da erosividade da chuva, K é a erodibilidade do solo, LS é o fator topográfico, C é uso e manejo da terra e P são as práticas conservacionistas. Dentre esses fatores, a erodibilidade dos solos (K), erosividade das chuvas (R), comprimento da vertente (L) e declividade da vertente (S) constituem-se nos fatores naturais contemplados na equação, e que indicarão o potencial natural à erosão laminar da área a ser estudada. Já os fatores uso e manejo da terra (C) e práticas conservacionistas (P) se referem às características antrópicas da referida equação, que, juntamente com os anteriores, possibilitam calcular as perdas de solo da área estudada.

No Brasil, a EUPS também vem sendo aplicada em várias partes do território, sendo que os trabalhos de Bertoni et al (1975) foram os pioneiros, desenvolvendo pesquisas para as condições existentes no Estado de São Paulo. Porém, como afirma Pinheiro (2012), o desenvolvimento da modelagem de erosão no Brasil ganhou maior força recentemente, sendo a grande maioria da produção científica publicada a partir de 1990.

Vários trabalhos, tanto no Brasil como nos demais países, têm contribuído para a melhoria das técnicas de cálculo dos fatores das equações de perda de solo. Desmet e Govers (1996) utilizaram um arquivo GIS para comparar os valores de LS na EUPS com métodos manuais de trabalho e comprovaram que o mesmo apresentou valores mais corretos do que os métodos manuais.

Já Amore et al (2004) estudaram a importância da escala no cálculo dos fatores da EUPS em três bacias hidrográficas da Sicília. Com a ajuda de programas computacionais e de parcelas de experimentação, os autores concluíram que embora uma escala de maior detalhe possa definir melhor as condições experimentais para a calibração de modelos, a mesma pode não resultar em uma melhor estimativa da erosão.

Mat et al (2000) estudaram os riscos de perda de solo no norte da bacia do Rio Ewaso Ng'iro, no Quênia, através da EUPS e da RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation. Um Sistema de Informação Geográfica, baseado no formato raster, foi usado para calcular interativamente as perdas de solo e os riscos de erosão. Os resultados obtidos foram comparáveis aos valores medidos de perda de solo nas parcelas de erosão instaladas na bacia. Cerca de 36% desta bacia apresentou alto risco de erosão, sendo a maior parte localizadas em áreas de uso e ocupação da terra em pastagens.

Com o objetivo de testar e comparar os resultados obtidos com a aplicação de dois modelos de quantificação de perdas de solo por erosão, Amore et al (2004) aplicaram o modelo EUPS e WEPP em três grandes bacias hidrográficas na região da Sicília, Itália. Como resultado os autores afirmam que o modelo WEPP ofereceu dados mais próximos do real que a EUPS,

dados esses que foram comparados com medidas de sedimentos em campo. Contudo, os autores afirmam que os dois modelos não se mostraram totalmente satisfatórios em relação à escala de trabalho adotada, sendo necessário uma subdivisão da área para que se possa calibrar melhor os modelos e definir melhor as condições experimentais.

Meusburger et al (2010), pesquisaram a importância da cobertura vegetal a fim de evitar a perda de solo em locais alpinos. Através da aplicação do modelo EUPS e PESERA (modelo Pan-Europeu de Avaliação de Risco de Erosão do Solo) os autores quantificaram a perda de solo por erosão em Urseren Valley, nos Alpes Suíços, local este coberto por uma “floresta escassa e com fortes influências antropogênicas devido à pastagem e a agricultura”. (MEUSBURGER et al, 2010, p. 208)

Ao compararem os resultados obtidos com os dois modelos matemáticos citados, os autores afirmam que os valores de perda de solo por erosão obtidos pela EUPS foram muito superiores aos resultados obtidos pelo modelo PESERA, porém, ambos demonstraram uma evolução dos valores erosivos no período avaliado. Ao compararem os resultados das modelagens matemáticas com o observado em campo, os autores concluíram que os dados da EUPS se mostraram mais satisfatórios.

Cebecauer e Hofierkab (2008) também mostraram a importância do uso e manejo da terra como fator a amenizar a perda de solo por erosão em pesquisa realizada em diferentes distritos da Eslováquia destinados ao uso agrícola. Através da aplicação do modelo EUPS os autores detectaram que as mudanças do uso da terra foram fatores determinantes na maior ou menor perdas de solo, tanto em áreas montanhosas como nas áreas mais planas.

Vaezi et al (2008) utilizaram a EUPS para calcular as perdas de solo por erosão em solos calcários. Segundo os autores, o fator erodibilidade (K) da EUPS foi desenvolvido para solos não calcários, sendo necessário então estudos que identifiquem os fatores que afetam a erodibilidade em solos calcários, já que o cálcio, segundo os autores, gera importante estrutura do solo que pode influenciar a erodibilidade do mesmo. Desta forma, os autores avaliaram os fatores que influenciam o fator K em solos calcários em Harshtrood City, noroeste do Irã, área esta utilizada principalmente para uso agrícola.

Os resultados dessa pesquisa indicaram que a erodibilidade dos solos está correlacionado com o índice de areia, sedimentos, silte, areia fina, matéria orgânica e cal. De acordo com os autores, os conteúdos de argila e cal que não foram muito considerados em estudos anteriores da EUPS, “diminuem significativamente os valores de K, devido à seu forte efeito sobre a estabilidade de agregados e na infiltração de água no solo”. (VAEZI et al, 2008, p. 414)

Também com o objetivo de melhorar o cálculo do fator K, erodibilidade, da EUPS, Auerswalda et al (2014) propuseram uma equação alternativa para determinar tais valores, afirmando que a atual equação amplamente utilizada na Europa para determinar esse fator tem falhado em mais de 50% dos casos. Os autores alertam ainda para o fato de que a falha no cálculo do fator erodibilidade pode dobrar os valores de perdas de solo por erosão. Dessa forma, os autores propuseram um conjunto de equações que se adequam mais à realidade dos solos europeus.

Maeda et al (2010) utilizaram a EUPS com o objetivo de avaliar como as mudanças climáticas e o uso da terra agrícola podem promover as perdas de solo por erosão, bem como avaliar os impactos dessas mudanças climáticas na preservação dos solos. O estudo foi realizado no Quênia, em Taita Hills, que segundo os autores é considerada uma das mais importantes regiões do mundo para a preservação biológica. Contudo, o local tem sido afetado pelo desmatamento descontrolado para uso agrícola e sofrido com o aumento dos índices de chuva devido às alterações climáticas. A pesquisa foi realizada através da integração de um modelo dinâmico de paisagem com o modelo EUPS, inseridos num programa de simulação. Os resultados obtidos, segundo os autores, demonstram que, se as tendências atuais de clima e uso da terra persistirem, cerca de 60% das áreas naturais se tornarão agrícolas, causando grande risco para a conservação dos solos devido o aumento significativo dos valores de perdas por erosão.

Parveen e Kumar (2012) a fim de levantarem dados para ajudarem na identificação de áreas prioritárias para implementação de medidas de controle de erosão na bacia superior do Sul Koel, em Chotanagpur, Índia, utilizaram a EUPS para avaliar a perda de solo anual na bacia. De acordo com a pesquisa, a perda média de solo na bacia é de 12,2 ton/ ha/ano, sendo satisfatório a aplicação da EUPS para o objetivo da pesquisa.

No Brasil, trabalhos pioneiros utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo datam dos anos 80. Stein et al (1985) determinaram o potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia hidrográfica do Peixe – Paranapanema, onde através da comparação entre valores de CP ideal e CP real foram definidos diferentes níveis de expectativa à erosão laminar em função do fator CP na referida bacia. Segundo os autores, a expectativa à erosão laminar em função de fatores de uso e ocupação da terra é entendida como a suscetibilidade erosiva que cada gleba de terra está sujeita quando ocupada pelo homem, “sendo expressa pela discrepância entre a ocupação antrópica imposta e a vocação natural da gleba”. (STEIN, et al, 1987, p. 124)

Pinto (1991) ao estudar a atuação de processos de erosão acelerada e de diferentes níveis de susceptibilidade a esses processos no município de Casa Branca (SP), desenvolveu

uma abordagem metodológica utilizando técnicas de sensoriamento remoto - fotografias aéreas, imagens TM/LANDSAT e HRV/SPOT - e um Sistema de Informação Geográfica - SITIM/SIG - INPE- no qual integrou dados de erosividade, erodibilidade e fator topográfico, resultando em valores do potencial natural à erosão. Posteriormente, integrou a esses valores os dados do fator CP, obtendo as perdas de solo por erosão. Além disso, o autor definiu um índice de criticidade de perdas relativas por erosão - ICPR - através da combinação dos valores de perdas de solo com os de tolerância de perdas de solo.

Donzeli, et al (1992) desenvolveram um trabalho piloto na bacia do córrego São Joaquim (SP) utilizando imagens orbitais para o levantamento dos dados de uso e ocupação da terra, e um Sistema de Informação Geográfica para a integração de dados do meio físico do modelo EUPS. Como resultado os autores concluíram que as técnicas de sensoriamento remoto em nível orbital são úteis para a coleta de informações, mesmo quando a área a ser estudada for de menor extensão territorial como a bacia do córrego São Joaquim. Além disso, afirmaram a importância de um sistema computacional do tipo SIG como “instrumento de trabalho que possibilita classificar áreas com base em dados multivariados” (DONZELI, et al, 1992, p.116)

Tavares e Vitte (1993) utilizaram a EUPS a fim de estudar os processos erosivos na bacia do córrego Água Limpa, na região de São José do Rio Preto (SP). Além de estudar os processos erosivos, os autores acompanharam também o processo de assoreamento na represa de Monte Aprazível, localizada na foz do córrego Água Limpa. Os autores detectaram que os valores de perdas de solo na área estudada supera os índices de tolerância, tornando o quadro erosivo bastante preocupante, além do forte assoreamento da represa de Monte Aprazível.

Bueno (1994), a fim de realizar o zoneamento da suscetibilidade à erosão dos solos da alta e média Bacia do Rio Jacaré Pepira (SP), estimou os valores de erodibilidade do solo tomando como referência as seguintes propriedades do solo: argila natural, argila dispersa e umidade equivalente. O índice de erodibilidade do solo foi considerado como sendo a razão entre a relação de dispersão e a relação argila dispersa/umidade equivalente, entendendo-se por relação de dispersão a relação do teor de argila natural/teor de argila dispersa. Posteriormente, o autor atribuiu os valores de erodibilidade para cada tipo de solo, como baixa (0,0122 a 0,0223), média (0,0250 a 0,0347) e alta (0,0350 a 0,0490).

Castro e Valério Filho (1997) estudaram o impacto de diferentes manejos florestais na potencialização de perdas de solo numa pequena bacia hidrográfica, na porção norte do litoral do Espírito Santo. Para isso os autores efetuaram a aplicação da EUPS em quatro cenários distintos de manejo, que os mesmos classificaram de uma situação mais crítica, se referindo àquela com total ausência de técnicas conservacionistas, até aquela considerada pelos autores a

mais propicia a conter as perdas de solo por erosão. Os autores concluíram que as técnicas conservacionistas podem, e muito, ajudar no controle de perdas de solo por erosão, pois através das diferentes simulações foi possível, segundo os mesmos, analisar a estabilidade do ambiente analisado. Contudo, Castro e Valério Filho (1997, p.425) ao se referirem à aplicação da equação universal de perdas de solo, os mesmos afirmam que “apesar da ampla utilização deste modelo nos mais diversos contextos e escalas, a adequacidade de sua aplicação permanece como elemento central de discussão. É necessário, todavia, conferir especial atenção à escala de generalização.”

Para os autores, os pesquisadores que se utilizam dessa equação devem se atentar para os erros aleatórios e sistemáticos que advêm da própria estruturação do modelo que, segundo eles, apresenta limitações.

Moreti, et al (2003) a fim de contribuírem com os estudos de erosão do solo por meio do modelo EUPS estimaram o fator erosividade para uma serie de 49 anos de dados de chuva diária. Além disso, os autores calcularam o período de retorno, a frequência de ocorrência dos índices de erosividade anuais e as quantidades máximas diárias das chuvas necessárias para o dimensionamento mais adequado de canais de terraços agrícolas.

Quanto a Araújo Jr (2003), este utilizou dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento na aplicação de dois modelos predictivos de perda de solo por erosão, a saber, EUPS e MEUPS, na bacia do Ribeirão Bonito (SP), a fim de comparar os resultados obtidos com cada modelo. Segundo o autor, as técnicas empregadas em relação ao sensoriamento remoto e o geoprocessamento se mostraram bastante eficazes para a obtenção dos valores de perdas de solo em ambos os modelos estudados. Além disso, na comparação dos dados de perdas de solo entre os modelos EUPS e MEUPS o autor descreve que houve uma semelhança entre os resultados obtidos.

Prochnow, et al (2005) aplicaram a EUPS numa cultura de café na cidade de Pindorama (SP), a fim de determinarem as perdas de solo por erosão em toda a área. Além disso, os autores calcularam a razão de perda de terra (RPT) e o fator C para a cultura do café com diversos espaçamentos nas linhas e entrelinhas, em condições natural, em um Argissolo-Amarelo eutrófico, obtendo assim resultados que permitem a escolha de espaçamentos que auxiliem no controle das perdas de solo por erosão.

Já Amorim et al (2010) comparam os valores de perda de solo em nove localidades diferentes do Brasil, de acordo com as características edafoclimáticas brasileiras. Para tanto, fizeram uso da aplicação de três modelos quantitativos, EUPS, RUSLE e WEPP (Water Erosion Prediction Project), para estimar a perda de solo por erosão nesses locais, a fim de comparar os

resultados e apontar àquele com resultados mais satisfatórios. Para alcançar o objetivo proposto, a perda de solo estimadas pelos referidos modelos foram comparadas à perda medida em parcelas experimentais, por meio do coeficiente de correlação, da raiz do erro quadrático médio (RMSE), do índice de concordância de Willmott, do índice de confiança, do coeficiente de Nash-Sutcliffe e da eficiência dos modelos.

Lombardi Neto et al (2010) utilizaram o modelo EUPS para estimar dados de perda de solo na Fazenda Canchim da Embrapa Pecuária Sudeste. Para os autores a escolha desse modelo ainda é o mais viável apesar de inúmeros outros se fazerem presentes no cenário internacional. Para os autores:

[ ] devido à necessidade de uma quantidade muito grande de informações requerida, aliada a dificuldades de adaptações desses modelos internacionais e necessidade de tempo e estrutura para criação de modelos nacionais, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e suas variações ainda são uma referência no Brasil para determinação de perda de solo. (LOMBARDI NETO et al, 2010, p. 141)

A pesquisa utilizou a combinação de dois softwares, IDRISI e USLE 2D, para a obtenção dos dados de perda de solo através da EUPS que, segundo os autores se mostraram ferramentas de grande potencialidade na execução da pesquisa, já que forneceram resultados grandemente satisfatórios. Porém, os mesmos citam a necessidade de pesquisas que visem melhorar a aplicação da EUPS com a utilização dessas ferramentas, bem como a utilização de parcelas experimentais para que os dados possam ser melhor comparados.

Thompson e Fidalgo (2013) apresentaram uma metodologia para a estimativa de perda de solos na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu (RJ), a partir do módulo de estimativa de retenção de sedimentos da ferramenta InVest (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs). Tal módulo, emprega a EUPS para identificar a perda potencial de solo, integrando informações sobre relevo, precipitação, padrões de uso da terra e propriedades do solo.

Através dos resultados obtidos os autores concluíram que o modelo EUPS possibilitou a espacialização de classes de perdas de solos com indicações de áreas consideradas mais ou menos vulneráveis aos processos erosivos, considerando os dados disponíveis e suas escalas, apesar das limitações do modelo. Já o uso do InVest para calcular a EUPS apresentou como principal vantagem a possibilidade de integração dos dados necessários em um único ambiente, reduzindo a possibilidade de erros na conversão de dados.

Já Marinho Filho (2014) procurou avaliar o Potencial Natural de Erosão (PNE) dos solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo, determinando as variáveis naturais que compõem esta equação. A erosividade foi

calculada baseando-se nos dados de precipitações ali incidentes, a erodibilidade foi obtida através das características físicas dos solos da região e o fator topográfico através da relação entre o comprimento e a declividade dos taludes existentes na bacia. Segundo o autor, os valores de PNE obtidos para a área de estudo foram altos e os resultados são de grande valia para o estabelecimento de políticas de planejamento ambiental que considerem a susceptibilidade do solo à erosão.

Dessa forma, fica evidente que a equação universal de perdas de solo vem sendo utilizada por inúmeros pesquisadores em diversas partes do mundo, já que a mesma pode ser uma ferramenta útil para prever a erosão dos solos bem como identificar áreas que necessitam de medidas mitigadoras a fim de combater esse problema.

#### **2.4 As Calhas de Gerlach e os Pinos de Erosão**

Além do uso dos modelos matemáticos, é possível realizar a quantificação de perda de solos por meio de processo indutivo, representado pelos experimentos. Nesse contexto, Cunha (1997) afirma que:

Com relação à quantificação dos processos erosivos laminares, constata-se que a partir da abordagem indutiva, representada pela utilização de experimentos que se constituem em medições dos fatos desordenados da realidade, é que se torna possível estabelecer leis gerais que dão origem aos modelos. (CUNHA, 1997, p. 57)

Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que a determinação de perda de solo por erosão pode ser obtida, tanto em laboratório, a fim de se controlar melhor os fatores de estudo, como em campo, onde é possível a melhor reprodução das condições naturais da área de estudo.

De acordo com Morgan (2005, citado por Guerra, 2005) as mensurações obtidas em campo são as mais apropriadas para a coleta de dados sobre a erosão dos solos, por serem mais realistas. Contudo, o autor compreende que a obtenção de tais dados pode ser difícil devido as interferências e mudanças que poderão ocorrer no campo.

Uma das formas de se obter a quantificação de perdas de solo por erosão em campo é com a utilização de uma estação experimental, que de acordo com Guerra (2005) é utilizada em trabalhos no mundo todo. A mais conhecida e utilizada pelos pesquisadores, segundo o autor citado, é aquela que contém como coletor de sedimentos a Gerlach Trough, ou calhas de Gerlach.

Thomaz e Ross (2006) com o objetivo de verificar o comportamento hidrogeomorfológico em diferentes segmentos de uma vertente com solos argilosos rasos,

utilizaram as parcelas experimentais com calha coletora Gerlach, onde as mesmas foram instaladas em cada setor da vertente.

Pinese Jr. et al (2009) a fim de monitorar e analisar diferentes tipos de vegetação na contenção da erosão no município de Uberlândia, MG, instalaram sete parcelas experimentais com diferentes tipos de vegetação, coletando-se dados de umidade, escoamento superficial e transporte de sedimentos das mesmas. Nas parcelas experimentais sete tipos de usos da terra foram monitorados: áreas de solo exposto, grama estrela africana, grama pensácola, soja, feijão-de-porco, braquiária e mata.

Segundo os autores, os resultados sobre a influência da cobertura vegetal na proteção do solo contra a erosão pluvial “comprovaram a importância das leguminosas e principalmente das florestas na proteção do solo, garantindo a interceptação das chuvas, infiltração e a diminuição do escoamento superficial.” (PINESE Jr. et al, 2009, p. 106)

A fim de compreender a influência da intensidade pluviométrica nos processos de perda de solo e água em solos desnudos, Pereira et al (2015) realizou a análise temporal dos totais mensais e anuais de chuva, bem como a sua frequência e magnitude na bacia hidrográfica do rio Maranduba em Ubatuba, SP. Para relacionar a intensidade das chuvas com a erosão de solos degradados, foi monitorado o processo de escoamento superficial, através de parcelas experimentais com calhas de Gerlach.

Como resultado, os autores citados observaram uma rápida saturação do solo, culminando na detonação de distintos processos erosivos e propiciando a ocorrência do escoamento superficial.

Corrêa et al (2016) a fim de estudarem a erosão dos solos em áreas de cultivo de cana-de-açúcar instalaram 8 parcelas experimentais para a coleta de amostras de água e sedimento, a fim de realizar a quantificação do material erodido, em solos arenosos e argilosos e em diferentes condições de relevo e de manejo. Tal resultado pôde ser comparado com os valores de perdas de solo obtidos com a Equação Universal de Perdas de Solo.

É notório que as parcelas experimentais de perdas de solo com calhas coletoras Gerlach são bastante utilizadas pelos pesquisadores para os diversos fins e objetivos da pesquisa, já que as mesmas vêm apresentando resultados satisfatórios nos estudos de perda de solos por erosão.

Além das calhas coletoras, os pinos de erosão também têm sido bastante empregados em pesquisas que objetivam a quantificação de perda de solo. Os pinos de erosão (*erosion pins*) são, de acordo com Guerra (1996, p.149), “um dos métodos simples e eficientes de demonstrar a erosão dos solos”. Segundo o autor, vários pesquisadores propõem diferentes formas de monitorar esses processos, que devem ser realizados de acordo com os objetivos da pesquisa.

Santos (1993) avaliou as perdas de solo por erosão e a produtividade de pastagens nativas melhoradas, com e sem a introdução de espécies exóticas, em diferentes sistemas de preparo do solo. A avaliação das perdas de solo foi feita sob chuva natural, por meio da determinação de mudanças de nível da superfície do solo, utilizando-se pinos de metal cravados no solo (Cambissolo distrófico). Os tratamentos testados, em parcelas de 36 m<sup>2</sup>, foram os seguintes: *Brachiaria brizantha* (Bb) semeada em covas; Bb em covas + escarificação entre covas; Bb em sulcos; Bb a lanço em solo escarificado; *Andropogon gayanus* (Ag) semeado em covas; Ag em covas + escarificação entre covas; Ag em sulcos; Ag a lanço em solo escarificado; pastagem nativa com escarificação; e pastagem nativa (testemunha). Também foram mantidas parcelas sem vegetação e sem nenhuma prática de manejo. Uma análise global dos resultados obtidos enfatiza a possibilidade de melhoramento dessas pastagens nativas mediante escarificação, calagem e adubação, e a potencial introdução de gramíneas exóticas com o uso dessas práticas de manejo visando aumentar a quantidade de forragem disponível, dentro dos limites de perdas toleráveis por erosão.

A quantificação das perda de solo por erosão foi feita por meio da determinação de mudanças de nível da superfície do solo, conforme metodologia sugerida por Marques (1951), Gleason (1957), México (1977) e Bertoni e Lombardi Neto (1990). Foram utilizados pinos de metal, de 20 cm de comprimento, cravados no solo até 15 cm de profundidade, em seis pontos da parcela. Nos 4 m<sup>2</sup> centrais de todas as parcelas, os pinos foram dispostos em duas linhas, no sentido da declividade, separados entre si em 1 m na linha e 2 m na entrelinha. As leituras foram feitas diretamente nos pinos, com aproximação de 1 mm. As amostras para densidade do solo foram coletadas na profundidade de 0 - 10 cm. A observação abrangeu o período de novembro/1990 a fevereiro/1992.

Arruda et al (2004) procuraram estimar a perda de solo pela variação da superfície referenciada em pinos metálicos, assim como avaliar sua relação com os processos erosivos e com as propriedades físicas do solo e o carbono orgânico no solo, resultado da exploração de petróleo e gás natural, numa área localizada do município de Coari – AM. Este estudo foi realizado em 30 parcelas (jazidas e clareiras) com diferentes tipos de cobertura da terra, gradientes topográficos e comprimentos de rampas. Cada parcela possui área de 225 m<sup>2</sup> (10,0m x 22,5 m). Em cada uma foram instalados 50 pinos metálicos de 1,0 m de comprimento, equidistantes 2,50 m, sendo 30 cm introduzidos no solo.

Pessoa (2007) fez uso dos pinos de erosão para a determinação das taxas de erosão hídrica em 60 pontos de coleta de sua área de estudo. A autora afirma que os pinos de erosão possibilitam avaliar a mudança de nível da superfície do solo, por meio de medidas periódicas

do nível da superfície por um conjunto de pinos. Os pinos foram constituídos de vergalhões de ferro com 10 cm de comprimento, enterrados no solo até uma marca de 8 cm, ficando apenas 2 cm acima da superfície. O monitoramento consistiu em medição, com auxílio de paquímetro, da camada removida ou depositada de cada pino, 12 meses após sua instalação.

Silva et al (2007) fizeram uso dos pinos de erosão para avaliar a instabilidade das margens do rio Paraguai, no município de Cáceres – MT, em três diferentes compartimentos morfológicos. Esses pinos foram instalados na margem côncava do rio, distribuídos em duas colunas. O número de pinos variou de 2 a 4 pinos por coluna, sendo colocados a partir do topo, em intervalos de 30 cm com distância de 2 m entre cada coluna. Os pinos eram de aço e mediam 50 cm de comprimento e 5,16 mm de diâmetro, sendo deixados expostos 10 cm pintados de branco, para melhor identificação.

Pinheiro (2012), utilizou parcelas de pinos de erosão a fim de validar a modelagem erosiva da Equação Universal de Perda de Solo. O autor selecionou quatro vertentes dentro da área de estudo onde os pinos foram instalados nos três setores das mesmas: alta, média e baixa vertente. Após o período de coleta dos dados das parcelas de erosão, foram calculadas as perda de solo em cada parcela experimental, para comparação dos resultados, através da fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985).

#### **4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo selecionada para essa pesquisa é a bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei, localizada ao norte do município de Rio Claro – SP, e o sitio Lagoa Grande, localizado na média bacia leste do ribeirão Alam Grei (figura 1), sendo o ribeirão Alam Grei afluente direto da margem esquerda do rio Corumbataí, SP.

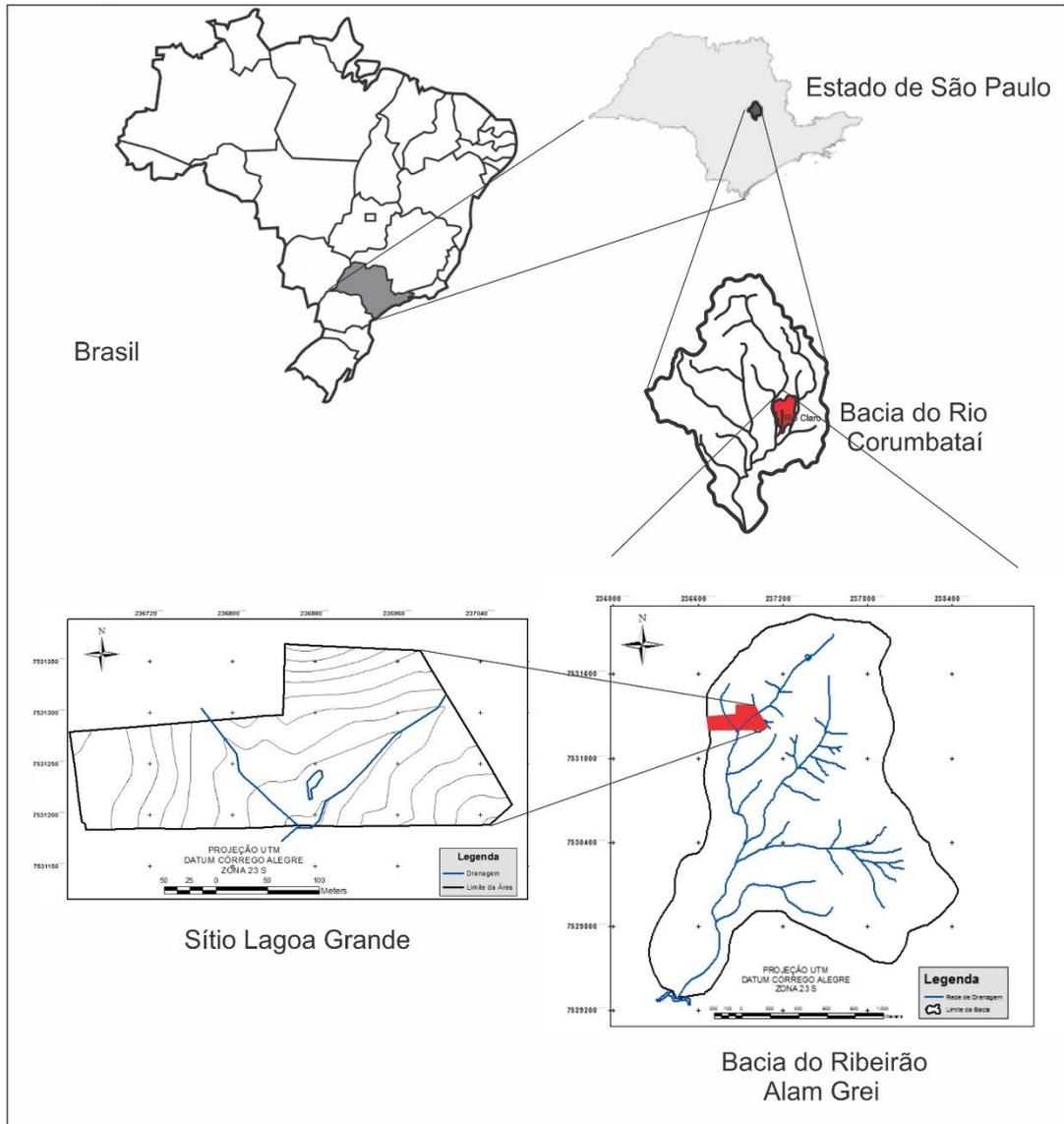


Figura 1 – Localização da área de estudo.  
Organização – Silveira, Patrícia Borges.

A bacia do ribeirão Alam Grei, no que se refere à constituição geológica, apresenta como litologias a Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois, datada do Paleozóico – Permiano Superior, e a Formação Rio Claro, inserida no contexto dos depósitos Cenozoicos da Depressão Periférica, de acordo com o IPT (1981b), como mostra a figura 2.

A Formação Corumbataí recobre a maior parte da bacia, estendendo-se por toda a média bacia leste e oeste e a baixa bacia. O sítio Lagoa Grande, que se localiza na média bacia oeste do ribeirão Alam Grei apresenta a Formação Corumbataí embasando toda a sua área. De acordo com Landim (1970), no Estado de São Paulo, a Formação Corumbataí aflora ao norte do rio Tietê, sendo que é no município de Rio Claro que a mesma vem a atingir sua máxima espessura.

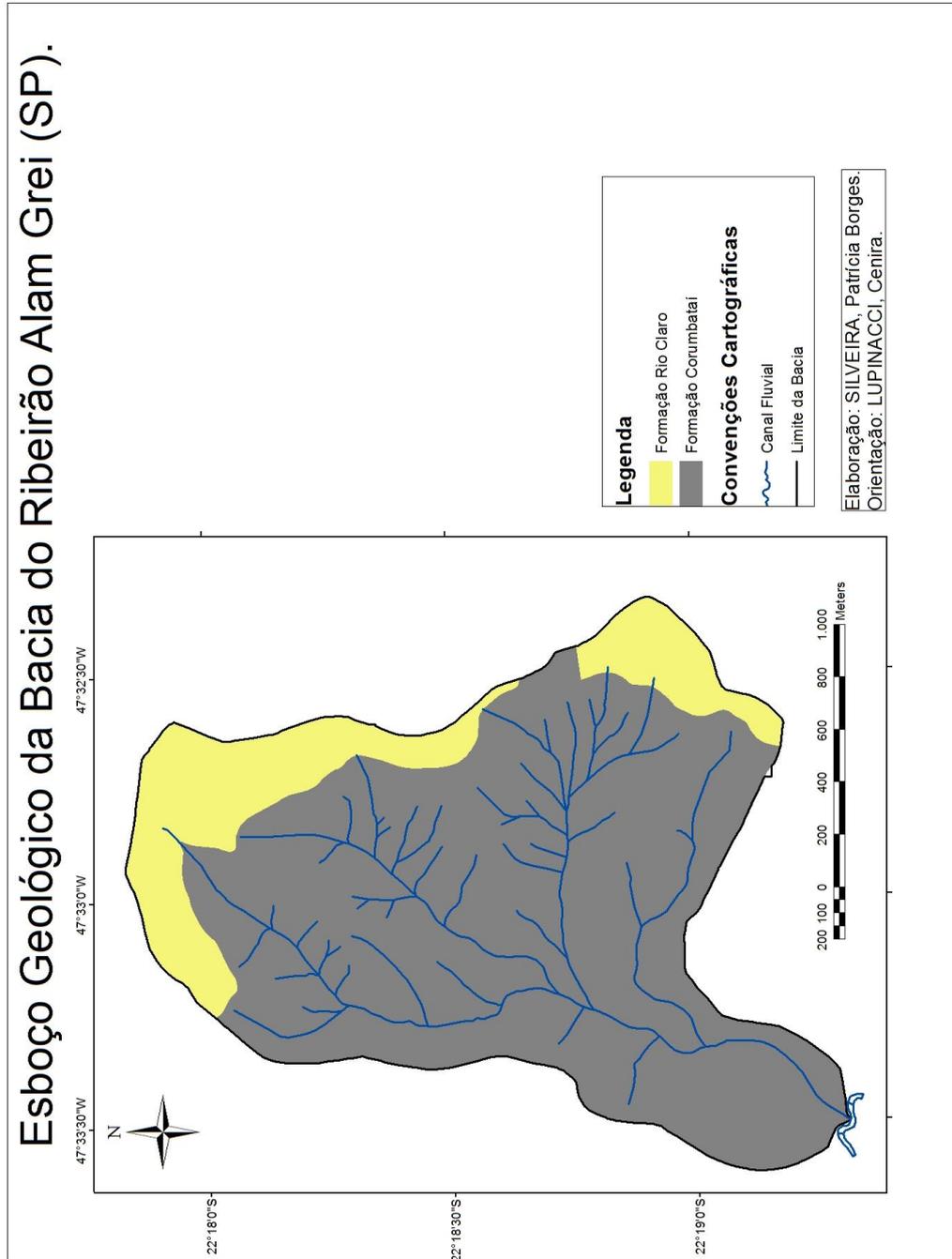


Figura 2 – Esboço Geológico da bacia do ribeirão Alam Grei, SP.

Ainda, segundo o IPT (1981b, p.61), a Formação Corumbataí aflora continuamente no estado de São Paulo, a partir do interflúvio dos rios Tietê e Piracicaba para norte, até próximo ao limite com o estado de Minas Gerais, estando recoberta em discordância erosiva pela Formação Piramboia. A principal litologia desta unidade são os siltitos e argilitos cinza-avermelhados e arroxeados, às vezes esverdeados, que se decompõem em pequenas “pastilhas”. Intercaladas a essas rochas mais finas, ocorrem lentes de arenitos muito finos (PERINOTTO E ZAINE, 1996, p.82).

De acordo com IPT (1981b) na bacia do Rio Corumbataí, esta formação:

[...] em sua parte inferior apresenta siltitos, argilitos e folhelhos cinzentos a roxo acinzentado nos afloramentos, podendo possuir cimentação calcária e lembrando a Formação Serra Alta. Segue-se uma sucessão de camadas siltosas, ritmicamente alternadas com lâminas ou delgadas camadas cuja litologia varia entre argilosa e arenosa fina, tanto vertical quanto horizontalmente (IPT, 1981b, p. 61).

De acordo com Schneider et al. (1974, apud Zanardo et al, 2016) o ambiente de deposição da Formação Corumbataí, de acordo com as evidências sedimentológicas e paleontológicas, indicam ambientes marinhos rasos. Perinotto e Zaine (1996), afirmam que também há evidências lacustres, porém essas são mais eventuais. Cabe ainda ressaltar a importância econômica que a Formação Corumbataí traz para a região, já que serve de matéria-prima para as olarias e cerâmicas.

Zaine (2000) chama a atenção para o fato de que a Formação Corumbataí é diretamente coberta pela Formação Rio Claro, de idade quaternária a terciária, e coberturas correlatas, exibindo contatos nitidamente erosivos, nas áreas de platôs localizados nas proximidades da cidade de Rio Claro (SP). Tal formação ocorre na bacia do ribeirão Alam Grei no setor norte, onde as classes de declividade são mais baixas, localizadas no setor de topo da bacia.

Esta formação, segundo Bjornberg e Landim (1966, apud IPT, 1981b), caracteriza-se por apresentar sedimentos predominantemente areníticos, por vezes conglomeráticos, com lâminas e leitos de argilas subordinados, com até 30 metros de espessura.

Zaine (1996) afirma que:

[...] de modo geral, os sedimentos da Formação Rio Claro são, predominantemente arenosos, esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidados, com solo (latossolo areno-argiloso) bastante desenvolvido (8 a 12 m de espessura) nos altos (topo dos interflúvios). São comuns as intercalações de lentes argilosas e também de níveis conglomeráticos (ZAINE, 1996, p. 39).

Sobre as litologias mencionadas, segundo IAC (1989) e Koffler (1992), ocorrem as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo, Unidade Coqueiro; Argissolo Vermelho-Amarelo, Unidade Santa Cruz; Neossolo Litólico, do Grupo Passa Dois; e Gleissolos, Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico com ou sem Solo Orgânico. Os trabalhos de campo realizados nas áreas da pesquisa confirmaram a presença de tais classes de solos (figura 3).

Os Latossolos se fazem presente na alta bacia e média bacia leste do ribeirão Alam Grei, nas áreas de menores declividades das vertentes, próximas aos interflúvios (figura 4). Segundo a EMBRAPA (1999) tais solos se caracterizam, de maneira geral por apresentarem “horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresenta mais que 150cm de espessura” (EMBRAPA, 1999, p.93).



Figura 4 – Presença de Latossolos em setor da alta bacia do ribeirão Alam Grei (SP).

Segundo o IAC (1984, p.63), os Latossolos Vermelho-Amarelos da Unidade Coqueiro, apresentam: horizonte A fraco ou moderado; textura média do horizonte B com teor de argila inferior a 20% ou, se entre 20 e 25%, predominância da areia grossa sobre a fina; caráter álico ou distrófico; ausência de acréscimo escalonado de argila entre os horizontes A1, A3, B1 e B2; horizonte B apédico ou com estrutura subangular fraca; horizonte B2 com cor 7,5YR ou mais vermelha.

De acordo com Oliveira et al (1992), esses apresentam grande profundidade com sequência A-Bw-C de diferenciação modesta, tendo materiais de origens diversas. Tal espessura vem a favorecer à agricultura e a boa drenagem interna. Contudo, quanto à fertilidade e à textura, estas apresentam grande heterogeneidade e, no caso da necessidade de aplicação de

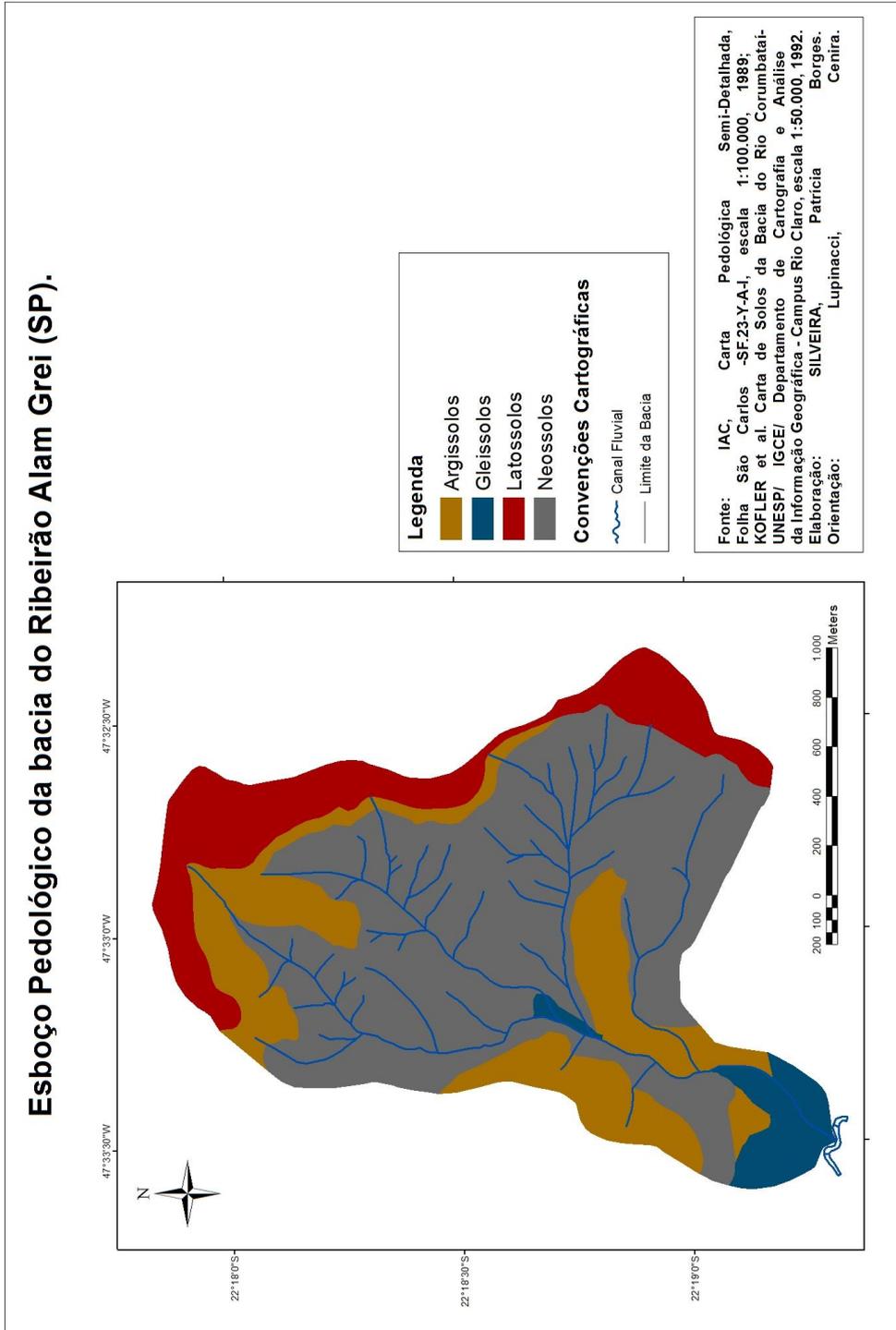


Figura 3 – Solos da bacia do ribeirão Alam Grei.

fertilizantes e corretivos, esta classe, geralmente, responde de maneira positiva. (OLIVEIRA et al 1992, p.103)

Quanto aos Argissolos, são encontrados na alta bacia, entre os Latossolos e os Neossolos, em declividades medias, entre 6 a 12%. Além disso, esses foram registrados na média bacia oeste onde as classes de declividade são medias (fig. 5). A EMBRAPA (1999), define os Argissolos, de maneira geral, como solos constituídos por material mineral “com argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E” (EMBRAPA, 1999, p.83).



Figura 5 – Presença de Argissolos na alta bacia e média bacia oeste do ribeirão Alam Grei (SP).

De acordo com o IAC (1984), os Argissolos Vermelho-Amarelo da Unidade Santa Cruz são caracterizados por apresentar:

[...] caráter abrupto ou relação textural  $\geq 2$  nos solos com horizonte A com argila  $\leq 20\%$  ou  $\geq 1,5$  nos com argila  $> 20\%$ ; caráter álico ou distrófico; horizonte A moderado ou proeminente; textura argilosa a muito argilosa no horizonte B; espessura dos horizontes A+B  $\leq 150\text{cm}$ ; estrutura e cerosidade moderada a fortemente desenvolvida; consistência, no mínimo, muito dura e firme; acentuado acréscimo de  $\text{Al}^{3+}$  em profundidade; substrato com sedimentos argilosos do permocarbonífero (IAC, 1984, p.108).

Segundo Oliveira et al (1992), estes solos possuem algumas limitações quanto ao uso, já que apresentam uma maior suscetibilidade erosiva, sobretudo quando combinados à maior declividade do terreno. Tal situação se faz presente na bacia do ribeirão Alam Grei.

Já os Neossolos Litólicos, ocupam a maior extensão territorial da área de estudo (figura 6), em geral, nos setores que apresentam as maiores classes de declividade. Tais solos são caracterizados, segundo a EMBRAPA (1999) como sendo pouco espessos, menos de 30 cm, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Por apresentarem pequena espessura, tais solos apresentam limitações quanto à penetração do sistema radicular das

plantas. Oliveira (1999), afirma que “essa condição limita o seu uso com agricultura devido ao reduzido volume de terra disponível para o ancoramento das plantas e para retenção da umidade e, além disso, favorece a erodibilidade das terras” (OLIVEIRA, 1999, p.163, grifo nosso).



Figura 6 – Presença de Neossolos Litólicos na bacia do ribeirão Alam Grei (SP).

De acordo com o IAC (1984, p.167), estes solos apresentam horizonte A fraco, moderado, proeminente ou chernozêmico assente diretamente sobre a rocha (A, R), sobre horizonte C de pequena espessura (A, C, R), sobre horizonte B incipiente ou argiloso de apenas poucos centímetros [A, B, C, R] ou (A, Bt, C, R). Além disso, apresentam geralmente teores relativamente elevados de minerais primários menos resistentes ao intemperismo e minerais de argila do grupo das esmectitas, o que lhes confere elevados valores de capacidade de troca de cátions da fração argila.

Por fim, estão os Gleissolos, que, segundo a EMBRAPA (1999), são definidos como solos:

[...] constituídos por material mineral, com solos glei dentro dos primeiros 50 metros da superfície, ou entre 50 a 125 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou precedido por horizonte B incipiente, B textural ou horizonte C com presença de mosqueados abundantes com cores de redução (EMBRAPA, 1999, p.89).

Oliveira et al (1992) afirma que esta classe de solos se desenvolve em áreas de várzeas, áreas deprimidas, planícies aluvionais, locais de terras baixas, vinculadas ao excesso de água, possuindo assim grandes limitações quanto ao uso agrícola, devido a presença do lençol freático elevado causando riscos de alagamentos.

No sitio Lagoa Grande, ao analisar-se as classes de solos em escala de maior detalhe (figura 7) observa-se que no setor oeste os Argissolos aparecem nas áreas de alta vertente,

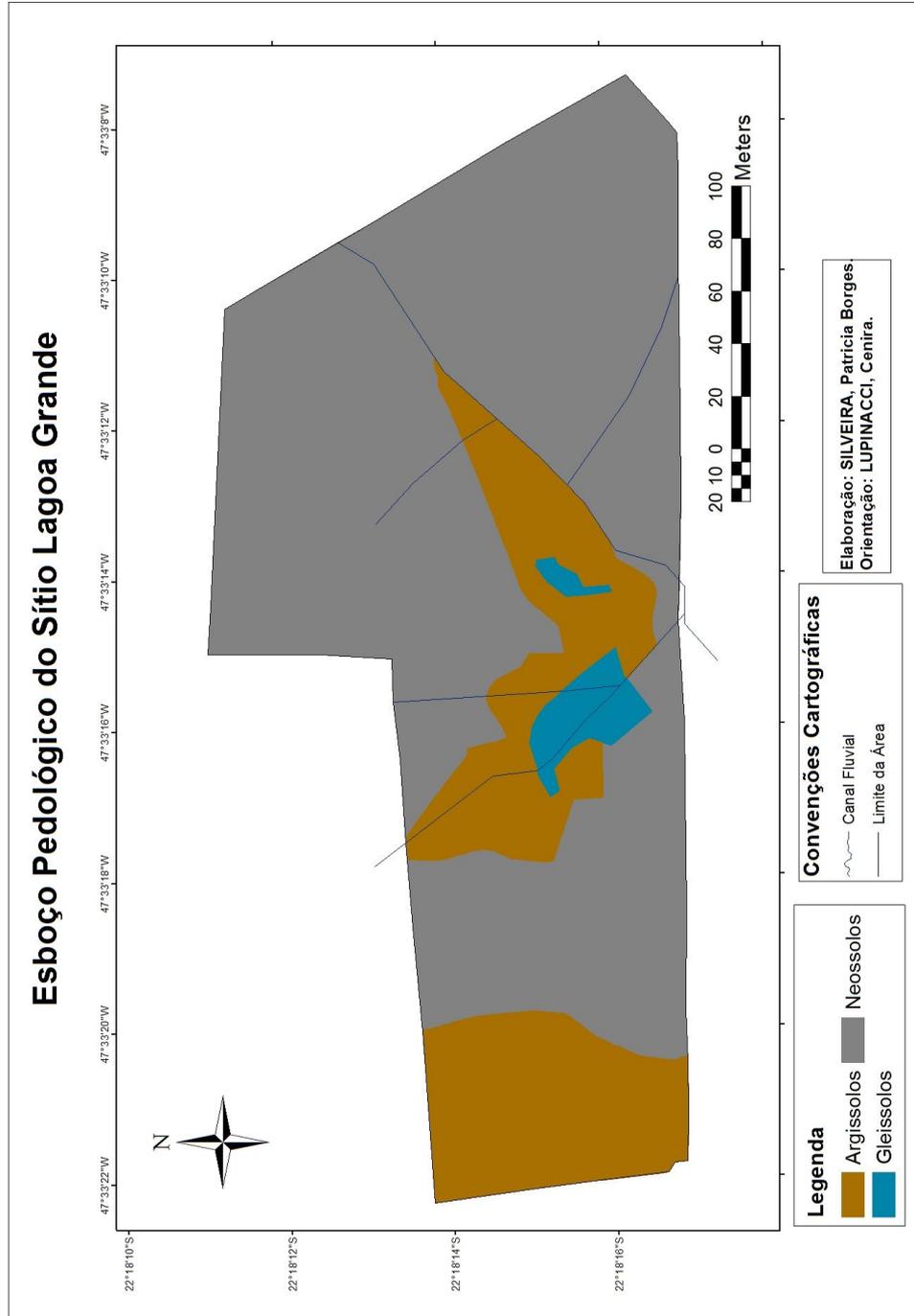


Figura 7 – Esboço Pedológico do sítio Lagoa Grande.

próximo ao limite da bacia, transacionando para os Neossolos na média e baixa vertente. No setor central, os Argissolos aparecem nas áreas de menor declividade do relevo, próximas aos cursos fluviais. Nas áreas de maior declividade há o predomínio dos Neossolos. Já no setor leste do sítio Lagoa Grande, os Neossolos ocupam toda a extensão.

Tais características litológicas e pedológicas mantêm relações intrínsecas com as formas de relevo da bacia, a qual se encontra na Província da Depressão Periférica Paulista, na zona do Médio Tietê, de acordo com o IPT (1980a). Segundo Ross (1990, apud Ross e Moroz, 1997, p.45):

A Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná está esculpida quase totalmente nos sedimentos paleo-mesozóicos da bacia. Apresenta características de modelado diversos em função da influência tectônica, variação litológica e dos graus de atuação dos processos morfodinâmicos dos mais variados ambientes paleoclimáticos[...]

Ab´Saber (1969) compreende a Depressão Periférica Paulista “como um corredor de topografia colinosa de aproximadamente 50 Km de largura, que está embutida entre a cuesta da Borda da Mata e Monte Santo e as elevações cristalinas do acidentado planalto atlântico” (AB´SABER, 1969, p.2).

Almeida (1964) compartimentou a província geomorfológica da Depressão Periférica Paulista em três zonas: a do Médio Tietê, do Mogi-Guaçu e do Paranapanema, delimitadas pelos divisores de água desses rios. A bacia do ribeirão Alam Grei, como mencionado, está inserida na zona do Médio Tietê, caracterizada por Ross e Moroz (1997) como a área localizada entre o Planalto Atlântico a leste, planalto Ocidental Paulista a oeste e a Depressão de Mogi-Guaçu ao norte, onde as formas de relevo são denudacionais com modelado constituído basicamente por colinas de topos amplos, tabulares e convexos. De acordo com o IPT (1981a):

Toda a zona é coberta por uma rede de drenagem bastante organizada, em que se destacam o Tietê e seus dois afluentes, o Piracicaba e o Sorocaba. O padrão geral da drenagem é dendrítico, notando-se, porém algum controle estrutural a partir de diaclases e da presença de corpos litológicos mais resistentes, especialmente diabásios. (IPT, 1981a, p.58)

Quanto às suas características morfométricas, a bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei apresenta o predomínio de classes de declividade médias e acentuadas (6 †12%, 12 †20%, 20 †30% e ≥ 30%), como mostra a figura 8.

Na alta bacia, registram-se as classes < 3% e 3 † 6% nas áreas de topo no limite da bacia, atingindo ≥ 30%, próximo às drenagens. O mesmo verifica-se na alta bacia leste: classes mais

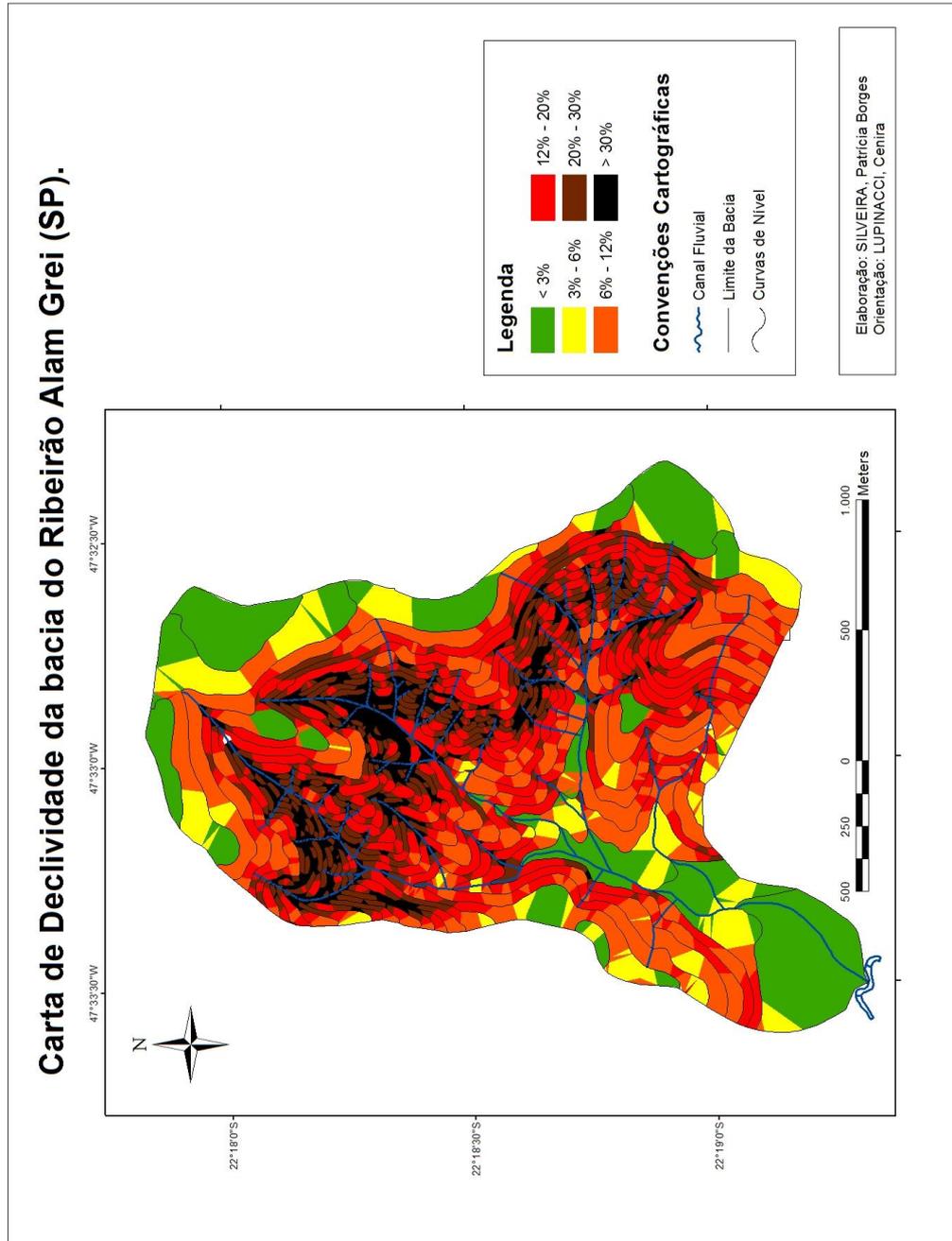


Figura 8 – Carta de Declividade do ribeirão Alam Grei (SP).

baixas nas áreas de, no limite da bacia e classes mais acentuadas de declividade nas áreas das nascentes (12 | 20%, 20 | 30% e  $\geq 30\%$ ).

Na média bacia oeste, registram-se classes de declividade mais acentuadas, inclusive nas áreas de topo, no limite da bacia, em áreas de nascentes. Assim, nesse setor há o predomínio das classes de 6 | 12% e 12 | 20%. As classes de  $< 3\%$  e 3 | 6% aparecem no limite da bacia, próximo à baixa bacia. Por fim, no setor da baixa bacia, ocorre topografia bastante plana, onde a classe principal de declividade é a  $< 3\%$ .

Quando analisada a carta de Declividade do sitio Lagoa Grande, em escala de detalhe, (figura 9) verifica-se o predomínio de classes mais fortes, com o predomínio das classes 20 | 30% e  $\geq 30\%$ , indicando ser essa uma área bastante suscetível, do ponto de vista morfométrico, ao desencadeamento dos processos erosivos.

Sobre tais características litológicas, pedológicas e morfométricas encontram-se as classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal da bacia do ribeirão Alam Grei, onde predominam usos agrícolas (figura 10). Na alta bacia registram-se cultura anual e perene, com predomínio da primeira, além de áreas destinadas à citricultura e pastos. Ainda, observa-se a presença de cobertura vegetal de matas ao redor dos cursos d'água. Tem destaque também a área do bairro rural do Alam Grei.

Na média bacia leste, destacam-se os usos de cultura perene e anual, pastagens, matas e cana-de-açúcar, este último faz-se presente apenas nesse setor. Além disso, destacam-se as áreas de pastagens, também bastante extensas na área.

A média bacia oeste se destaca por apresentar o predomínio das pastagens, com exceção das áreas de matas ciliares e de cultivo anual e perene, pontuais. Quando detalhadas as classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal do sitio Lagoa Grande (figura 11), situado nesse setor, observa-se o predomínio das matas ciliares, o que indica uma proteção aos solos da ação dos agentes erosivos, principalmente nas áreas de maior declividade das vertentes. Em segundo lugar, tem-se no local áreas de pastagens no setor leste e oeste, locais esses que apresentam classes de declividade mais fortes, o que vem a favorecer o desencadeamento dos processos erosivos. Além disso, no setor oeste, além das pastagens, registrou-se a presença de uso destinado ao cultivo perene, caracterizado pela citricultura.

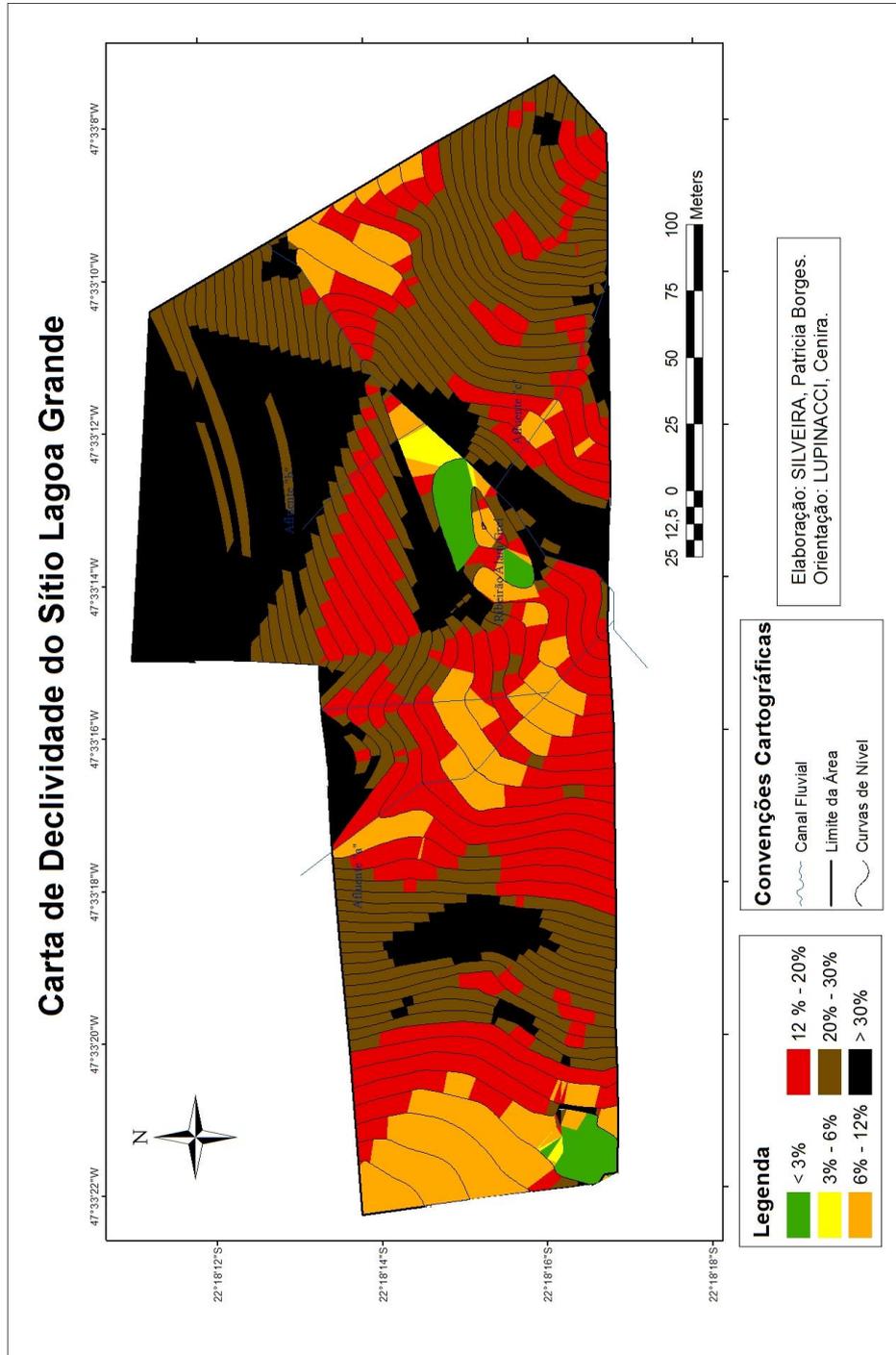


Figura 9 – Carta de Declividade do Sítio Lagoa Grande.

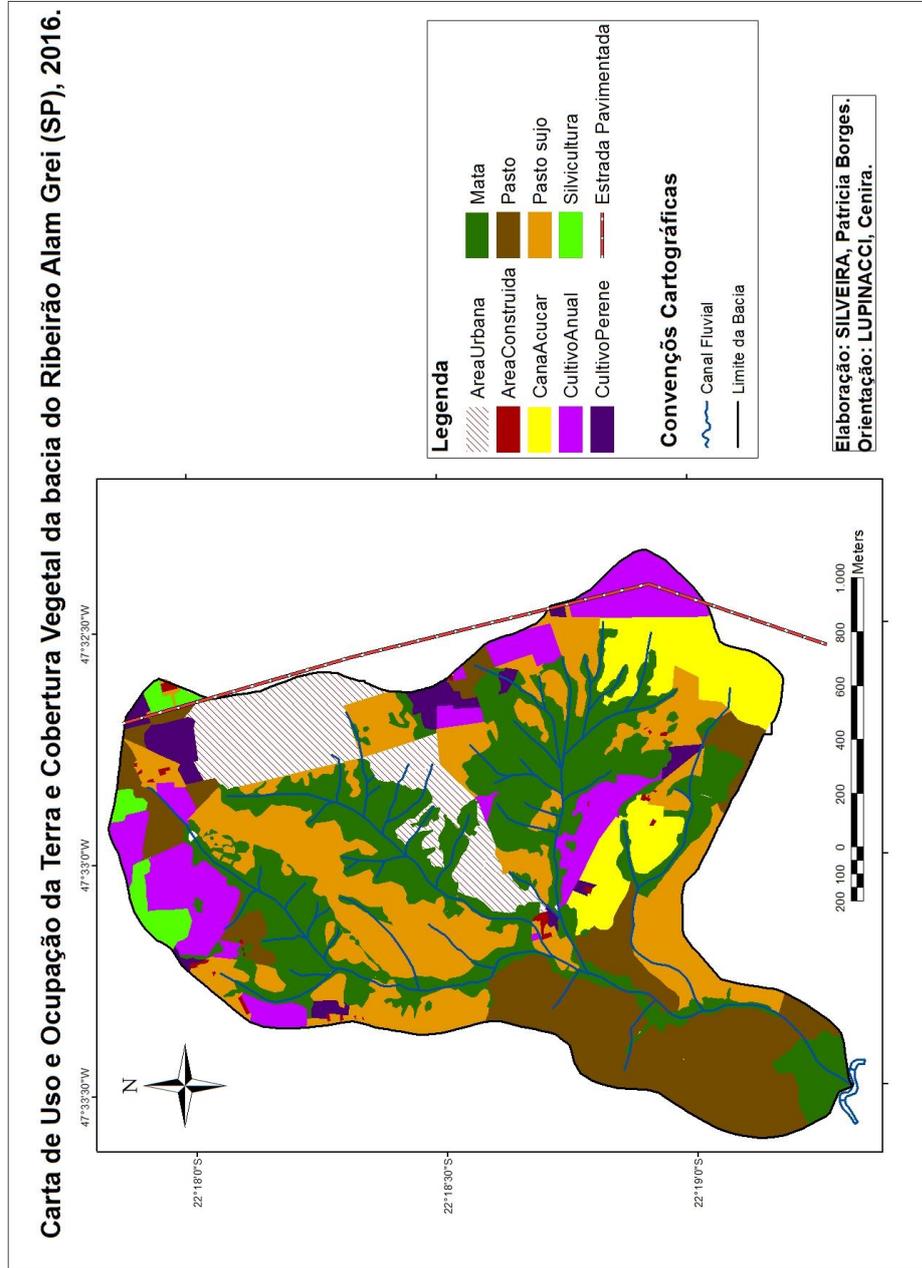


Figura 10 – Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal da bacia do Ribeirão Alam Grei

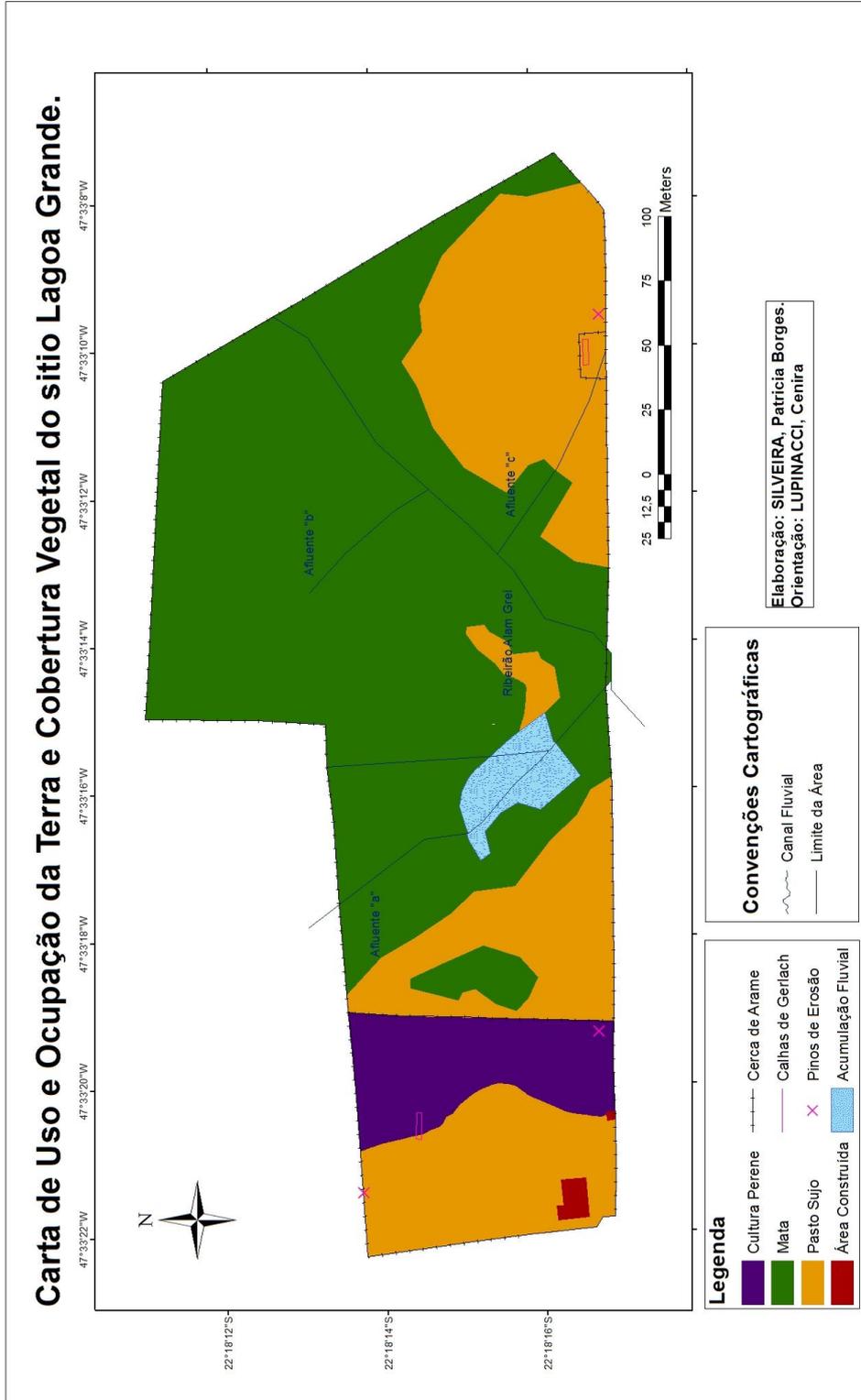


Figura 11 – Carta de Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal do sítio Lagoa Grande.

Já na baixa bacia do ribeirão Alam Grei, se encontram áreas de pastagens e de matas ciliares circundando o ribeirão Alam Grei, onde o mesmo deságua no rio Corumbataí.

Tais características físicas e de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal se encontram sob a influência do clima encontrado na região, que, segundo a classificação de Koppen (citado por Silva e Pfeifer, 1998, p.11), é o mesotérmico úmido subtropical de inverno seco (Cwa).

O clima tipo Cwa se caracteriza por apresentar temperaturas mais elevadas no mês de janeiro, com média de 25,1°C e temperaturas mais amenas no mês de julho com uma média de 17,5°C. As chuvas se concentram no verão, nos meses que se estendem de outubro a abril, tendo o mês de março como o mais chuvoso. O inverno, que se estende de maio a setembro, é seco, possuindo, no mês de agosto, média de 30 mm de precipitação, ou seja, é o mais seco.

## **5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa serão descritos em cinco etapas: procedimentos cartográficos nas escalas 1:10.000 e 1:1.000, bases de cálculo da EUPS, aplicação dos parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo, integração dos dados da EUPS e os dados experimentais.

### **5.1 Procedimentos Cartográficos nas escala de 1:10.000 e 1:1.000**

#### **5.1.1 - As Bases Cartográficas**

Para a elaboração da base cartográfica, na escala de 1:10.000, foi utilizada a folha Granja Ipê - SF.23-Y-A-I-4-NE-D, escala 1:10.000, elaborada pela CESP em 1978. Tal carta foi digitalizada e os dados úteis à pesquisa foram compilados através do programa ArcGis 9.2.

A partir da base cartográfica foi possível a elaboração de outras cartas necessárias à pesquisa, como a carta de declividade e a de forma de vertentes. Além disso, essa foi necessária para a atualização dos dados da área de trabalho em campo.

Já a base cartográfica na escala de 1:1.000 foi obtida através do levantamento planialtimétrico realizado pela empresa Engeosat no sítio Lagoa Grande, contratada para esse devido fim. A área mencionada está localizada no setor oeste da bacia do ribeirão Alam Grei, sendo nessa propriedade rural que se encontram as duas vertentes escolhidas para mapeamentos na escala de 1:1.000, bem como as estações experimentais da pesquisa.

Primeiramente, foi realizado o levantamento planialtimétrico da área com o equipamento GNSS - Global Navigation Satellite System -, com método de medição RTK.

Posteriormente, os dados foram processados em laboratório através dos softwares: Leica Geo Office (LGO) versão 8.3, para processamento dos dados brutos; software topográfico TopoEVN versão 6, para cálculo de curvas de nível e volumetria; e acabamento da planta em AutoCAD 2007.

Dessa forma, foi necessária a importação do arquivo DWG para o software ArcGis 9.2, onde foram criados os shapefiles de interesse da pesquisa, a fim de se obter a base cartográfica do sítio Lagoa Grande, na escala de 1:1.000.

### 5.1.2 - Cartas de Classes de Declividade

A carta de classes de declividade tem elevada importância nos estudos de perdas de solo por erosão hídrica de superfície, já que a mesma apresenta dados que possibilitam indicar os diferentes setores da bacia quanto à declividade e, conseqüentemente, aqueles que apresentam maior energia no processo de escoamento pluvial.

Segundo De Biasi (1970), os dados de declividade são obtidos através da seguinte fórmula:

$$D = \frac{E}{n} \times 100 \quad (1)$$

**E**

Onde:

**D**= Declividade, em porcentagem;

**n** = Equidistância das curvas de nível (desnível altimétrico).

**E**= Espaçamento entre as curvas de nível (distância horizontal).

As classes de declividade podem ser determinadas pelo pesquisador de acordo com os seus objetivos. Para a presente pesquisa as classes de declividade escolhidas foram (quadro 1):

<b>Classes:</b>	<b>Características:</b>
< 3%	Áreas consideradas susceptíveis à inundação.
3   6%	Áreas possíveis de urbanização sem risco de inundação.
6   12%	Terrenos onde é possível tanto a urbanização, como a mecanização agrícola.
12   20%	Terrenos com restrições à mecanização agrícola.
20   30%	Declividade máxima onde é permitida a urbanização.
≥ 30%	Restrições à urbanização.

Quadro 1 – Classes de Declividade determinadas para a presente pesquisa.

Na presente pesquisa as cartas de classes de declividade nas escalas de 1:10.000 e 1:1.000 foram obtidas através de técnicas de geoprocessamento no software ArcGis 9.2, a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT).

Através da ferramenta *3D Analyst*, foi criado um arquivo TIN (*Triangular Irregular Network*), através da seleção dos shapes: curvas de nível, curvas mestras, hidrografia e limite da bacia hidrográfica.

Após a criação do TIN, foram inseridas as classes de declividade a serem utilizadas, já mencionadas acima. Contudo, as classes de declividade geradas pelo programa, em graus, devem ser reclassificadas através do comando *Break Values*, já que o ArcGis cria classes automaticamente. É necessário que os valores em graus, inseridos pelo pesquisador, sejam equivalentes as porcentagens pré-determinadas para a pesquisa.

Por fim, utilizou-se o TIN para a construção da carta de declividade. Para isso, no *3D Analyst* o comando *Converter TIN to Raster* foi acionado.

Após a criação das cartas de declividade, foram necessários alguns ajustes nos topos e fundos de vale da bacia pois o ArcGis generaliza a declividade desses setores. Tais ajustes foram realizados manualmente através da edição da carta com a criação de shapes de polígonos das respectivas classes de declividade.

### 5.1.3 - Cartas de Dissecação Horizontal

A carta de dissecação horizontal do relevo foi elaborada segundo a proposta de Spiridonov (1981), documento cartográfico esse que identifica a distância que separa os canais fluviais dos divisores de água da bacia. Segundo Cunha (2001):

[...] no processo de construção deste documento cartográfico deve-se compreender o relevo, representado nas cartas topográficas, como um triângulo retângulo, no qual a linha de cumeada é possível de se obter através da interpretação dos setores de dispersão d'água. Deste modo, é possível identificar a distância entre tal linha e o talvegue fluvial já traçado. (CUNHA, 2001, p. 47)

O primeiro passo na construção deste documento cartográfico foi o detalhamento da representação da drenagem seguido da delimitação de todas as sub-bacias nas duas bases cartográficas. Assim se estabeleceu a área drenada por cada curso fluvial.

Feito isto, buscou-se o valor da maior e da menor distância entre a linha de cumeada e o talvegue do rio, a fim de se estabelecer o universo de variação das classes a serem estabelecidas. Seguindo a recomendação de Spiridonov (1981), o valor de cada classe foi

atribuído com base no dobro do limite da classe anterior, a partir do mínimo mapeável de 1mm, que corresponde a 10m na bacia do ribeirão Alam Grei (escala 1:10.000), e 1m no sítio Lagoa Grande (escala 1:1.000).

As classes de dissecação horizontal elaboradas para a bacia do ribeirão Alam Grei e para o sítio Lagoa Grande foram:

<b>Classes de Dissecação Horizontal da bacia do ribeirão Alam Grei</b>	<b>Classes de Dissecação Horizontal do Sítio Lagoa Grande</b>
< 10m	< 1m
10   20m	1   2m
20   40m	2   4m
40   80m	4   8m
80   160m	8   16m
≥ 160m	16   32m
	32   64m
	64   128m
	≥ 129m

Quadro 2 – Classes de Dissecação Horizontal da bacia do ribeirão Alam Grei e do sítio Lagoa Grande.

A carta de dissecação horizontal foi construída através do software ArcGis 9.2, de acordo com a proposta de Ferreira et al (2014), através do Modelo Digital de Elevação (MDE). Para a construção da carta de dissecação horizontal através de procedimento automático os autores desenvolveram uma ferramenta específica no interior do software ArcGis (ESRI, 2013), que segundo os mesmos:

Esta tem por objetivo gerar polígonos que representem a dissecação horizontal a partir de linhas que conectem um ponto do canal de drenagem a um ponto mais próximo da borda da sub-bacia, com um ângulo aproximado de 90° em relação ao canal de drenagem. (FERREIRA ET AL, 2014, p. 588)

Primeiramente, são necessários os dados de entrada da ferramenta, a saber, os polígonos das sub-bacias, e os canais de drenagem das mesmas. Em seguida são determinados três parâmetros de segmentação dos canais: “um valor para a divisão do canal de drenagem em trechos equidistantes; um parâmetro de agrupamento dos canais de drenagem; e os limiares superiores das classes de dissecação desejada.” (FERREIRA et al, 2014, p. 589). Definido os parâmetros, estabelece-se as classes de dissecação horizontal, que no presente trabalho são mencionadas acima. Após a criação do *TIN* (Triangulated Irregular Network), e sua posterior transformação em formato Raster, inicia-se as etapas para a criação da carta de dissecação horizontal através da ferramenta Dissecação Horizontal, fornecida pelos autores através do link: <https://onedrive.live.com/?cid=192875f7a469bcd1&id=192875F7A469BCD1!2026&ithint=folder,&authkey=!AFftzakthkBuLuM>.

#### **5.1.4 - Cartas de Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal**

A carta de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal na escala de 1:10.000 foi elaborada por meio da vetorização de imagens aerofotogramétricas, na escala aproximada de 1:25.000, do ano de 2010/2011, disponibilizadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA), em meio digital (RGB). A escolha de tais imagens se dá pelo elevado nível de detalhe que as mesmas apresentam, sendo que posteriormente, os dados foram atualizados através de trabalhos de campo.

Para a identificação das classes de uso e ocupação da terra foram utilizados os elementos apontados por Ceron e Diniz (1996) como essenciais para a identificação das culturas, a saber: a tonalidade, textura, forma da parcela, dimensão da área cultivada, altura, espaçamento, restos de colheita e arranjo espacial.

Assim, foram mapeados os polígonos relativos às classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal através da vetorização por edição manual dos mesmos no software ArcGis 9.2, utilizando os procedimentos analíticos descritos anteriormente. As classes identificadas na bacia do ribeirão Alam Grei foram: área urbana, área construída (diz respeito a locais que possuem construções isoladas), mata, pastagem, pasto sujo (são as áreas de pastagem que apresentam vegetação arbustiva distribuída pela área), cana-de-açúcar, silvicultura, cultura anual e cultura temporária.

A carta de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal, na escala de 1:1.000, do sítio Lagoa Grande também foi elaborada por meio da vetorização de imagens aerofotogramétricas, na escala aproximada de 1:25.000, do ano de 2010/2011, disponibilizadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA), em meio digital (RGB).

Contudo, por se tratar de uma escala de trabalho de maior detalhe, essa foi atualizada em campo pela empresa Engeosat, quando a mesma esteve no local para a coleta de dados planialtimétrico da área. Dessa forma, foi possível a delimitação exata das classes com detalhe de informações sobre as classes de uso e ocupação e cobertura vegetal. As classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal identificadas no sítio Lagoa Grande foram: mata ciliar, cultura anual (citricultura), pasto sujo e área construída.

#### **5.1.5 - Cartas de Forma de Vertente**

Wischmeier e Smith (1978) afirmam que as diferentes formas de vertentes irão afetar os valores de perdas de solo e, por isso as mesmas devem ser avaliadas numa pesquisa.

Bigarella (2003), ao descrever os fatores que influenciam as perdas de solo, afirma que as áreas mais suscetíveis à erosão localizam-se nas cabeceiras das bacias, principalmente nas maiores declividades e que, nas vertentes com perfil convexo-côncavo, a energia do fluxo chega próxima do máximo na parte mais íngreme, geralmente na porção central do perfil, de modo que a maior parte da ação erosiva ocorre abaixo desta zona, onde os fluxos tornam-se canalizados e se formam as ravinas.

Stabili e Vieira (2009), em estudo realizado na bacia hidrográfica da Água da Faca, Piratininga (SP), demonstraram que a associação entre parâmetros topográficos potencializa a possibilidade da ocorrência erosiva. Os autores comprovaram que a associação entre curvaturas côncavas e ângulos da encosta entre 5 e 1 grau estão relacionados a boa parte das feições erosivas mapeadas na bacia.

Dessa forma, na presente pesquisa, segmentos de vertentes foram definidos indicando geometrias diferenciadas, sendo elaboradas as cartas de forma de vertentes da bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei, escala 1:10.000, e no sitio Lagoa Grande, escala 1:1.000. Tais documentos cartográficos foram construídos a partir da interpretação das curvas de nível presentes nas bases cartográficas, com reambulação através de trabalhos de campo.

### **5.1.6 - Esboços Pedológicos**

Os dados de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Alan Grei foram compilados de dois documentos cartográficos: IAC – Carta Pedológica Semi-Detalhada, folha São Carlos – SF.23-Y-A-I, na escala aproximada de 1:100.000 do ano de 1989 e também, através da Carta de Solos da Bacia do Rio Corumbataí – UNESP/IGCE/Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica, na escala aproximada de 1:50.000, elaborada por Koffler et al (1992).

Contudo, por se tratarem de escalas de reduzido nível de detalhe, esses dados foram reambulados em campo, a fim de que houvesse maior precisão das classes de tipos de solo, bem como das áreas de transição entre essas classes. Assim, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e coleta de amostras em campo foi possível a compatibilização das escalas, e conseqüentemente, maior precisão nas informações referentes aos tipos de solos da área de estudo.

Primeiramente, realizou-se uma descrição das características do meio físico através da interpretação de fotografias aéreas da bacia do ribeirão Alam Grei na escala aproximada de 1:25.000, do ano de 2010/2011, disponibilizadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA), em meio digital (RGB). Os principais elementos destacados

na fotointerpretação foram as formas de relevo, dados de uso da terra, tonalidade, padrões e densidade de drenagem.

Além dos dados adquiridos pela fotointerpretação foram utilizadas as informações contidas nas cartas topográficas (escala 1:10.000 e 1:1.000) referentes às rupturas topográficas e às classes de declividade do relevo, e também as informações pedológicas da Carta Pedológica Semi-Detalhada, folha São Carlos – SF.23-Y-A-I, na escala aproximada de 1:100.000 do ano de 1989 e também, da Carta de Solos da Bacia do Rio Corumbataí – UNESP/IGCE/Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica, na escala aproximada de 1:50.000, elaborada por Koffler et al (1992). Tais documentos deram suporte na delimitação das unidades de mapeamento.

Num segundo momento realizou-se as coletas de amostras em campo através de topossequências determinadas previamente em laboratório. A coleta de amostras de solo em campo seguiu os procedimentos estabelecidos por Embrapa (1996), assim como a realização de análises visuais e de textura durante a coleta, com diversas observações registradas em formulário (figura 12). Para todos os pontos amostrados foram coletadas as coordenadas para posterior inserção do Sistema de Informação Geográfica (SIG).



Figura 12 – Instrumentos para análises visuais e de textura dos solos em campo

A partir da análise conjunta de tais informações foram delimitadas as unidades de mapeamento do esboço pedológico. As figuras 13 e 14 apresentam alguns pontos de amostragem dos solos da bacia do ribeirão Alam Grei e do Sítio Lagoa Grande, respectivamente.

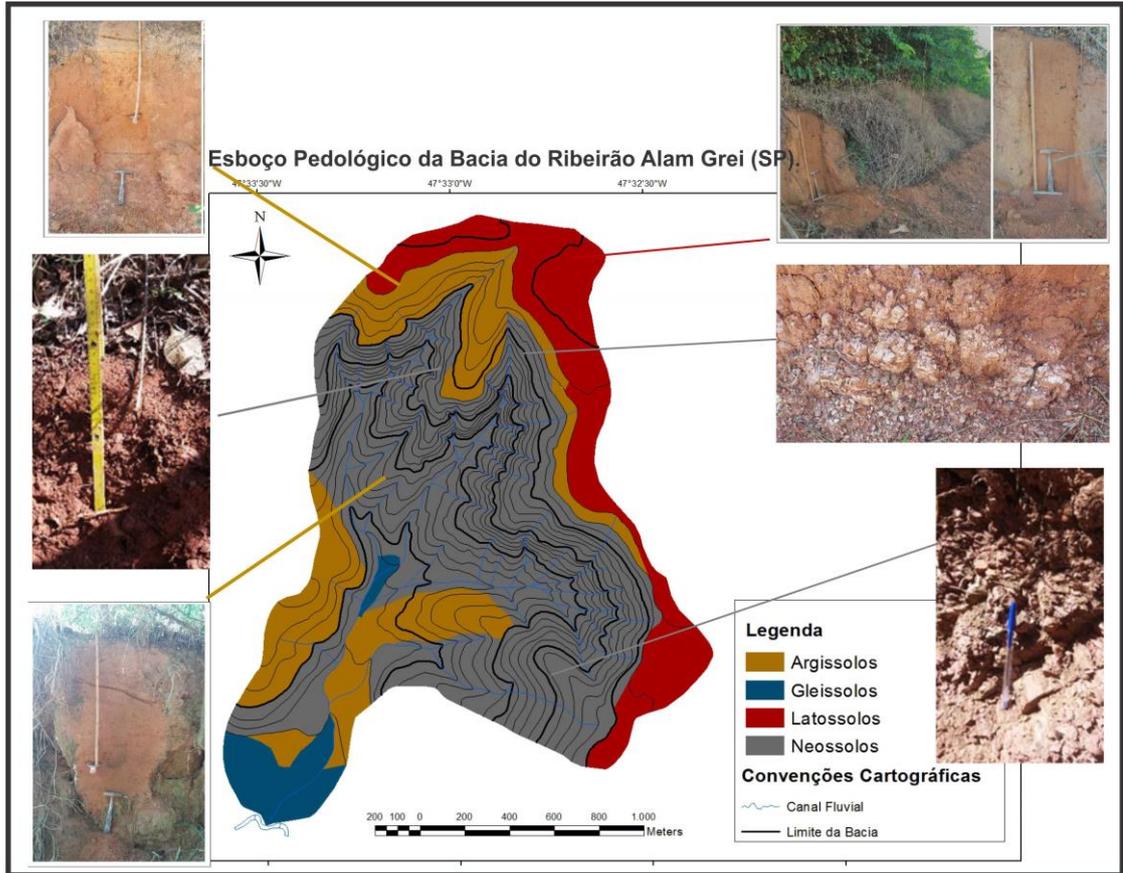


Figura 13 – Pontos de amostragem da bacia do ribeirão Alam Grei, SP.  
Elaboração – Silveira, P.

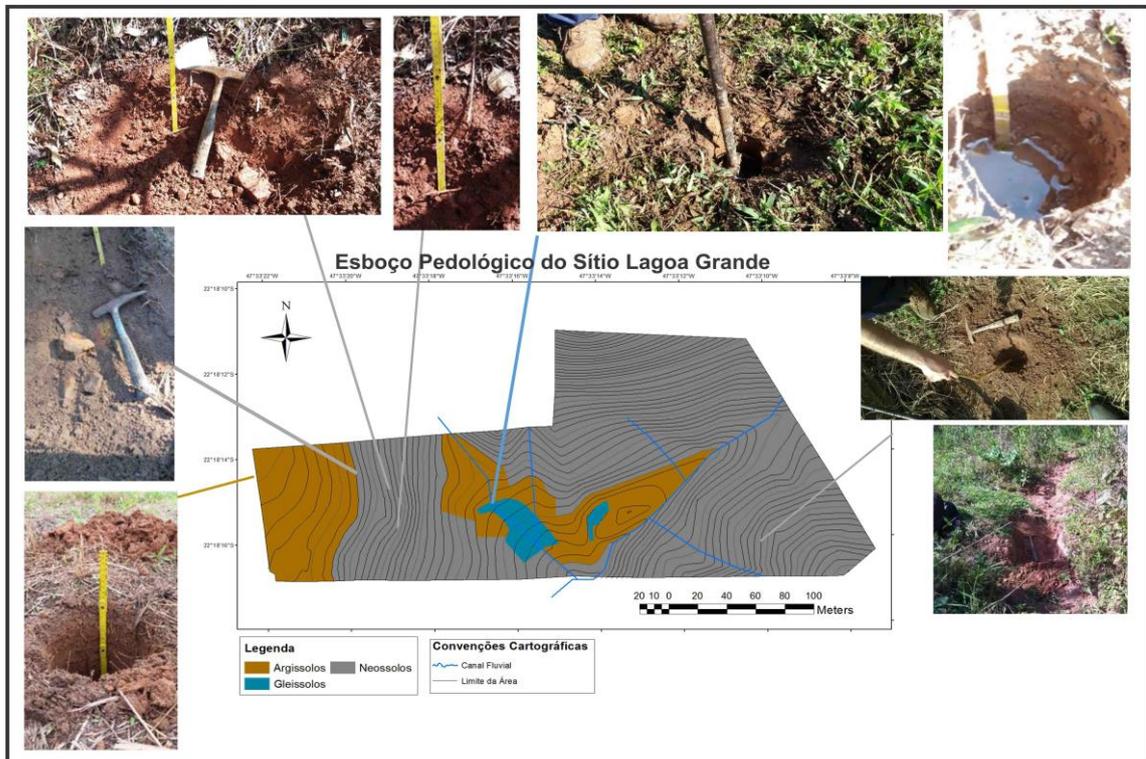


Figura 14 – Pontos de amostragem no sítio Lagoa Grande.  
Elaboração – Silveira, P.

## 5.2 As Bases de Cálculo dos Dados dos Fatores da EUPS

Um dos objetivos da presente pesquisa é aplicar a Equação Universal de Perda de Solo, EUPS, na escala 1:10.000 e 1:1.000 utilizando três técnicas diferentes de obtenção dos valores da variável comprimento de vertente. Para tal, foi necessário a construção de três bases de cálculo distintas. Convém esclarecer que, para um controle total dos dados, tais cálculos foram realizados manualmente e depois digitalizados no ArcGis.

A primeira base foi elaborada a partir da carta de forma de vertentes da referida bacia, dividindo a área em setores retilíneos, côncavos e convexos.

Com essa primeira divisão, os polígonos de formas de vertentes foram numerados, a fim de que cada um constituísse uma parcela de cálculo individualizada dentro da bacia. Logo após essa primeira divisão, foram medidos os comprimentos de vertente dentro de cada parcela para posterior cálculo do fator LS, como será descrito posteriormente.

A partir da carta de forma de vertentes foi realizada uma segunda divisão das parcelas pela sobreposição do esboço pedológico da bacia do ribeirão Alam Grei. Assim, os polígonos de formas de vertentes que continham mais de uma classe de solos, foram subdivididos e renumerados, a fim de que cada parcela de cálculo apresente um único tipo de solo.

Uma terceira divisão das parcelas foi realizada por meio da sobreposição da carta de declividade da bacia do ribeirão Alam Grei. Nessa etapa as parcelas foram subdivididas de modo que cada uma apresentasse uma única classe de declividade. A cada polígono que era subdividido, uma nova numeração era dada ao mesmo.

Numa quarta etapa, as parcelas foram novamente divididas a fim de que cada uma apresentasse uma única classe de uso e ocupação da terra. Para tal foi utilizada a carta de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei. O quadro 3 demonstra as fases da construção da primeira base de cálculos:

<b>Etapa</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Dados dos Parâmetros da EUPS</b>
<b>1</b>	Construção da carta de forma de vertentes da bacia do ribeirão Alam Grei e cálculo da extensão das vertentes a partir dos divisores de água até os fundos de vale em cada polígono (parcela) de forma de vertente.	Dados da extensão de vertente (L)
<b>2</b>	Subdivisão dos polígonos de forma de vertentes a partir da carta de tipos de solos da bacia do ribeirão Alam Grei; assim, as	Dados de erodibilidade (K)

	parcelas foram subdivididas a fim de apresentarem um único tipo de solo.	
<b>3</b>	Subdivisão das parcelas a partir da carta de declividade da bacia do ribeirão Alam Grei, a fim de que cada parcela apresentasse uma única classe de declividade.	Dados de declividade (S)
<b>4</b>	Subdivisão das parcelas com base na carta de uso e ocupação da terra da bacia do ribeirão Alam Grei.	Dados de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal (CP)

Quadro 3 – Etapas da construção da primeira base de cálculo dos fatores da EUPS.

Assim, dentro de cada parcela de forma de vertentes foram criadas novas parcelas com distintos valores dos fatores S, K e CP, porém, com o mesmo valor do fator L. Cabe ressaltar que o mesmo procedimento foi realizado para a construção da base de cálculo 1 do sitio Lagoa Grande na escala de 1:1.000.

A segunda base de cálculos seguiu os mesmos procedimentos, porém com um detalhamento: os polígonos da carta de forma de vertentes foram divididos numa malha quadriculada de 100 x 100m, com o objetivo de dividir em células as extensões das vertentes, como indica Pinheiro (2012). Tal divisão se justifica, como afirmam Bertoni e Lombardi Neto (1985), pelo fato da compreensão de que a perda de solo varia no decorrer da extensão da vertente. Além disso, os experimentos de campo que foram utilizados para estabelecer a fórmula para o fator topográfico, a ser utilizado na aplicação da EUPS, foram realizados com comprimentos de rampa pequenos, típicos de parcelas experimentais. Logo após a criação da malha quadriculada, as parcelas foram numeradas e assim, calculados os comprimentos de rampa, como será descrito posteriormente.

Após a divisão da bacia em quadrículas de 100 x 100m houve a subdivisão das parcelas na mesma ordem que a anterior: primeiramente com os tipos de solo, depois através das classes de declividade e, por fim, através das classes de uso e ocupação da terra. A cada nova subdivisão as parcelas iam sendo renumeradas. O quadro 4 indica as etapas da construção da segunda base de cálculos dos fatores da EUPS:

<b>Etapa</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Fator da EUPS</b>
<b>1</b>	Construção da carta de forma de vertentes da bacia do ribeirão Alam Grei.	—————
<b>2</b>	Divisão da carta de forma de vertentes pela malha quadriculada de 100 x 100m e cálculo das extensões das vertentes onde em cada quadrícula gerada foi	Dados da extensão de vertente (L)

	quantificada a extensão da mesma, de forma que, os valores das células que correspondiam às partes mais baixas da vertente eram somados aos valores das células da alta vertente.	
<b>3</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de tipos de solos da bacia do ribeirão Alam Grei.	Dados de erodibilidade (K)
<b>4</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de declividade da bacia do ribeirão Alam Grei.	Dados de declividade (S)
<b>5</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de uso e ocupação da terra da bacia do ribeirão Alam Grei.	Dados de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal (CP)

Quadro 4 – Etapas da construção da segunda base de cálculos dos fatores da EUPS.

Para a construção da base de cálculos 2, na escala de 1:1.000 do sitio Lagoa Grande, a carta de forma de vertentes foi dividida em quadrículas de 10 x 10m, com os demais procedimentos iguais aos da base 2 da escala de 1:10.000.

Quanto à terceira base de cálculo foi elaborada de acordo com a proposta de Mendes (1993), com adaptações. Nessa, as bases cartográficas foram divididas em quadrículas de 10m x 10m, na escala de 1:10.000 e de 1m x 1m, na escala de 1:1000. Realizadas as divisões das bases pela malha quadriculada cada parcela foi numerada, e posteriormente, iniciou-se as subdivisões das mesmas.

Primeiramente, a base de cálculo foi subdividida pela carta de dissecação horizontal do relevo, de forma que cada parcela de cálculo obtivesse apenas uma classe de dissecação horizontal. Em seguida, as parcelas foram novamente subdivididas de acordo com a carta de declividade, a fim de que cada parcela de cálculo tivesse um único valor de classe de declividade. Por fim, tais parcelas, foram subdivididas quanto às classes de solos e uso e ocupação da terra e cobertura vegetal. A cada subdivisão as parcelas foram devidamente numeradas. O quadro 5 indica as etapas da construção da terceira base de cálculos dos fatores da EUPS:

<b>Etapa</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Fator da EUPS</b>
<b>1</b>	Divisão da base cartográfica pela malha quadriculada de 10m x 10m, na escala de 1:10.000, e 1m x 1m, na escala de 1:1.000.	_____
<b>2</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de dissecação horizontal e obtenção dos valores de extensão da vertente através do valor médio de cada classe.	Dados da extensão de vertente (L)

<b>3</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de declividade da bacia do ribeirão Alam Grei e obtenção dos valores de declividade através do valor médio de cada classe.	Dados de declividade (S)
<b>4</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de tipos de solos da bacia do ribeirão Alam Grei.	Dados de erodibilidade (K)
<b>5</b>	Subdivisão da base de cálculo pela carta de uso e ocupação da terra da bacia do ribeirão Alam Grei.	Dados de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal (CP)

Quadro 5– Etapas da construção da terceira base de cálculos dos fatores da EUPS.

### 5.3 Fatores da Equação Universal de Perdas de Solo

A Equação Universal de Perda de Solo, EUPS, conforme Wischmeier e Smith (1978) e Bertoni e Lombardi Neto (1985) propuseram é expressa da seguinte forma:

$$A = LS.R.K.C.P \quad (1)$$

Onde:

**A** = Perda média anual de solos em ton./ha/ano;

**Fator LS** = Fator topográfico, composto por dados de extensão de vertente (L) e declividade (S);

**Fator R** = é função da erosividade das chuvas, expressa em MJ/ha.mm/h;

**Fator K** = é função da erodibilidade dos solos, expressa em MJ/ha.mm/h;

**Fator C** = Fator uso e manejo da terra, adimensional;

**Fator P** = Fator práticas conservacionistas, adimensional.

#### 5.3.1 - Fator Topográfico (LS)

Para calcular o fator topográfico optou-se por utilizar a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985) expressa pela seguinte equação:

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (2)$$

Onde:

LS = Fator Topográfico;

L = Comprimento de vertente em metros;

D = Grau de declividade em %.

O valor médio do declive foi obtido através da carta de classes de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei, escala 1:10.000, e da carta de classes de declividade do

sítio Lagoa Grande, escala 1:1.000, de acordo com a proposta de Mendes (1993). Para isso foi necessário estabelecer os valores médios de cada classe de declividade, conforme indica o quadro 6

<b>Classe de Declividade:</b>	<b>Valor Médio da Classe de Declividade</b>
< 3%	1%
3   6%	4,5%
6%   12%	9%
12%   20%	16%
20%   30%	25%
≥ 30%	31%

Quadro 6 – Valores médios das classes de declividade da bacia do ribeirão Alam Grei.

Após a obtenção das médias das classes de declividade, foram obtidos os valores de S para cada parcela de análise da bacia através da sobreposição das cartas de classes de declividade com as bases de cálculo, utilizando o programa ArcGis 9.2.

Para o cálculo do fator L, foram utilizadas três técnicas diferentes de quantificação, a primeira através dos polígonos de forma de vertentes, a segunda pela segmentação da vertente através de uma malha quadriculada de 100 x 100m e a terceira pela carta de dissecação horizontal. Dessa forma, foram construídas seis cartas de potencial natural à erosão e seis cartas de perdas de solo de acordo com cada técnica e escala a fim de se estabelecer comparação entre essas.

Na primeira técnica, os valores de L foram obtidos dentro de cada parcela de cálculo definida pela carta de forma de vertentes, na qual se entende a vertente como a distância entre o divisor de água e o fundo de vale. Assim, em cada parcela foi realizada medidas a partir dos divisores de água até os fundos de vale através da ferramenta *measure* do ArcGis 9.2. Após serem realizadas as medidas estabeleceu-se o valor L para cada parcela. Cabe ressaltar que esse procedimento foi realizado para as duas escalas de trabalho.

Após obter os valores de L e S para cada parcela, aplicou-se a fórmula de Bertoni e Lombardi Neto (1985) descrita acima, com a ajuda do programa Excel 2013, obtendo-se assim o fator topográfico para cada uma.

Na segunda técnica, as cartas de forma de vertentes foram fragmentadas através de uma malha quadriculada de 100 x 100m, na escala de 1:10.000 e 10x10m, na escala de 1:1.000, com o objetivo de dividir a extensão das vertentes, conforme metodologia proposta por Pinheiro (2012). Segundo o autor essa técnica “[ ] fornece valores segmentados da extensão das vertentes, entendendo que o modelo deve ser induzido a quantificar de maneira distinta os setores de alta, média e baixa vertente.” (PINHEIRO, 2012, p. 63)

Tal fato se justifica pela compreensão de que os valores de perda de solo são diferentes em cada parte da vertente, ou seja, a energia do fluxo pluvial se tornará mais forte à medida que se aproxima da baixa vertente, ocasionando assim, maior volume de perda de solo. Dessa forma, em cada quadrícula gerada foi quantificada a extensão da mesma, de forma que, os valores das células que correspondiam às partes mais baixas da vertente eram somados aos valores das células da alta vertente, “compreendendo assim que os setores da baixa vertente recebem mais escoamento superficial em relação aos setores localizados na porção superior”. (PINHEIRO, 2012, p. 66)

Após a realização das medidas de L, utilizou-se novamente a fórmula de Bertoni e Lombardi Neto (1985) para o cálculo do fator topográfico de cada parcela, como descrito acima. Tal procedimento foi realizado nas duas escalas de trabalho.

Na terceira técnica, o comprimento de rampa foi obtido através da proposta de Mendes (1993), utilizando-se a carta de dissecação horizontal do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão Alam Grei, escala 1:10.000, e do sítio Lagoa Grande, escala 1:1.000. Para isso, se estabeleceu os valores médios de cada classe de dissecação horizontal, conforme indica o quadro 7:

<b>Classe de Dissecação Horizontal da bacia do ribeirão Alam Grei:</b>	<b>Valor Médio da Classe de Dissecação Horizontal:</b>
< 10m	1m
10   20m	15m
20   40m	30m
40   80m	60m
80   160m	120m
≥ 160m	161m
<b>Classe de Dissecação Horizontal do sítio Lagoa Grande:</b>	<b>Valor Médio da Classe de Dissecação Horizontal:</b>
< 1m	1m
1   2m	1,5m
2   4m	3m
4   8m	6m
8   16m	12m
16   32m	24m
32   64m	48m
64   128m	96m
≥ 128m	129m

Quadro 7 – Classes de Dissecação horizontal do relevo da bacia do ribeirão Alam Grei (SP) e do sítio Lagoa Grande (SP) e respectivos valores da extensão das vertentes.

Após estabelecidas as medidas de L, utilizou-se a fórmula de Bertoni e Lombardi Neto (1985) para o cálculo do fator topográfico de cada parcela, nas duas escalas de trabalho.

### 5.3.2 - Erosividade da Chuva (R)

Para a obtenção dos dados de erosividade da chuva, foi utilizada a equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) e Donzelli et al (1992):

$$EI = 67,355 (R^2/p)^{0,85} \quad (3)$$

Onde:

El = média mensal do índice de erosão (MJ.mm/h./L);

R = precipitação média mensal em milímetros;

p = precipitação média anual em milímetros.

Os valores da erosividade da chuva (R) foram obtidos pela soma dos valores mensais do índice de erosão (El). Os dados pluviométricos utilizados foram do período de janeiro de 1986 a dezembro de 2015 (tabela 1), obtidos junto ao posto pluviométrico instalado na Fazenda São José (D4-016), posto este localizado na bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha, bacia vizinha à do ribeirão Alam Grei. Este posto foi escolhido pela proximidade com a área de estudo, o que torna os seus dados mais pertinentes.

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1986	137,5	167	226,7	32,8	93	0,4	28,6	114,4	30,5	58,4	171,3	437,1	1497,7
1987	221,9	112	93	113,3	184,3	38,7	16,7	8	77,4	75,4	196,6	168,1	1305,4
1988	243,9	258,9	259,3	176,8	95,1	16,9	0,2	0,1	8,8	246	208,7	101,9	1616,6
1989	226,4	401,6	38,5	70,6	32,1	53,2	70,1	24,9	106,2	30,6	112,1	273,3	1439,6
1990	231,9	122,3	190,3	81,3	55,3	8,2	40,8	64,9	75,7	194,4	85,2	158,1	1308,4
1991	219,3	247,5	565,1	134,5	42,7	16,7	16,1	0	49	123,2	63,8	294,6	1772,5
1992	147,3	113,5	109,9	105,5	114,8	1,2	65,9	15,6	114,6	178,1	262,7	162,1	1391,2
1993	194,7	328,5	88,9	83,1	82,8	56,9	10,7	30,2	219,3	112,1	107,1	191,6	1505,9
1994	186,2	231	124,6	32,3	64,2	47,6	18,4	0	0	110,5	199,4	227,8	1242
1995	292,3	597,5	127,9	163,8	53,7	17,5	45,5	0	31,8	158,4	127,4	270,3	1886,1
1996	395,1	288,3	278	51	55,8	19,8	0,9	22,9	150,5	150,7	264,3	201,5	1878,8
1997	306,3	106,5	20,9	35,4	68	185,5	31,5	2,7	71,9	122,1	241,6	167,4	1359,8
1998	102,6	307,6	190,1	42,6	82	8,5	0	14,6	52,3	158	26,6	173,5	1158,4
1999	370,2	230,4	122,9	43,1	30	74	0	0	96,6	75,5	26,3	216,5	1285,5
2000	252	276,6	249,5	3,6	11,3	27,5	63,2	55,2	109,7	92,5	273,7	173,9	1588,7
2001	128,7	142,4	116	33	69,7	16,6	9,4	64,8	67,2	162,9	176,5	--	987,2
2002	415,1	342,3	157	8	77	0	4,4	114	46,3	69,5	332,9	349,9	1916,4
2003	393,2	123,8	90,1	33,9	46,7	18,7	2,7	19,3	12,6	108,6	155,5	340,2	1345,3
2004	323,9	321,9	134,8	163,9	110	46,1	83	0	7	107	166	112,5	1576,1
2005	369,8	99	248	47	93,5	47	2	9	36	76,5	96,5	169	1293,3
2006	126,5	298,5	268,5	59	11	11	16,5	12,8	58,2	118,8	120	276,7	1377,5
2007	172,7	182,5	115	66	64,1	12,3	147,8	0	0	112,9	135,5	158,8	1167,6
2008	159,5	186,3	125,6	131,1	31,6	56,5	0	64,3	22,7	97,5	56,5	124,3	1055,9
2009	264,7	155,2	154,5	12	17	35	62	86,5	120,5	110	184,7	382	1584,1
2010	427,9	70,8	112,5	52	28,5	23,6	34,6	0	61,5	74,5	131,2	279,9	1297
2011	433,4	173,1	251	184	12,5	38	0	17	23,6	258,8	172,5	125,9	1689,8
2012	449,8	225,9	142	140	86,4	209,1	61,8	0	41,5	121,5	134,1	393,8	2005,9
2013	224,9	184,5	212,8	58,3	158,4	56	56,8	4,5	51	144,6	214,5	107,5	1473,8
2014	105,6	77,4	58,1	43	49	3	18	7,6	118	40,2	164,2	206	890,1
2015	112,7	264,1	190,2	28,8	98,9	35,8	28,7	16,1	138,2	83,3	280,9	276	1553,7
<b>MEDIAS</b>	<b>147,733333</b>	<b>175,333333</b>	<b>153,7</b>	<b>43,3667</b>	<b>102,1</b>	<b>31,6</b>	<b>34,5</b>	<b>9,4</b>	<b>102,4</b>	<b>89,3667</b>	<b>219,86667</b>	<b>196,5</b>	<b>1305,87</b>

Tabela 1 – Precipitação Mensal obtida na Fazenda São José, Rio Claro, SP.

Fonte: Posto Pluviométrico – Fazenda São José – Rio Claro – SP.

A partir desses dados calculou-se a média mensal e anual de precipitação, por meio das quais foi possível obter os dados de El mensais, cuja soma constitui-se no valor de erosividade da chuva (R) utilizado para a bacia, como demonstra a tabela 2.

Médias Ms	Média Anual	EI Mensal	R=Soma EI
147,733333	1305,86667	737,8520267	<b>6481,0837</b>
175,333333	1305,86667	987,2461793	
153,7	1305,86667	789,2260369	
43,3666667	1305,86667	91,83772159	
102,1	1305,86667	393,7309831	
31,6	1305,86667	53,61963707	
34,5	1305,86667	62,25128079	
9,4	1305,86667	6,826108401	
102,4	1305,86667	395,6997318	
89,3666667	1305,86667	313,945513	
219,866667	1305,86667	1450,530271	
196,5	1305,86667	1198,318248	

Tabela 2 - Fator R a partir dos dados de chuva da estação pluviométrica D4-016.

Além dos dados pluviométricos obtidos no posto da Fazenda São José, também foram obtidos dados de chuva através de dois pluviômetros instalados no sítio Lagoa Grande, ao lado de cada parcela experimental, no período de Março/2014 a Fevereiro/2017. Tais dados são demonstrados na tabela 3 e 4.

Ano:	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Total
2014/2015	0	0	0	127,3885	0	16,5605096	29,29936306	72,611465	98,089172	127,388535	178,343949	156,687898	806,3694267
2015/2016	165,6050955	127,388535	72,61146497	61,1465	24,2038217	3,56687898	101,910828	35,6687898	114,64968	309,5541401	242,038217	272,611465	1530,955414
2016/2017	154,1401274	140,127389	10,1910828	203,8217	0	0	64,96815287	25,477707	159,23567	267,5159236	216,56051	244,585987	2337,324841
<b>Médias</b>	<b>106,581741</b>	<b>89,1719745</b>	<b>27,60084926</b>	<b>130,7856</b>	<b>8,06794055</b>	<b>6,70912951</b>	<b>65,39278131</b>	<b>44,5859873</b>	<b>123,99151</b>	<b>234,8195329</b>	<b>212,314225</b>	<b>224,62845</b>	<b>1558,21656</b>

Tabela 3 – Dados mensais de chuva obtidos com pluviômetro 1 em área de citricultura no sítio Lagoa Grande.

Ano:	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Total
2014/2015	0	0	0	127,3885	0	0,012739	25,47771	63,69427	89,17197	127,3885	178,3439	127,3885	738,8662
2015/2016	178,3439	127,3885	76,43312	63,69427	25,47771	0	101,9108	38,21656	114,6497	318,4713	216,5605	254,7771	1515,924
2016/2017	165,6051	127,3885	10,82803	203,8217	0	0	63,69427	12,73885	152,8662	254,7771	254,7771	254,7771	1501,274
<b>Médias</b>	<b>114,6497</b>	<b>84,92569</b>	<b>29,08705</b>	<b>131,6348</b>	<b>8,492569</b>	<b>0,004246</b>	<b>63,69427</b>	<b>38,21656</b>	<b>118,896</b>	<b>233,5456</b>	<b>216,5605</b>	<b>212,3142</b>	<b>1252,021</b>

Tabela 4 – Dados mensais de chuva obtidos com pluviômetro 2 em área de pasto no sítio Lagoa Grande.

### 5.3.3 - Erodibilidade dos Solos (K)

Os valores de erodibilidade utilizados nessa pesquisa foram baseados em Bueno (1994) a qual pesquisou a bacia do rio Jacaré Pepira (SP). Tais dados foram escolhidos devido à compatibilidade das classes de tipos de solo pesquisados pela autora com as classes de solos obtidos no esboço pedológico da bacia do ribeirão Alam Grei.

Para adquirir os valores de K, Bueno (1994) se baseou na proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1990) com adaptações por comunicação pessoal com Lombardi Neto. As classes de solos com os valores de K são demonstrados no quadro 8 abaixo:

<b>Classes de Solos</b>	<b>Valor de K</b>
LV2+LV3 – Associação Indiscriminada de Latossolo Vermelho Amarelo – Unidade Coqueiro e Latossolo Vermelho Amarelo – Unidade Laranja Azeda.	0,0148
PV1+PV4 – Associação Indiscriminada de Argissolo Vermelho Amarelo – Unidade Santa Cruz e Argissolo Vermelho Amarelo – Unidade Laranja Olaria.	0,0340
Li4 – Neossolos Litólicos – Grupo Passa Dois.	0,033
Gleissolos	0,00

Quadro 8 – Classes de Solos da bacia do ribeirão Alam Grei e valores de K.

Fonte: Bueno (1994).

Organização: SILVEIRA, P.

Os valores de erodibilidade dos solos foram os mesmos para as duas escalas de trabalho.

### 5.3.4 - Uso e Manejo da Terra (C) e Práticas Conservacionistas (P)

Os valores de CP utilizados foram adquiridos de acordo com valores de Stein et al (1987).

As classes de uso e ocupação da terra da bacia do ribeirão Alam Grei são compatíveis com as classes encontradas na bacia hidrográfica do Peixe, Paranapanema, pesquisada por Stein et al (1987). Assim, optou-se por utilizar os valores de CP propostos pelos autores. Tais valores foram utilizados na aplicação da EUPS nas duas escalas de trabalho da pesquisa.

As classes de uso e ocupação da terra, bem como os valores de CP podem ser encontrados no quadro 9. Vale ressaltar que o fator práticas conservacionistas já está incorporado junto com os valores de C, já que os autores avaliaram esses dois fatores conjuntamente.

<b>Cultura/Cobertura Vegetal</b>	<b>Fator CP</b>
Mata	0,00004
Cana-de-açúcar com práticas conservacionistas	0,05
Pasto	0,01
Pasto Sujo	0,01
Silvicultura	0,0001

Cultura anual	0,08
Cultura perene	0,02

Quadro 9 – Classes de uso e ocupação da terra da bacia do ribeirão Alam Grei e valores de CP.

Fonte - Stein et al (1987)

Org. – SILVEIRA, P.

#### 5.4 Integração de Dados dos Fatores da EUPS: as Cartas de Potencial Natural à Erosão (PNE) e de Estimativa de Perda de Solo (EPS)

Como produtos finais foram elaboradas quatro cartas de potencial natural à erosão (PNE) e quatro cartas de estimativa de perdas de solo (EPS), de acordo com as diferentes bases de cálculo e escala de trabalho.

A carta de PNE corresponde aos valores de perda de solo para cada parcela sem considerar os fatores antrópicos da equação, representados pelo fator uso e manejo da terra, contemplando assim apenas os fatores naturais da EUPS: o fator topográfico, a erosividade da chuva e a erodibilidade dos solos.

Já a carta de estimativa de perdas de solo é aquela que irá integrar os fatores naturais que compõem a EUPS juntamente com o fator uso e manejo da terra e práticas conservacionistas (CP), considerado o fator antrópico da equação.

##### 5.4.1 - As Cartas de Potencial Natural à Erosão (PNE)

As cartas de potencial natural à erosão foram construídas a partir dos valores dos fatores naturais que contemplam a EUPS, descritos anteriormente, nas escalas de 1:10.000 e 1:1.000.

Em cada base de cálculo, as parcelas foram numeradas e, na planilha criada no programa Excel 2013, os valores dos fatores topográficos, de erosividade e de erodibilidade foram agrupados. Ressalta-se que a integração dos dados da EUPS não foram realizados através de SIGs a fim de se ter maior controle dos dados.

A tabela 5 apresenta fragmentos da planilha de cálculo do potencial natural à erosão da técnica um:

Parcela	L (rampa)	S (decl.)	LS	K	R	PNE
50	280	16	<b>9,027474</b>	0,033	7153,418	<b>2131,051</b>
51	280	9	<b>4,578369</b>	0,033	7153,418	<b>1080,783</b>
52	280	9	<b>4,578369</b>	0,033	7153,418	<b>1080,783</b>
53	447	9	<b>6,14745</b>	0,033	7153,418	<b>1451,184</b>
54	280	16	<b>9,027474</b>	0,033	7153,418	<b>2131,051</b>
55	447	16	<b>12,12133</b>	0,033	7153,418	<b>2861,396</b>

<b>56</b>	280	1,5	<b>0,552704</b>	0,034	7153,418	<b>134,4265</b>
<b>57</b>	447	16	<b>12,12133</b>	0,033	7153,418	<b>2861,396</b>
<b>58</b>	447	9	<b>6,14745</b>	0,033	7153,418	<b>1451,184</b>
<b>59</b>	366	9	<b>5,419938</b>	0,033	7153,418	<b>1279,446</b>
<b>60</b>	447	1,5	<b>0,742124</b>	0,034	7153,418	<b>180,4966</b>
<b>61</b>	390	1,5	<b>0,68101</b>	0,034	7153,418	<b>165,6327</b>
<b>62</b>	390	1,5	<b>0,68101</b>	0,034	7153,418	<b>165,6327</b>

Tabela 5 – Fragmento da planilha de cálculo do PNE.

Após a obtenção dos valores de PNE para cada parcela das bases de cálculo, as classes de PNE foram elaboradas através da distribuição de frequência dos valores.

Dessa forma, as classes elaboradas para as cartas de potencial à erosão foram (quadro 10).

<b>Classes</b>	<b>Valor</b>
Muito Fraca	< 300 ton/ha <sup>-1</sup> /ano <sup>-1</sup>
Fraca	300   600 ton/ha <sup>-1</sup> /ano <sup>-1</sup>
Média	600   900 ton/ha <sup>-1</sup> /ano <sup>-1</sup>
Medianamente Forte	900   1200 ton/ha <sup>-1</sup> /ano <sup>-1</sup>
Forte	1200   1500 ton/ha <sup>-1</sup> /ano <sup>-1</sup>
Muito Forte	≥ 1500 ton/ha <sup>-1</sup> /ano <sup>-1</sup>

Quadro 10 – Classes de potencial natural à erosão da bacia do ribeirão Alam Grei.

Cabe ressaltar que os valores numéricos do potencial natural à erosão foram classificados qualitativamente por se tratarem de uma simulação da EUPS, já que se refere a uma abstração da realidade por considerar o terreno totalmente desprovido de cobertura vegetal. Além disso, as classes das seis cartas do potencial natural à erosão foram iguais a fim de possibilitar comparação entre estas. Após a definição das classes, as cartas do PNE foram vetorizadas no ArcGis 9.2.

#### **5.4.2 - As Cartas de Estimativa de Perda de Solo**

As cartas de estimativa de perda de solo foram obtidas com base no PNE, com a inserção dos valores de uso e manejo da terra e práticas conservacionistas nas planilhas de cálculo. Dessa forma, a cada parcela numerada já com o seu valor de PNE foi adicionado o valor de CP e consequentemente obtiveram-se os valores de estimativa de perda de solo.

Na tabela 6 é possível observar um fragmento da planilha de cálculo da estimativa de perda de solo (EPS) para a bacia do ribeirão Alam Grei:

Parcela	L (rampa)	S (decl.)	LS	K	R	PNE	CP	EPS
50	280	16	9,027474	0,033	7153,418	2131,051	0,01	21,31051
51	280	9	4,578369	0,033	7153,418	1080,783	0,01	10,80783
52	280	9	4,578369	0,033	7153,418	1080,783	0,01	10,80783
53	447	9	6,14745	0,033	7153,418	1451,184	0,01	14,51184
54	280	16	9,027474	0,033	7153,418	2131,051	0,01	21,31051
55	447	16	12,12133	0,033	7153,418	2861,396	0,01	28,61396
56	280	1,5	0,552704	0,034	7153,418	134,4265	0,01	1,344265
57	447	16	12,12133	0,033	7153,418	2861,396	0,01	28,61396
58	447	9	6,14745	0,033	7153,418	1451,184	0,01	14,51184
59	366	9	5,419938	0,033	7153,418	1279,446	0,01	12,79446
60	447	1,5	0,742124	0,034	7153,418	180,4966	0,01	1,804966
61	390	1,5	0,68101	0,034	7153,418	165,6327	0,01	1,656327
62	390	1,5	0,68101	0,034	7153,418	165,6327	0,01	1,656327

Tabela 6 – Fragmento da planilha de cálculo do EPS.

Quanto às classes de estimativa de perda de solo, estas foram elaboradas tendo como referência o índice de tolerância de perda de solos. Assim, para cada tipo de solo da bacia do ribeirão Alam Grei, as parcelas foram separadas e classificadas da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 &64x \leq T \\
 &64x < T \quad | \quad 16x < T \\
 &16x < T \quad | \quad 4x < T \\
 &4x < T \quad | \quad \text{igual a } T \\
 &\text{igual a } T \quad | \quad 4x > T \\
 &> 4x > T
 \end{aligned}$$

Com base na lógica expressa acima, as parcelas foram classificadas de acordo com o quadro abaixo:

Tipo de Solo	Índice de Tolerância de Perdas - T	Classes: (valores em ton/ha/ano)
Argissolos	7,9	$\leq 0,123$ $0,123 \quad   \quad 0,49$ $0,49 \quad   \quad 1,98$ $1,98 \quad   \quad 7,9$ $7,9 \quad   \quad 31,6$ $> 31,6$
Latossolos	14,3	$\leq 0,223$ $0,223 \quad   \quad 0,89$ $0,89 \quad   \quad 3,58$ $3,58 \quad   \quad 14,3$ $14,3 \quad   \quad 57,2$ $> 57,2$

Neossolos	4,2	$\leq 0,065$
		0,065 -  0,26
		0,26 -  1,05
		1,05 -  4,2
		4,2 -  16,8
		$> 16,8$

Quadro 11 – Classes de estimativa de perdas de solo de acordo com o índice de tolerância de perdas para cada tipo de solo da bacia do ribeirão Alam Grei.

Cabe ressaltar que os valores (64 vezes menor que o índice de tolerância e 16 vezes menor que o índice de tolerância) foram determinados devido a distribuição do número de parcelas, pois, valores menores que esses gerariam classes muito concentradas.

Após a definição das classes de perdas de solo, as cartas de EPS foram vetorizadas no ArcGis 9.2. As seis cartas foram classificadas com as mesmas classes de perdas a fim de possibilitar a comparação entre essas.

### 5.5 As Parcelas de Monitoramento

De acordo com Guerra (2005) as parcelas de monitoramento são aquelas que permitem “as mensurações sistemáticas de um processo erosivo, sendo necessárias as coletas de dados, em intervalos que podem ser fixos, ou não, dependendo do que está sendo estudado” (GUERRA, 2005, p. 32). Assim, nessa pesquisa, a fim de comparar os resultados fornecidos pelo modelo matemático, bem como identificar quais técnicas de cálculo dos fatores do modelo EUPS se aproximam mais dos dados reais de perdas de solo, foram instaladas duas parcelas de monitoramento da erosão com o uso de calhas de Gerlach e dos pinos de erosão.

Segundo Guerra (2005), as parcelas de monitoramento das calhas de Gerlach devem possuir medidas mínimas de 1m de largura e 10m de comprimento a fim de que se possa medir as perdas de solo após um vento chuvoso que provoque escoamento superficial. Além disso, segundo o autor:

Toda estação experimental deve ter próxima a ela, ou mesmo fazendo parte dela um pluviômetro ou, se for possível, um pluviógrafo, para que sejam registrados os totais pluviométricos diários ou a cada minuto, permitindo assim a determinação da intensidade da chuva, o que torna possível fazer associações com as perdas de água e solo. (GUERRA, 2005, p. 33)

Na presente pesquisa as parcelas experimentais possuem 2 metros de largura por 10 metros de comprimento, possuindo cada uma destas um pluviômetro instalado ao lado da

parcela. As parcelas foram isoladas com placas de fibrocimento, conhecidas no mercado como telhas de fibrocimento, e, na parte inferior foram instaladas calhas de 2 metros de largura fabricadas para esse fim. Cada calha, como indica Guerra (2005) possui uma tampa a fim de impedir a entrada direta da água da chuva.

Além disso, como indica a bibliografia, cada calha possui um orifício de tamanho pequeno conectado a um galão por um tubo plástico, por onde escoa a água e possíveis sedimentos da parcela.

As parcelas foram instaladas em duas vertentes do sítio Lagoa Grande, área essa escolhida devido à disponibilidade da área para a realização da pesquisa. As áreas escolhidas para a instalação das parcelas possuem características distintas quanto ao uso e ocupação da terra e grau de declividade do terreno, a fim de que os valores de estimativa de perdas de solo fornecidos pela EUPS possam ser comparados com dados reais de perdas em terrenos que apresentem características distintas.

Dessa forma, a parcela experimental denominada de 1, se encontra em área destinada de pomar, possuindo a vertente cerca de 15% de declividade. Os solos são caracterizados como Argissolos Vermelho-Amarelos. Já a segunda parcela experimental, denominada de 2, se encontra em área de pasto sujo, com declividade de 28% (figura 15). Os solos são classificados como Neossolos.



Figura 15 – Parcelas Experimentais de Calhas de Gerlach instaladas no sítio Lagoa Grande.

As parcelas foram monitoradas por um período de três anos, sendo que a coleta e a quantificação do material coletado seguiram proposta de Bertoni et al (1975) e Bertoni e Lombardi Neto (2010). Os materiais presentes nas calhas coletoras (calhas de Gerlach), bem

como nos tanques coletores eram recolhidos mensalmente, ou após algum evento intenso de chuva.

O material retido nos tanques coletores, água e sedimentos, eram coletados numa amostragem de 500ml logo após a homogeneização do material no tanque. Esse material era filtrado, seco e em seguida pesado. Posteriormente, os valores de perdas de solo ( $\text{g/m}^2$ ) eram computados, considerando o volume total de água nos tanques, somando-se a esse valor o total de sedimentos coletados nas calhas de Gerlach.

Por fim, de acordo com Bertoni et al (1975) e Pinese Jr. (2008) é estipulada a quantidade de sedimento erodido por  $\text{m}^2$  em cada uma das parcelas através da equação:

$$M = \frac{s \cdot f}{a \cdot c}, \text{ onde:} \quad 5$$

M – relação de sedimento transportado por  $\text{g/m}^2$

s – total de sedimentos transportados por parcela (g)

f – total do escoamento superficial por parcela (l)

a – área da parcela experimental ( $\text{m}^2$ )

c – quantidade de amostra coletada (l)

Além do material coletado nas parcelas, foi também monitorado a quantidade de chuva sobre essas através dos pluviômetros instalados a um 1,5m do solo, ao lado de cada uma. A quantidade de chuva coletada no funil era posteriormente transformada em mm de chuva através da equação:

$$\text{Pluviosidade em mm} = \frac{\text{volume água recolhida (l)}}{\text{área de abertura funil (m}^2\text{)}} \quad 6$$

A fim de se obterem dados que possibilitassem melhor comparação entre os valores de estimativa de perdas de solo fornecidos pela EUPS e os valores de perdas reais na área de estudo, a pesquisa se utilizou também dos dados experimentais fornecidos por parcelas de pinos instalados e monitorados por Borges (2009), de acordo com proposta por De Ploey e Gabriels (1980). Segundo os autores citados os pinos devem ser numerados e cravados no solo, sendo monitorados sistematicamente quanto à sua altura em relação a superfície.

Segundo Borges (2009) por se tratarem de experimentos que exigiriam o uso de propriedades particulares, optou-se por instalar quatro estações de monitoramento de  $1\text{m}^2$  cada. Dentro de cada parcela, foram distribuídos 25 pinos de metais de 30 cm cada, que foram enterrados completamente no solo de forma que apenas a parte superior, que foi colorida,

ficasse visível. Para a definição do uso de 25 pinos em 1 m<sup>2</sup> utilizou-se a orientação sugerida por Campbell (1974, citado por De Ploy e Gabriels, 1980).

Além das medidas coletadas durante o período proposto por Borges (2009), para obter uma melhor comparação dos resultados da modelagem com os pinos de erosão, optou-se por calcular as perdas de solo nestas parcelas mediante a proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1999), na qual os autores propõem a seguinte equação para o cálculo das perdas de solo:

$$P = h.A.Ds \quad 7$$

Onde:

P = perda de solo (t/ha)

h = média de alteração de nível da superfície do solo (m)

A = área da parcela (m<sup>2</sup>)

Ds = densidade do solo (t/m<sup>3</sup>).

Dessa forma, foi possível estimar com um razoável grau de precisão a perda de solo e, através de cálculos, obter a perda em toneladas por hectare, comparando, posteriormente, tais dados com os valores de estimativa de perda de solo obtido com a EUPS.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com a quantificação de perdas de solo através das diferentes técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente da EUPS, nas escalas de 1:10.000 e 1:1.000, e, os dados de perdas reais de solo adquiridos com as parcelas experimentais estão organizados da seguinte maneira: primeiramente, são discutidos os resultados adquiridos na escala 1:10.000, comparando-os com os dados de perdas obtidos com as parcelas de experimentos. Em seguida, se apresentam os resultados adquiridos com os mapeamentos na escala 1:1.000 e, por fim, se encontra a comparação dos resultados adquiridos com os mapeamentos na escala 1:10.000 com os da escala 1:1.000 no sítio Lagoa Grande, juntamente com os resultados dos experimentos.

### 6.1 – Análise Comparativa dos Dados de Estimativa de Perda de Solos na Escala 1:10.000.

Na alta bacia do ribeirão Alam Grei, nas áreas dos topos aplainados recobertos por Latossolos, predominam as classes de potencial natural à erosão (PNE) muito fraca e fraca nas três técnicas utilizadas (fig. 16, fig. 17 e fig. 18). Tal fato se deve a essa área apresentar classes de declividade de <3% e 3 | 6%, respectivamente, associadas aos solos de baixo valor de erodibilidade.

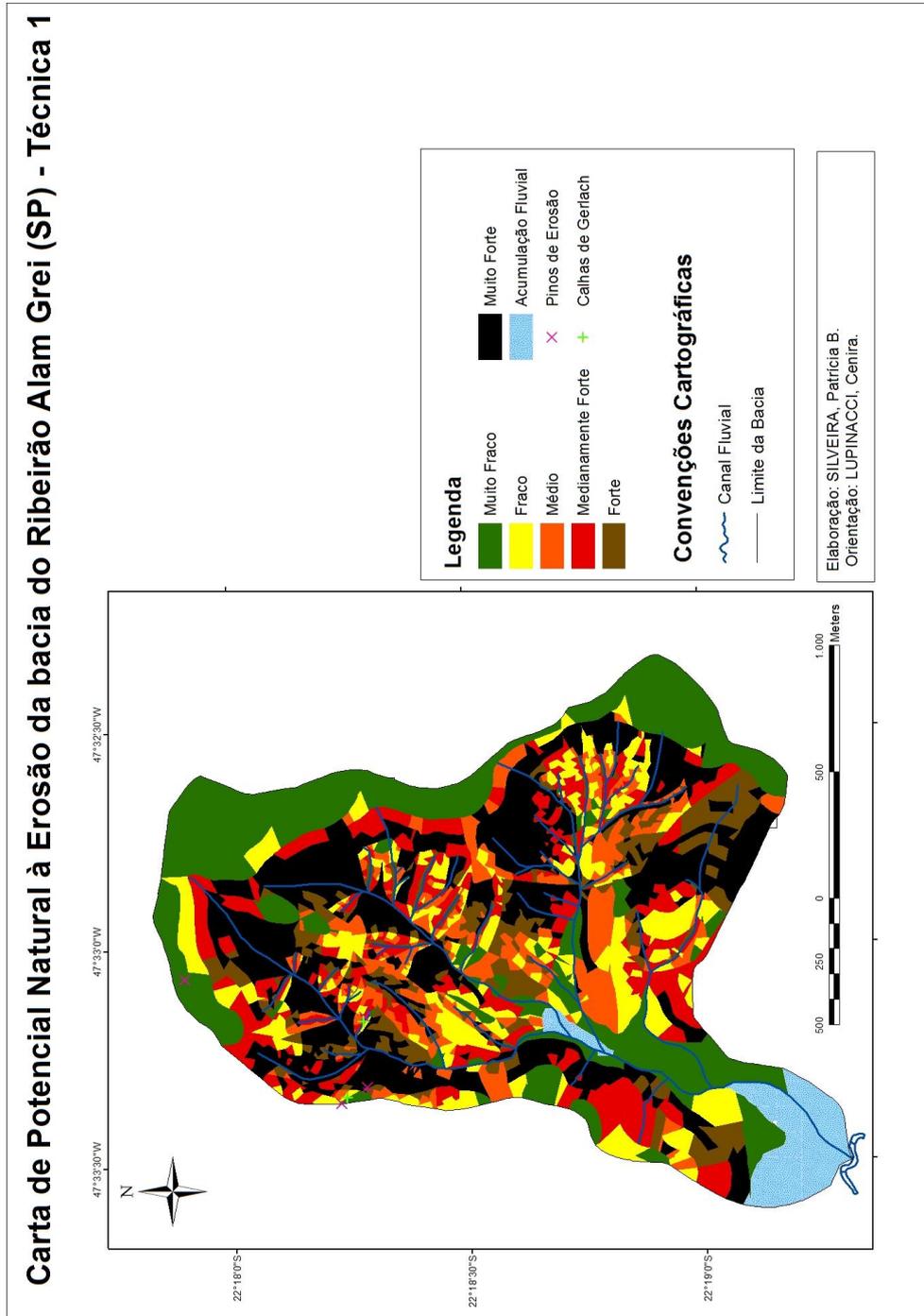


Figura 16 – Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 1

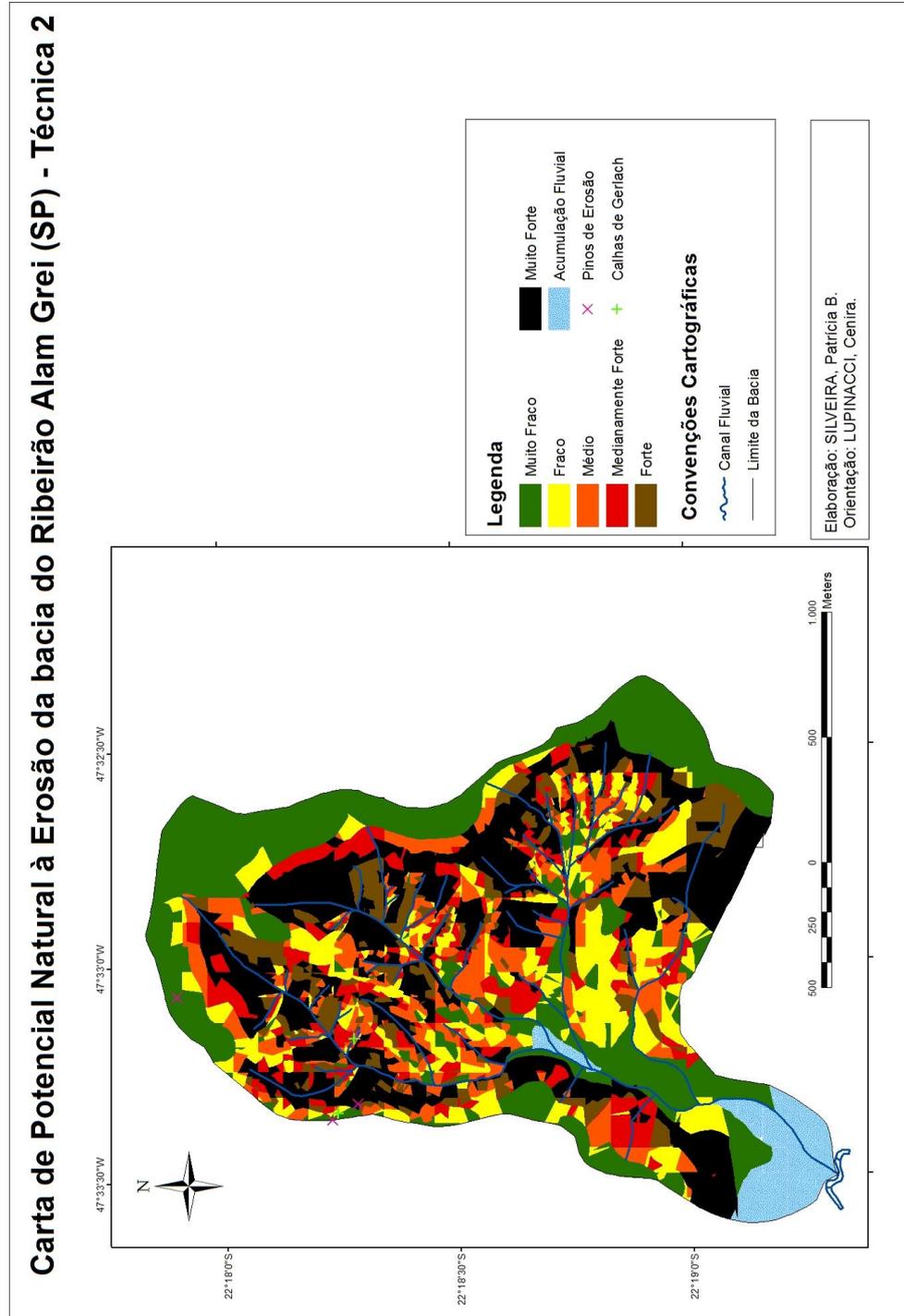


Figura 17 – Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 2

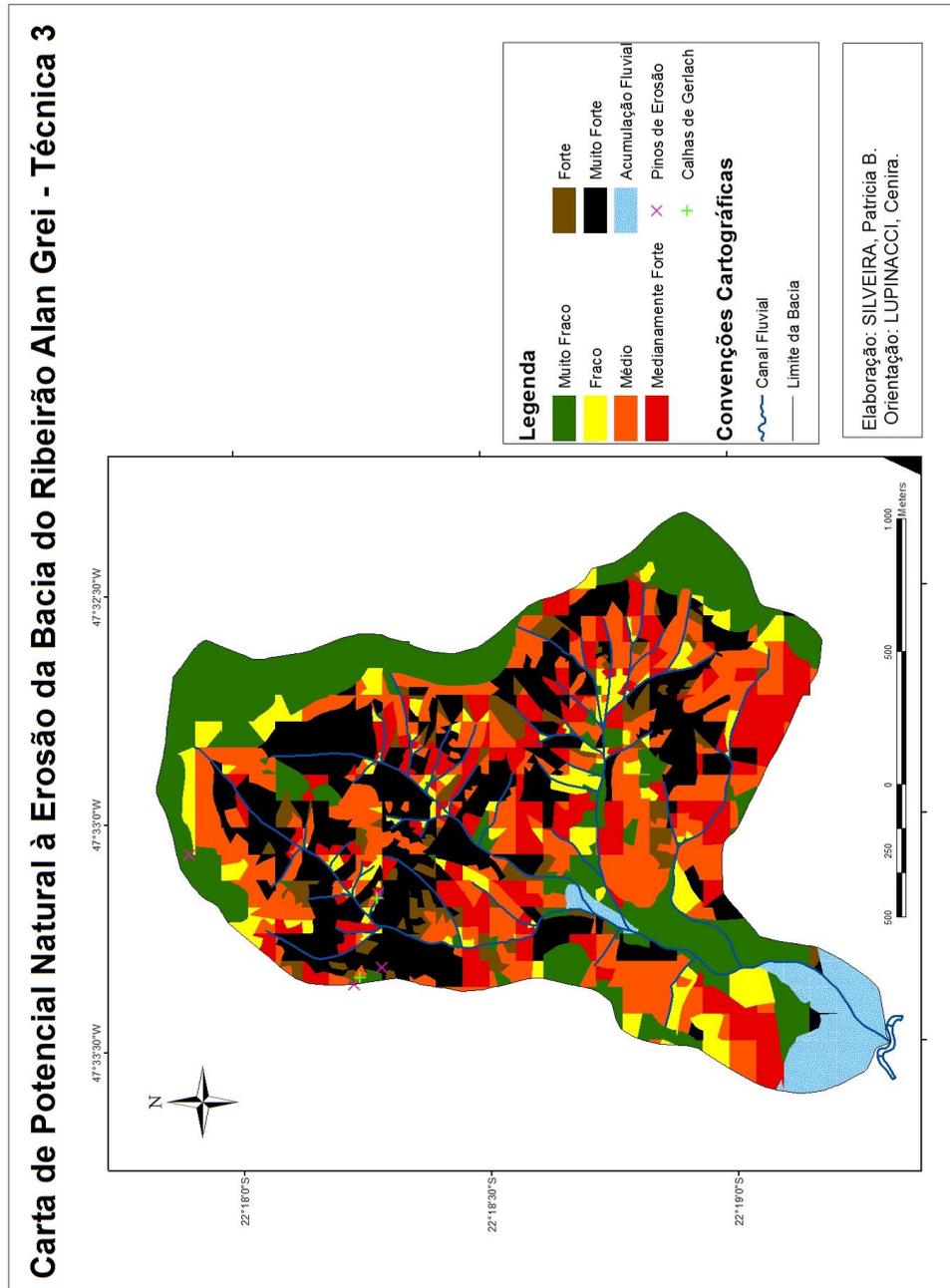


Figura 18 – Carta de Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão Alan Grei (SP) – Técnica 3

Quanto ao valor da extensão das vertentes, de acordo com a técnica 1, as mesmas chegaram a medir, à nordeste da bacia, cerca de 490m, já que nesse local a forma de vertente convexa se entende até o limite da média com a baixa vertente. Contudo, a classe de declividade é  $< 3\%$  nesse local, o que resulta em classe de PNE muito baixo. Nas outras áreas da alta vertente, a extensão foi menor, com predomínio de vertentes convexas e retilíneas.

Já os valores das extensões de vertentes adquiridos através da técnica 2 foram menores, já que as formas de vertentes foram divididas por uma malha quadriculada de 100 x 100m, o que fez com que essas áreas das altas vertentes apresentassem extensões de no máximo 130 metros. A única exceção dá-se no setor nordeste, onde a baixa vertente chegou a medir 400 metros de extensão.

Através da técnica 3, onde o valor das extensões de vertentes se deram através da dissecação horizontal do relevo, as áreas de topo se encaixaram em áreas pouco dissecadas, na classe de  $\geq 160$  metros, o que lhes atribuiu um valor de 161 metros.

Sobre essas características físicas, nas áreas de altas vertentes e topos da alta bacia do ribeirão Alam Grei encontram-se classes de uso e ocupação da terra de cultivo anual, pastos, cultivo perene e silvicultura, sendo que o cultivo anual predomina em extensão territorial. Dessa forma, as classes de estimativa de perda de solo (EPS) variam de acordo com o uso: nas áreas de silvicultura, a classe de EPS foi sessenta e quatro vezes menor que o índice de tolerância de perdas dos Latossolos,  $\leq 64xT$ . Nas áreas de cultivo anual e de pastagens as classes predominantes de perdas foram de  $64x < T$  a  $16x < T$ ,  $16x < T$  a  $4x < T$  e  $4x T$  a igual a  $T$ , ou seja, não ultrapassaram o índice de tolerância de perdas. Tais classes são observadas nas três cartas de Estimativa de Perda de Solo da bacia do ribeirão Alam Grei (SP), como observa-se nas figuras 19, 20 e 21.

Nesse setor de alta vertente, na alta bacia do ribeirão Alam Grei, encontra-se a primeira estação experimental dos pinos de erosão, localizada em área de silvicultura. Os dados de perda de solo adquiridos nessa estação foram de 1, 311 ton/ha/ano, se enquadrando na classe de estimativa de perdas de solo de  $16x < T$  a  $4x < T$ .

Entre os topos aplainados cobertos pelos Latossolos e as áreas de grande declividade da bacia, recobertas pelos Neossolos, encontra-se uma faixa bem definida, caracterizada por classes médias de declividade,  $6\% \text{ } \vdash \text{ } 12\%$  e  $12\% \text{ } \vdash \text{ } 20\%$ , recobertas pelos Argissolos. Nessa faixa, merece destaque a margem direita do ribeirão Alam Grei, onde a classe predominante de PNE, adquirida através da técnica 1, é a medianamente forte. Através da técnica de formas de vertentes, as extensões nesse setor chegaram a medir cerca de 350 metros nas áreas onde as

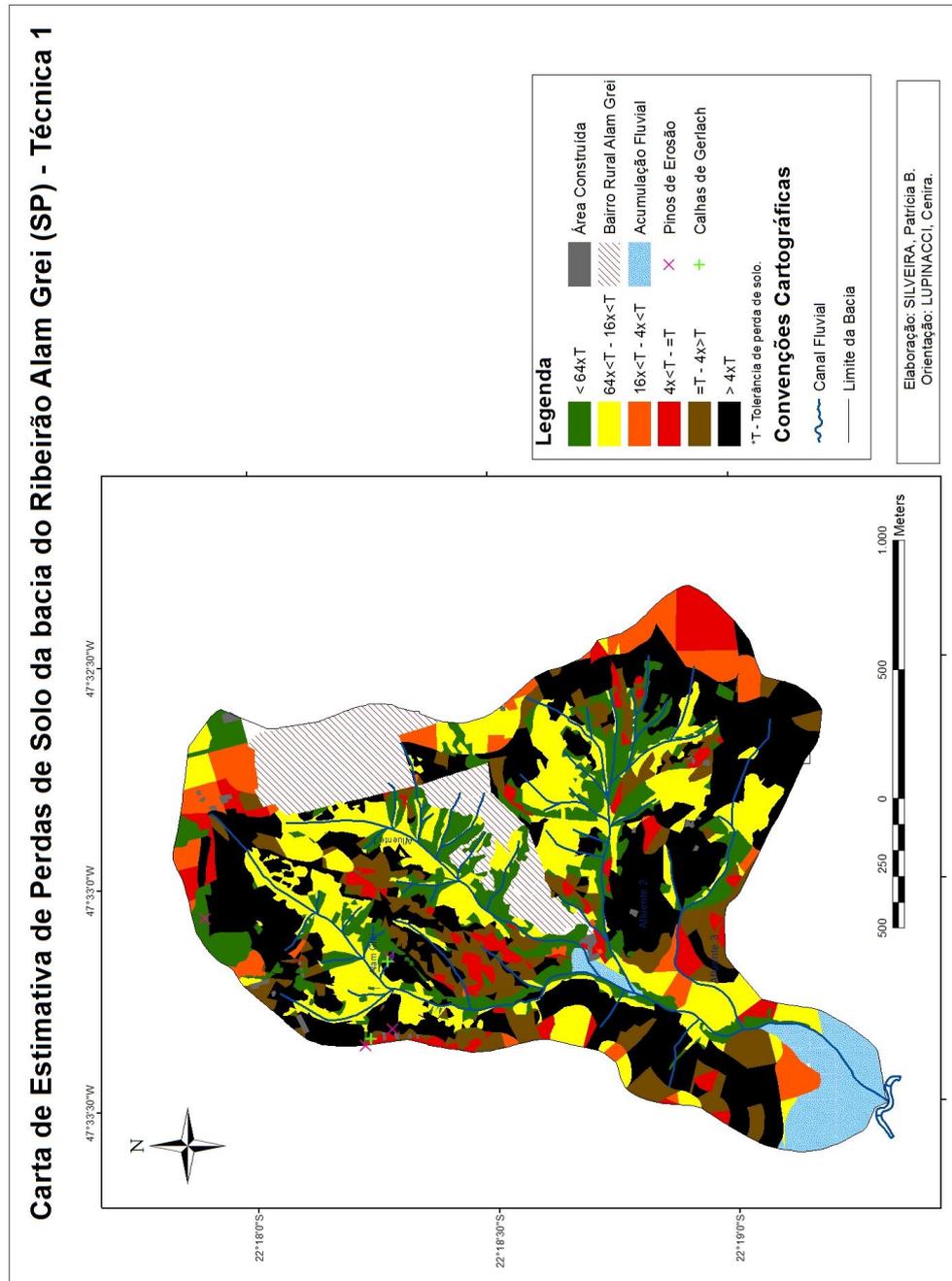


Figura 19 - Carta de Estimativa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 1.

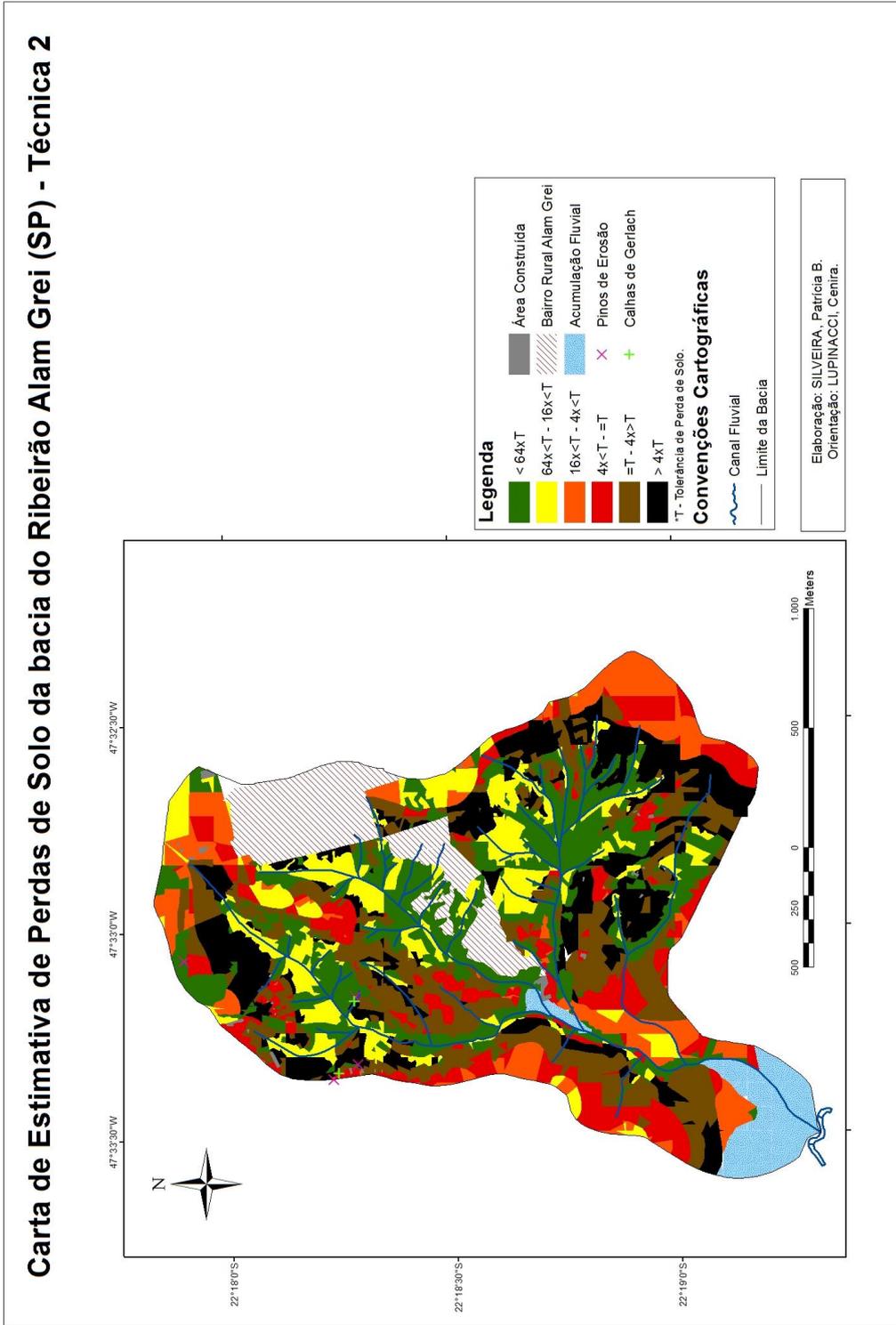


Figura 20 - Carta de Estimativa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 2.

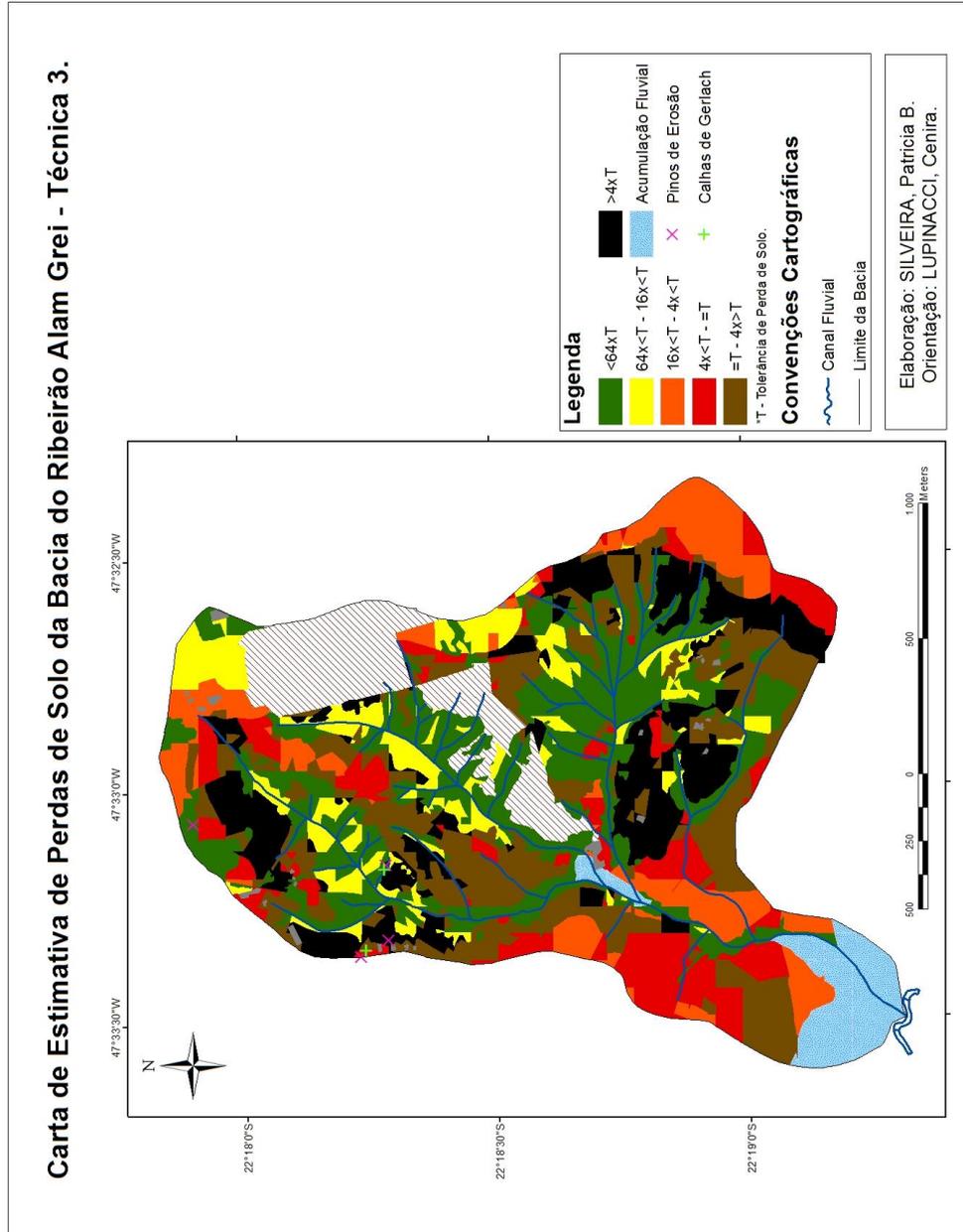


Figura 21 - Carta de Estimativa de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão Alam Grei (SP) – Técnica 3.

formas de vertentes eram únicas da alta até a baixa vertente, ou mesmo, da média à baixa vertente.

Já, através da técnica 2, as classes de PNE variam mais se comparada com a técnica anterior, pois com a malha quadriculada as extensões das vertentes nesse setor adquiriram valores mais variados, de 130 a 300 metros de extensão.

Quanto a classe de PNE predominante, adquirida através da técnica três, constatou-se que esses atingiam a classe média. Através da carta de dissecação horizontal, esse setor apresentou extensões de vertentes predominantemente de 161 e 120 metros, respectivamente, o que resultou na menor variação da classe de PNE, se comparado com as duas técnicas anteriores.

O uso e ocupação da terra nesse setor é praticamente voltada ao cultivo anual e às pastagens, o que tornam os valores de estimativa de perdas de solo elevados através das três técnicas. Contudo, é na carta de estimativa de perdas de solo com a técnica 1, que a classe predominante é a  $> 4xT$ , ou seja, onde as perdas são quatro vezes maiores que o limite de tolerância de perdas dos Argissolos, fato esse justificado pelas extensões de vertentes possuírem maiores valores na técnica 1 do que nas demais, como mencionado anteriormente.

Através da técnica 2, as classes de estimativa de perdas de solo predominantes são as de  $> 4xT$  e igual  $T \mid 4x > T$ , respectivamente, apresentando também a classe  $4x < T \mid$  igual  $T$ . Já a carta de estimativa de perdas de solo da técnica 3, apresenta, predominantemente, as seguintes classes de EPS:  $> 4xT$ ,  $4x < T \mid$  igual  $T$  e igual  $T \mid 4x > T$ , respectivamente.

Em altitudes inferiores a dos Argissolos ainda na margem direita do ribeirão Alam Grei, têm-se a área recoberta pelos Neossolos, em setores onde as classes de declividade são mais acentuadas que as anteriores, atingindo valores de  $20 \mid 30\%$  e  $\geq 30\%$ . Tais características, fazem com que os valores de PNE sejam altos, com as classes predominantemente forte e muito forte, de acordo com as três cartas de potencial natural à erosão da bacia do Alam Grei.

De acordo com a técnica 1, os valores das extensões das vertentes nesses setores foram bastante acentuados, principalmente nas médias vertentes, já que essas, por fazerem parte de uma mesma forma que se estende, na maioria das vezes, até a sua parte inferior, adquirirão valores muito maiores que o real. Assim, um setor, na média vertente, que deveria apresentar 280 metros de extensão, do topo até seu limite, adquiriu valores maiores, de 350 metros. Tal fato exemplificado ocorreu em mais de um setor, supervalorizando as extensões nesses setores

O mesmo não ocorreu através da técnica 2, onde as médias vertentes foram avaliadas, de acordo com a malha quadriculada, do topo até o limite das mesmas. Dessa forma, a classe

de PNE muito alta está presente em maior extensão na carta de potencial natural à erosão da técnica 1 do que na técnica 2.

Já na técnica 3, os valores de extensão das vertentes nesse setor foram bastante variados, por essa ser uma área bastante dissecada horizontalmente. Contudo, há o predomínio da classe de dissecação horizontal de 40 | 80 m, adquirindo dessa forma, as vertentes dessa classe, a extensão de 60 metros. Porém, mesmo com valores de extensões das vertentes mais baixos que os valores adquiridos com as técnicas anteriores, quando associadas aos valores de declividade e de erodibilidade dos solos, essas áreas também apresentam classes de PNE elevadas.

Contudo, esse setor apresenta como característica marcante a presença de cobertura vegetal de matas, o que vem a proteger o solo da ação dos agentes erosivos, tornando as classes de EPS bem abaixo do limite de tolerância de perdas dos Neossolos. Na carta de estimativa de perdas de solo com a técnica 1, a classe predominante foi a de  $64x < T \text{ | } 16x < T$ , enquanto que nas cartas de estimativa de perdas de solo com as técnicas 2 e 3, a classe predominante foi a  $\leq 64xT$ . Tal fato se deve pelos valores do fator topográfico adquiridos pela técnica 1 terem sido maiores que nas demais, como mencionado.

Entre o ribeirão Alam Grei e o afluente 1 encontra-se um setor de interflúvio com divisores de água suavizados à norte, recobertos por Argissolos até o limite com a média vertente, e divisores mais declivosos ao sul, onde se inserem os Neossolos, que se estendem até as baixas vertentes. Os valores de declividade nesse interflúvio, são predominantemente maiores de 12%, com a classe de 12 | 20% predominando nas médias vertentes e as classes de 20 | 30% e  $\geq 30\%$  nas baixas vertentes.

Tal interflúvio apresenta características assimétricas, sendo que as vertentes que drenam em direção ao afluente 1 apresentam classes de declividade mais acentuadas do que as vertentes que drenam em direção ao ribeirão Alam Grei, com predomínio da classe de  $\geq 30\%$ . Nessas, as extensões das vertentes, através da técnica 1, adquiriram valores acentuados, principalmente quando as formas são as mesmas do topo ao fundo de vale ou da média vertente ao fundo de vale. Assim, setores de alta vertente chegaram a receber valores de extensão de 230 metros, assim como, medias vertentes, que se localizam a 150 metros do topo, adquiriram valores próximos aos 300 metros de extensão.

Já nas extensões das vertentes adquiridas através da técnica 2, os valores das altas vertentes não ultrapassam 90 metros de extensão e as medias vertentes, em média, atingiram não mais que 200 metros, demonstrando valores mais próximos do real, já que a mesma é setorizada em quadriculas, não generalizando os valores das altas e médias vertentes.

Quanto à técnica 3, por esse ser um setor bastante dissecado horizontalmente, os valores das extensões das vertentes foram menores, sendo que a maioria recebeu o valor de 30 metros de extensão, devido a classe de dissecação horizontal predominante ser a de 20 | 40m.

Contudo, a classe de PNE nesse setor é, predominantemente, a muito forte devido à combinação das extensões das vertentes com a classe de declividade  $\geq 30\%$  e o elevado valor de erodibilidade dos Argissolos e Neossolos. Contudo, as classes de estimativa de perdas de solo variam nesse setor devido ao uso e ocupação da terra e a cobertura vegetal, os quais não são homogêneos. Nas baixas vertentes têm-se a cobertura vegetal das matas ciliares, o que tornam as classes de EPS mais baixas nesses setores, com predomínio da classe de  $64x < T$  |  $16x < T$ .

Nas altas e medias vertentes, o uso é destinado às pastagens, o que torna as classes de EPS elevadas, devido à combinação dessa classe com os valores altos de PNE. Assim, nesses setores as classes de EPS ultrapassam os limites de tolerância de perdas, sendo essas a de  $T$  |  $4x > T$  e  $> 4xT$ .

Quanto às vertentes do interflúvio que drenam em direção ao ribeirão Alam Grei, essas apresentam classes de declividade mais variadas e amenas, com predomínio da 12 | 20% e de 20 | 30%, respectivamente. Da mesma forma que o setor oposto, analisado anteriormente, esse setor do interflúvio apresentou valores maiores de extensões através da técnica 1, nas altas e baixas vertentes, quando a forma da vertente era a mesma do topo ao fundo de vale ou da média vertente ao fundo de vale, fato esse que fica bastante amenizado quando calculada a extensão de vertente através da malha quadrícula.

Assim, as classes de PNE variaram bastante, de acordo com a combinação de classes de declividade mais ou menos acentuadas e com as variações nas extensões das vertentes, juntamente com o fator erodibilidade, nas duas técnicas mencionadas.

A obtenção dos dados de extensão das vertentes nesse setor através das classes de dissecação horizontal apresentaram valores predominantemente de 60 e 30 metros, respectivamente, com áreas também onde os valores de extensão chegaram a 120 e 160 metros.

Já as classes de EPS apresentam dois setores bem definidos nessa área, com classes baixas de  $\leq 64xT$  e  $64x < T$  |  $16x < T$ , nas baixas vertentes onde a cobertura vegetal é de mata ciliar e, classes mais elevadas de  $4x < T$  | igual  $T$ , igual  $T$  |  $4x > T$  e  $> 4xT$  nas médias e altas vertentes onde o uso e ocupação da terra é de pastagem. Tal fato é verificado nas três cartas de estimativa de perdas de solo do ribeirão Alam Grei.

Nesse setor, encontram-se duas estações experimentais, uma dos pinos de erosão e a outra da calha coletora de Gerlach. Tais experimentos se encontram na média vertente ao sul

do interflúvio, em áreas de pasto sujo. De acordo com as três técnicas de mapeamento, a classe de perda de solo onde se inserem esses experimentos é a de  $>4xT$ .

De acordo com os dados dos pinos de erosão, os dados de perdas nessa área foi de 3,78 ton/ha/ano, o que indica perdas abaixo do índice de tolerância para os Neossolos, que é de 4,2. Já os dados de perdas de solo obtidos com as calhas coletoras de Gerlach, no período analisado, totalizaram perdas reais de solo de 9,6 ton/ha/ano, valor esse que se encontra acima do índice de tolerância de perdas dos Neossolos.

O quadro 12 apresenta os valores absolutos de estimativa de perdas de solo adquiridas com o modelo preditivo EUPS nos locais onde se inserem as parcelas experimentais, de acordo com as três técnicas utilizadas para o mapeamento, bem como os valores de perdas reais obtidos com os experimentos dos pinos de erosão e das calhas coletoras. Cabe ressaltar que ambas as parcelas experimentais se localizam na mesma parcela de cálculo da EUPS nas três técnicas distintas.

<b>Técnica de Aquisição dos Valores de Perda de Solo</b>	<b>Perda de Solo em ton/ha/ano.</b>
1. Mapeamento de perda, técnica 1.	19,59
2. Mapeamento de perda, técnica 2.	14,28
3. Mapeamento de perda, técnica 3.	17,26
4. Experimento dos pinos de erosão.	3,78
5. Experimento das calhas coletoras.	9,6

Quadro 12 – Valores de estimativa de perdas de solo através do modelo preditivo EUPS e perdas reais de solo através das parcelas experimentais.

Dessa forma, verifica-se através dos dados apresentados na tabela, que os valores absolutos de estimativa de perda de solos adquiridos com o modelo preditivo EUPS, através das três técnicas distintas de obtenção dos dados de extensão da vertente, são próximos, estando ambos acima do índice de tolerância de perdas dos Neossolos. Porém, os valores de perdas reais adquiridos com as duas parcelas experimentais, uma de pinos de erosão e a outra de calha coletora, apresentaram dados bastante distintos, porém, ambos os resultados são menores do que os valores de EPS adquiridos com o modelo.

Vale ressaltar que, os dados de pinos de erosão são mais antigos que os da calha coletora, adquiridos por Borges (2009) num período de um ano na área de estudo, enquanto os dados de perdas reais de solo adquiridos com as calhas coletoras de Gerlach são recentes e tiveram um período de experimentação de três anos.

Outra área bastante dissecada da bacia do ribeirão Alam Grei se localiza à sudeste da mesma, onde estão as nascentes do afluente 2. Nessas áreas as classes de declividade variam de 12 | 20%, 20 | 30% e  $\geq 30\%$ , com solos do tipo Neossolos. Quanto aos valores das extensões das vertentes adquiridos através da técnica 1, esses variaram bastante, sendo que nas bacias dos canais de primeira ordem os valores foram baixos devido à proximidade dos cursos de água com as áreas de divisor de água, com algumas exceções. Em geral, as maiores extensões chegaram a 30 metros, e as menores a 6 metros. Nas demais áreas, que não são drenadas pelos canais fluviais de primeira ordem, as vertentes apresentaram extensões maiores, apresentando, em alguns setores, aproximadamente 600m. Além disso, as áreas da alta e média vertente, em sua maioria, obtiveram dados supervalorizados devido a forma dessas vertentes serem a mesma do topo ao fundo do vale.

Tal fato, gerou áreas de baixas e médias classes de PNE, a saber, fraca, média e medianamente forte, com predomínio da primeira, nas áreas drenadas pelos canais de primeira ordem. Já nas outras áreas, a classe de PNE foi a muito forte. Contudo, é importante destacar que nas áreas próximas ao topo, onde as classes de declividade são  $< 2\%$ , os solos são classificados como Latossolos, o que torna a classe de PNE nesse local muito fraca, apesar dos valores altos da extensão das vertentes.

Através da técnica 2, os valores das extensões das vertentes também foram baixos nas sub-bacias dos canais de primeira ordem, já que nesses setores a malha quadriculada não teve influência nas medidas. Porém, nas outras áreas, a malha quadriculada serviu para que as altas vertentes obtivessem valores mais baixos de extensão, já que as mesmas se encontravam individualizadas pelas quadrículas. Contudo, as médias e baixas vertentes apresentaram valores elevados, já que nesse setor, a distância entre o fundo de vale e o topo é grande, atingindo mais de 600m de comprimento.

Dessa forma, as classes de PNE presentes na carta de potencial de perdas de solo, técnica 2, são bem distintas nesses dois setores. Nas áreas drenadas pelos canais de primeira ordem as classes variam de muito fraco, fraco, média a medianamente forte. Já nas outras áreas predominam as classes forte e muito forte, com exceção das altas vertentes, que apresentam classe muito fraca devido à baixa declividade do terreno,  $< 2\%$ , a valores de extensão de vertentes menores e solos do tipo Latossolos.

Já os valores das extensões das vertentes adquiridos pela técnica 3, variaram bastante nesse setor, contudo, há o predomínio dos valores de 30 e 60 metros e também de 15m, devido à proximidade dos canais de primeira ordem com os topos. Tais valores só foram maiores nas

áreas que vão das nascentes até os topos do limite da bacia, onde o valor predominante das extensões foram de 161 metros.

Assim, as classes de PNE, nos setores de maior dissecação horizontal, foram variados, porém, com predomínio das classes média e medianamente forte, enquanto que nas áreas de maiores valores de extensão da vertente, essas classes foram um pouco mais elevadas, forte e muito forte. Porém, ressalta-se que as classes mais fortes de PNE aparecem em menor extensão territorial, nesse setor, com a aplicação da técnica 3 do que com a aplicação das técnicas 1 e 2, já que os valores máximos de extensão das vertentes na técnica 3 foi de 161 metros.

Nesse setor, as matas ciliares também se fazem presentes, margeando os canais fluviais, o que torna a classe de estimativa de perda de solo  $\leq 64xT$ . Contudo, nas demais áreas, o uso da terra é de pastagens, cana-de-açúcar e cultivo anual, o que torna os valores de estimativa de perdas de solo mais elevadas. As áreas de pastagens, cultivo anual e cana-de-açúcar que se encontram onde as classes de PNE são forte e muito forte, apresentam classes de estimativa de perdas de solo também elevadas, variando de  $T \text{---} 4x > T$  e  $> 4xT$ , nas três cartas de EPS da bacia do ribeirão Alam Grei. Porém, as áreas de cultivo anual e cana-de-açúcar situadas nas áreas da alta vertente, com classe de PNE muito fraco, apresentam valores de EPS, predominantemente de  $4x < T \text{---} \text{igual } T$ , na carta de EPS técnica 1, de  $16x < T \text{---} 4x < T$  e  $4x < T \text{---} \text{igual } T$  na carta de EPS técnica 2 e, de  $16x < T \text{---} 4x < T$  na carta de EPS técnica 3.

Outro setor de destaque na bacia do ribeirão Alam Grei se encontra na margem direita desse, na baixa bacia. Esse setor, de maneira geral, apresenta classes de declividade baixas nas altas vertentes,  $< 3\%$  e  $3 \text{---} 6\%$  e, classes medias de declividade nas médias e baixas vertentes, de  $6 \text{---} 12\%$  e de  $12 \text{---} 20\%$ , havendo o predomínio da última. Além disso, esse setor apresenta solos do tipo Argissolos nas altas e medias vertentes e Neossolos nas baixas vertentes.

Através da técnica 1, os valores das extensões de vertentes nesses setores, com apenas duas exceções, foram os mesmos deste o topo até o fundo vale, haja vista que as formas não se alteram. Os maior valor encontrado nesse setor foi o de 350 metros, sendo que os menores se localizam nas duas sub-bacias presentes na área.

Dessa forma, as classes de PNE, de acordo com a carta de potencial natural à erosão, técnica 1, nas médias e baixas vertentes são medianamente forte e muito forte, sendo a classe muito forte a que predomina. Apenas na alta vertente, onde a classe de declividade é de  $< 2\%$ , a classe de PNE foi muito fraca. Nessas áreas, o uso e ocupação da terra é de pastagens, sendo que a mata ciliar se encontra numa faixa bastante estreita nos fundos de vale, fazendo com que os valores de EPS sejam altos, predominando a classe  $> 4xT$  nas médias e baixas vertentes e, a classe de  $64x < T \text{---} 16x < T$  nas altas vertentes.

Com a técnica 2, os valores de extensão de vertentes nesses setores variaram mais em relação aos valores obtidos com a técnica 1, já que a malha quadriculada permitiu a setorização das vertentes desde o topo até o fundo dos vales. Assim, as áreas das altas vertentes não ultrapassaram valores maiores que 90m de extensão, e as médias vertentes, 209m, tornando assim tais valores mais próximos do real. Tal fato, fez com que as classes de PNE fossem classificadas como muito fraco e fraco em todo o setor das altas vertentes, sendo que nas médias e baixas vertentes as classes variaram de média, medianamente forte, forte e muito forte.

Tais classes de PNE quando associadas ao valor do fator uso e ocupação da terra e práticas conservacionistas das pastagens, apresentaram as seguintes classes de EPS:  $64x < T$   $\mid$   $16x < T$  e  $16x < T$   $\mid$   $4x < T$  nas altas vertentes e, igual  $T$   $\mid$   $4x > T$  e  $> 4xT$  nas médias e baixas vertentes.

Por fim, o valor adquirido para as extensões das vertentes nesse setor, através da técnica 3 foi, predominantemente, de 161 metros, com exceção das vertentes das duas sub-bacias localizadas nesse setor, onde predominaram os valores de 15 e 30 metros de comprimento. Assim, nota-se uma generalização dos comprimentos das vertentes onde a dissecação horizontal do relevo é maior, já que as altas vertentes ficam com valores acima do real e baixas vertentes com valores subestimados.

Dessa forma, as classes de estimativa de perdas de solo são predominantemente de  $4x < T$   $\mid$  igual  $T$  nas altas vertentes e de igual  $T$   $\mid$   $4x > T$ , nas médias e baixas vertentes.

Por último, destaca-se o setor onde se encontram mais duas parcelas de experimentação, na margem direita do ribeirão Alam Grei, na média bacia. Nesse as classes de declividade são de 3  $\mid$  6% na alta vertente, de 20  $\mid$  30% na média vertente e 12  $\mid$  20% na baixa vertente, com Neossolos recobrando a superfície do topo ao fundo de vale. Nessa área o valor da extensão da vertente adquirida através da técnica 1 foi de 249 metros, valor esse que foi o mesmo na alta, média e baixa vertente devido a forma ser a mesma. Assim, a classe de PNE foi de fraca, na alta vertente e de muito forte, na média e baixa vertente.

Quanto às classes de uso e ocupação da terra, têm-se na alta vertente um setor de pasto sujo, cultura perene na alta e média vertente e pastos na média e baixa vertente, além das matas ciliares margeando o ribeirão Alam Grei. Tais usos e coberturas da terra associados com as classes de PNE, resultaram nas seguintes classes de estimativa de perdas de solo:  $4x < T$   $\mid$  igual  $T$  e igual  $T$   $\mid$   $4x > T$  na alta vertente e início da média vertente;  $> 4xT$  na média e baixa vertente e de  $64x < T$   $\mid$   $16x < T$  nas áreas onde se encontram as matas ciliares.

Já os valores da extensão das vertentes adquiridos pela técnica 2, apresentou valores para a alta vertente de 95 metros de extensão, 145m para as médias vertentes e de 249 metros

para a baixa vertente. Assim, as classes de PNE adquiridas com a técnica 2 foram de muito fraca e fraca na nas áreas da alta vertente e de muito forte na média e baixa vertente, assim como na carta de PNE – técnica 1.

Associados os valores do fator uso e ocupação da terra e práticas conservacionistas com as tais classes de PNE obteve-se valores de EPS  $4x < T$  | igual T, na alta vertente,  $> 4xT$  na média e baixa vertente e  $64x < T$  |  $16x < T$  nas áreas cobertas pelas matas ciliares. Tais resultados de estimativa de perdas de solo foram muito semelhantes na técnica 1 e na técnica 2.

Quanto aos valores de extensão das vertentes adquiridos com a técnica 3, esses foram de 161 metros nessa área devido a classe de dissecação horizontal do relevo ser  $\geq 160$  metros. Contudo, aqui encontra-se o mesmo problema que em outros setores, onde a alta vertente apresenta valor muito elevado de extensão e a baixa vertente apresenta um valor menor que o seu comprimento real, que no caso chega a 249 metros.

Tal fato faz com que a classe de PNE seja classificada como muito fraca apenas próxima ao topo, onde a classe de declividade é de  $3$  |  $6\%$ , como já mencionado, sendo que no restante da vertente a classe de PNE é muito forte. Assim, as classes de EPS nesse setor é de  $4x < T$  | igual T na alta vertente e de igual T |  $4x > T$  e  $> 4xT$  na média e baixa vertente.

Nesse setor, foram obtidos também, dados de perda de solo através três estações experimentais, sendo duas de pinos de erosão e uma de calha coletora de Gerlach. Uma das parcelas dos pinos de erosão se encontra em área de pasto sujo, próximo ao topo; e a outra em área de cultivo perene. Já a parcela da calha coletora se encontra na transição do pasto sujo para a área de cultivo perene, na alta bacia. O quadro 13 traz a comparação dos dados com o modelo preditivo EUPS, utilizando as três técnicas distintas, para as áreas onde se encontram as parcelas experimentais, bem como os valores reais obtidos em cada parcela.

Local	EPS (Técnica 1)	EPS (Técnica 2)	EPS (Técnica 3)	Perda em Campo (Pinos de Erosão)	Perda em Campo (Calhas Coletoras)
1. Pasto Sujo	10,03 ton/ha/ano	3,31 ton/ha/ano	6,37 ton/ha/ano	1,624 ton/ha/ano	—————
2. Cultivo Perene	68,37 ton/ha/ano	50,72 ton/ha/ano	50,92 ton/ha/ano	14,37 ton/ha/ano	—————
3. Cultivo Perene	39,58 ton/ha/ano	20,55 ton/ha/ano	30,07 ton/ha/ano	—————	0,79ton/ha/ano

Quadro 13 – Comparação dos valores absolutos de estimativa de perda de solo adquiridos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão das vertentes com os dados de perda de solo das parcelas experimentais.

Dessa forma, observa-se que a perda obtida na área 1, de pasto sujo, através dos pinos de erosão, apresentam valores de perdas mais próximas com o mapeamento de EPS técnica 2. Na área 2, de cultivo perene, os valores de perdas reais adquiridos também com parcelas de pinos de erosão são bastante inferiores aos valores de EPS adquiridos pelas 3 técnicas. E, por fim, verifica-se que os valores de perda obtidos com o experimento das calhas coletoras na área de pomar (cultivo perene) se mostram muito abaixo dos valores de EPS adquiridos através do modelo EUPS, nas três técnicas.

## 6.2 – Análise Comparativa dos Dados de Estimativa de Perda de Solos na Escala 1:1.000.

As cartas de Estimativa de Perdas de Solo do sítio Lagoa Grande (figuras 22, 23 e 24) demonstram, de maneira geral, que as menores perdas de solo por erosão laminar ocorrem no interflúvio entre o ribeirão Alam Grei e seu afluente “a”. Nessa área, as classes de perdas são de  $\leq 64xT$  e  $64x < T \leq 16x < T$ , ou seja, valores muito abaixo do índice de tolerância de perdas de solo, que nessa área são os Neossolos. Tal característica se dá pela presença das matas que recobrem toda essa extensão, protegendo o solo da ação dos agentes erosivos, já que nesse setor, as classes de potencial natural à erosão são, apesar de variadas, bastante elevadas (figura 25).



Figura 25 – Cobertura Vegetal de Mata no Interflúvio do ribeirão Alam Grei e o afluente “a”.

Através da carta de Potencial Natural à Erosão, técnica 1, (figura 26) constata-se que a classe predominante de PNE é a muito forte, resultante do alto valor de erodibilidade dos Neossolos, das classes de declividade que predominam de  $12 \text{ } \vdash \text{ } 20\%$ ,  $20 \text{ } \vdash \text{ } 30\%$  e  $\geq 30\%$  e das extensões das vertentes, que mediram, em média, cerca de 105 metros, devido as formas que se mantêm ao longo da mesma, da média até a baixa vertente. Nas altas vertentes, a extensão não ultrapassou os 40 metros.

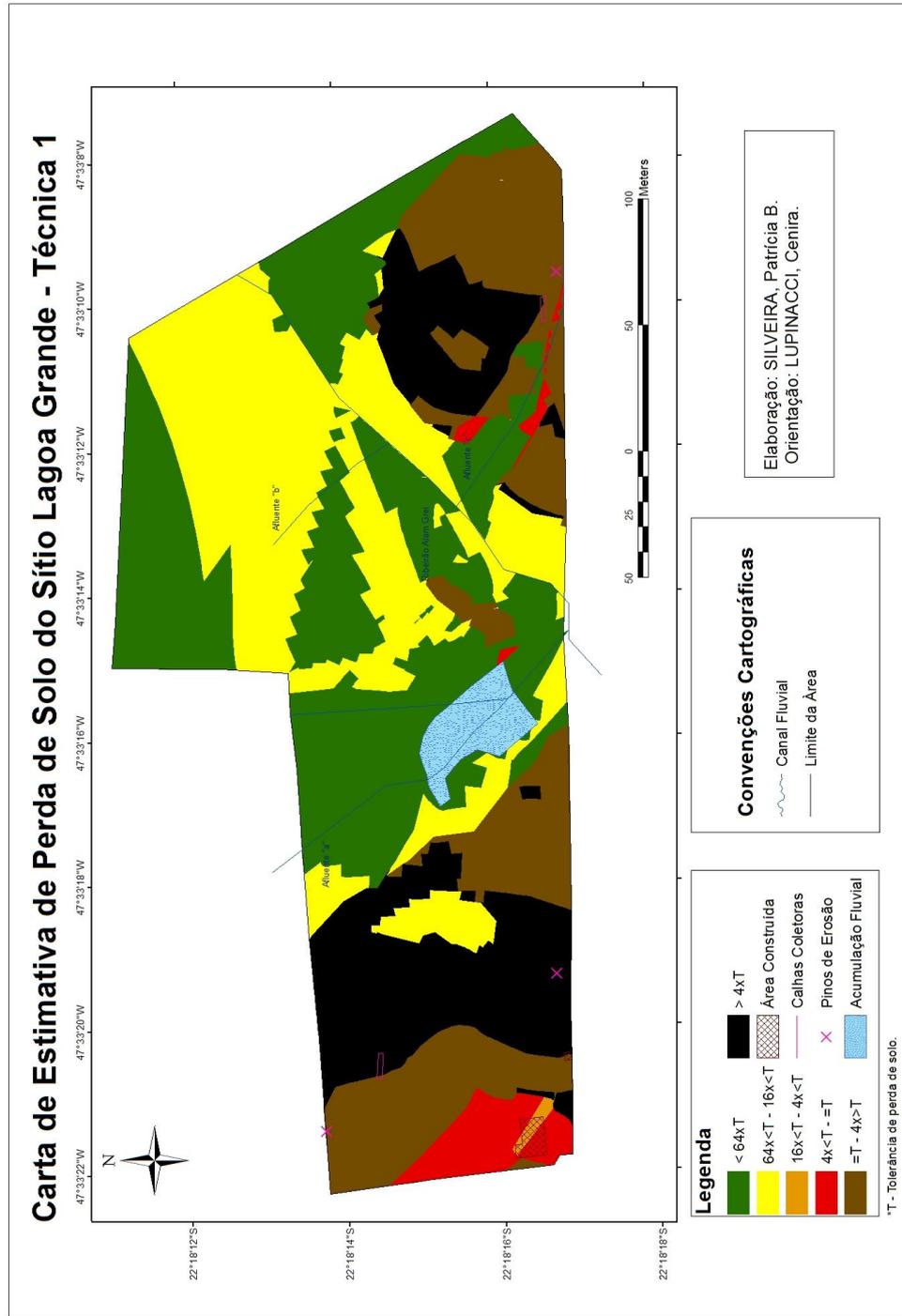


Figura 22 – Carta de Estimativa de perda de Solo do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 1.

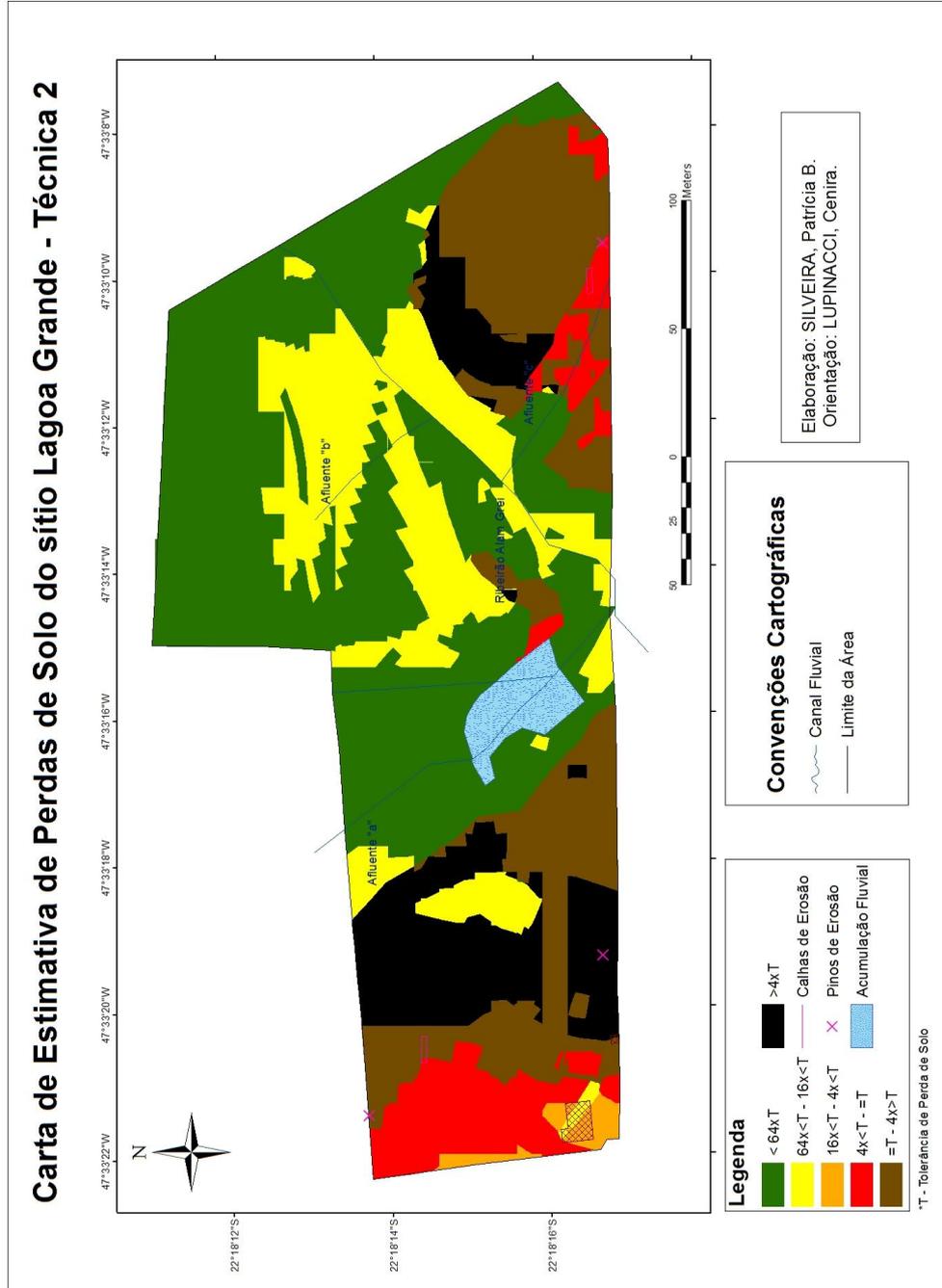


Figura 23 – Carta de Estimativa de Perda de Solo do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 2.

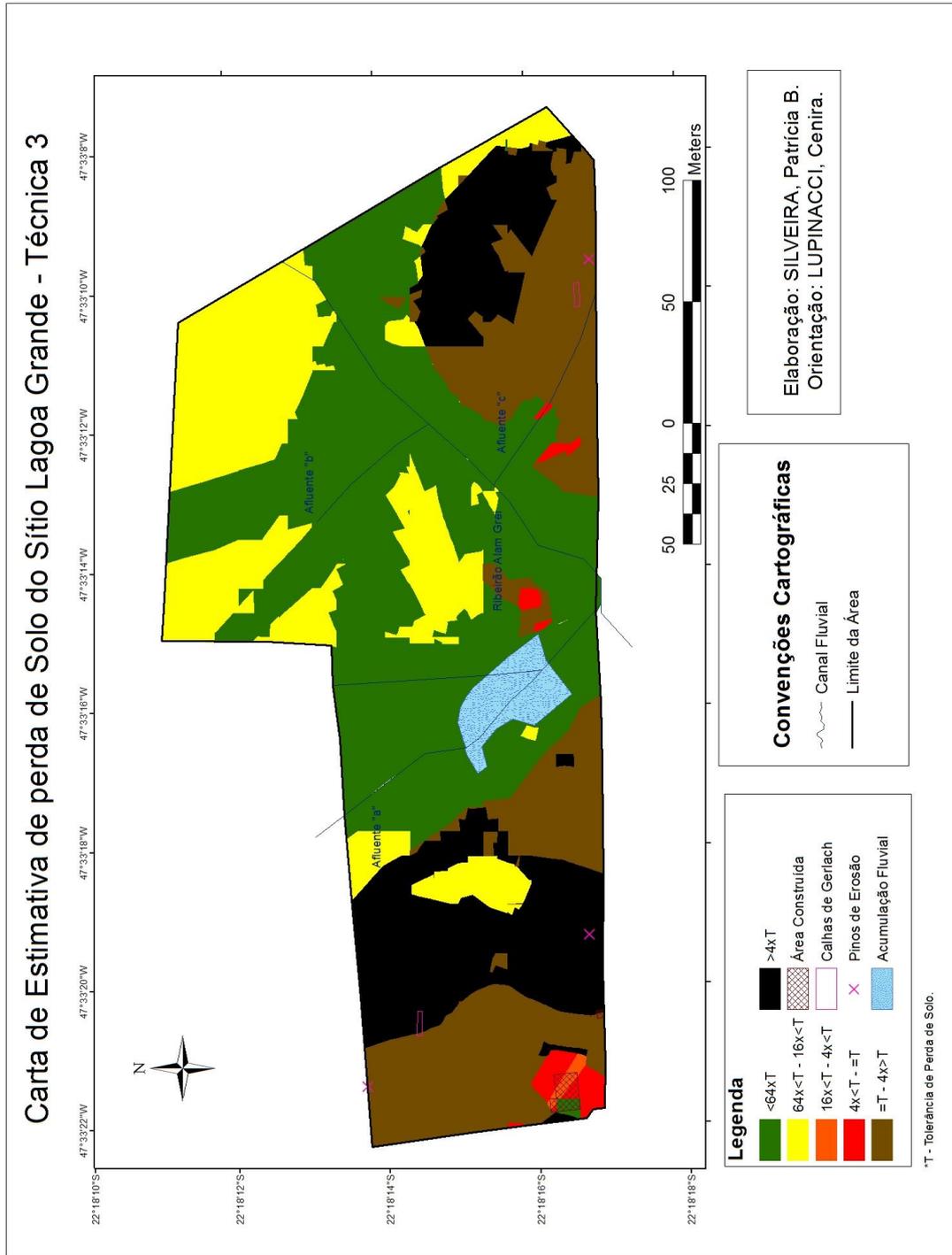


Figura 24 – Carta de Estimativa de Perda de Solo do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 3.

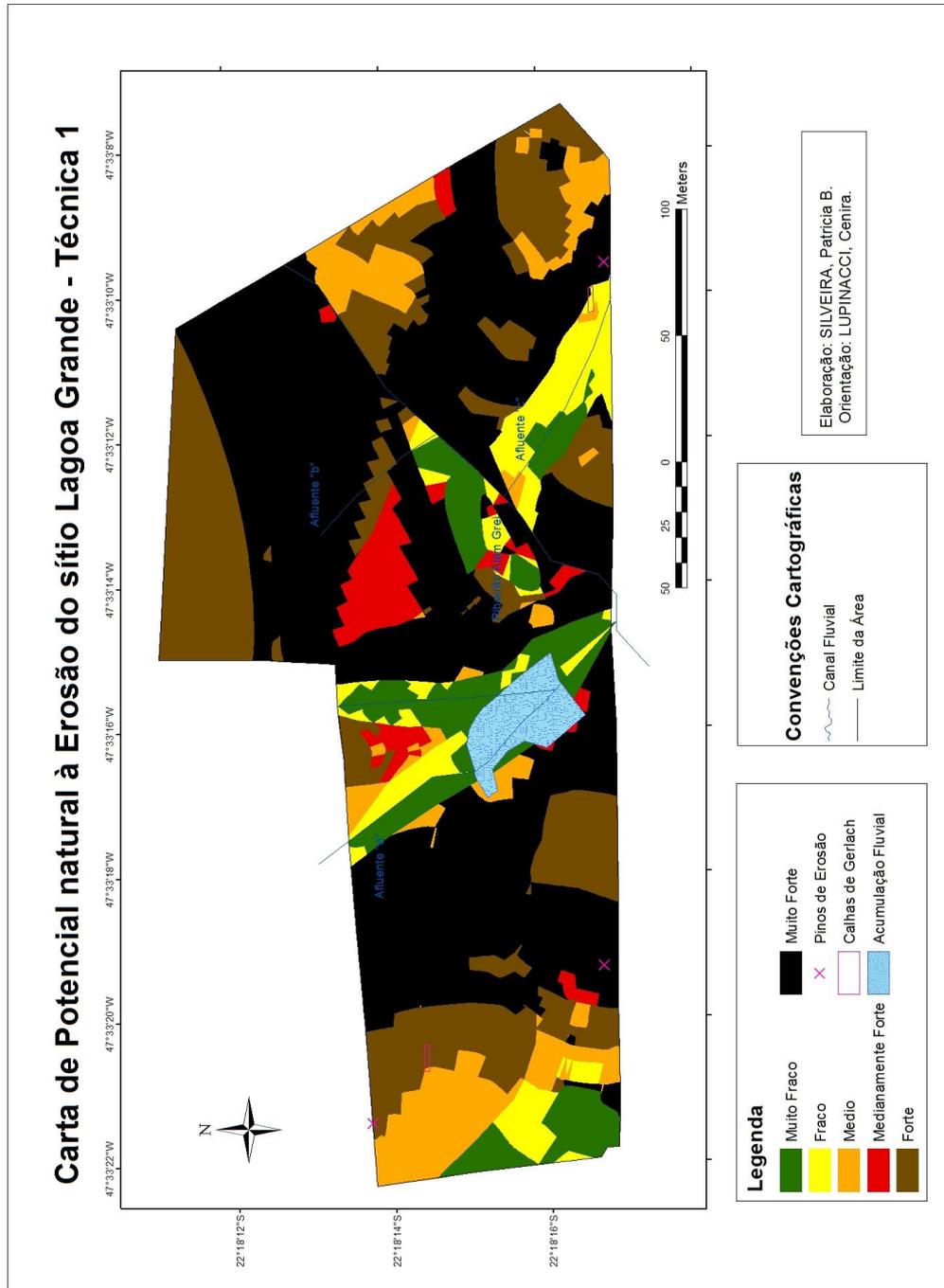


Figura 26 – Carta de Potencial Natural à Erosão do Sítio Lagoa Grande – Técnica 1.

As exceções se dão nas áreas drenadas pelos canais de primeira ordem, onde o valor médio das extensões das vertentes são de 10 metros, gerando classes de PNE menores, de muito fraca a fraca. Outra exceção, encontra-se numa vertente convexa, medindo 200m de extensão devido a forma se manter a mesma da alta até a baixa vertente, fazendo com que a classe de PNE nessa seja a muito forte.

Na carta de Potencial Natural à Erosão, técnica 2 (figura 27), as classes de PNE são mais variadas, resultante de valores de extensões de vertentes menos generalizados devido a segmentação das mesmas pela malha quadriculada de 10 x 10m. Assim, nas altas vertentes, onde as extensões variam de 6 a 40 metros, associadas a classes de declividade de  $20 \text{ † } 30\%$  e  $\geq 30\%$ , as classes de PNE são fraca, média e medianamente forte.

Nas médias vertentes as extensões ficaram entre 40 e 60 metros, em média, gerando classes de PNE, predominantemente, muito forte, devido as classes de declividade serem elevadas, de  $20 \text{ † } 30\%$  e  $\geq 30\%$ . Por fim, nas baixas vertentes, onde as extensões variam aproximadamente de 61 a 100 metros, as classes de PNE variaram bastante: à leste do afluente “b”, devido as classes de declividade serem de  $20 \text{ † } 30\%$  e  $\geq 30\%$ , as classes de PNE são forte e muito forte. À oeste do afluente “b”, onde as classes de declividade são  $\leq 30\%$  e  $20 \text{ † } 30\%$ , as classes de PNE são, predominantemente, muito fraca e fraca.

A carta de Potencial Natural à Erosão, técnica 3, (figura 28) também apresenta classes de PNE bastante variadas, assim como a técnica 2. Nas altas vertentes que drenam para o ribeirão Alam Grei a classe de PNE é a muito forte, devido à associação de classes de declividade  $\geq 30\%$  com extensões de vertentes de 96 metros, devido as mesmas se encontrarem em classe de dissecação horizontal do relevo de  $64 \text{ † } 128\text{m}$ . Já as médias e baixas vertentes assumiram valor de 48 e 96 metros de extensão, por se encontrarem nas classes de dissecação horizontal do relevo de  $32 \text{ † } 64\text{m}$  e  $64 \text{ † } 128\text{m}$ . Tais comprimentos associados à classes de declividade de  $20 \text{ † } 30\%$  e  $\geq 30\%$  também geram classes de PNE muito forte nesses setores. Ocorrem algumas exceções nas baixas vertentes, onde o ribeirão Alam Grei se aproxima da sub-bacia do afluente “a”, quando as classes de dissecação horizontal do relevo variam de  $1 \text{ † } 2\text{m}$ ,  $2 \text{ † } 4\text{m}$ ,  $4 \text{ † } 8\text{m}$ ,  $8 \text{ † } 16\text{m}$  e de  $16 \text{ † } 32\text{m}$ , fazendo com que o valores dos comprimentos das vertentes sejam menores. Tal fato associado às classes de declividade de  $3 \text{ † } 6\%$  e  $6 \text{ † } 12\%$  geram classes de PNE média e medianamente forte.

Na área drenada pelo afluente “a” as classes de dissecação horizontal são maiores, no setor de deságue, diminuindo gradativamente em direção à nascente do mesmo, onde as extensões de vertentes chegam a medir 96 metros. Já nas classes de declividade predominam as de  $12 \text{ † } 20\%$  e de  $20 \text{ † } 30\%$ , fazendo com que as classes de PNE sejam média, medianamente

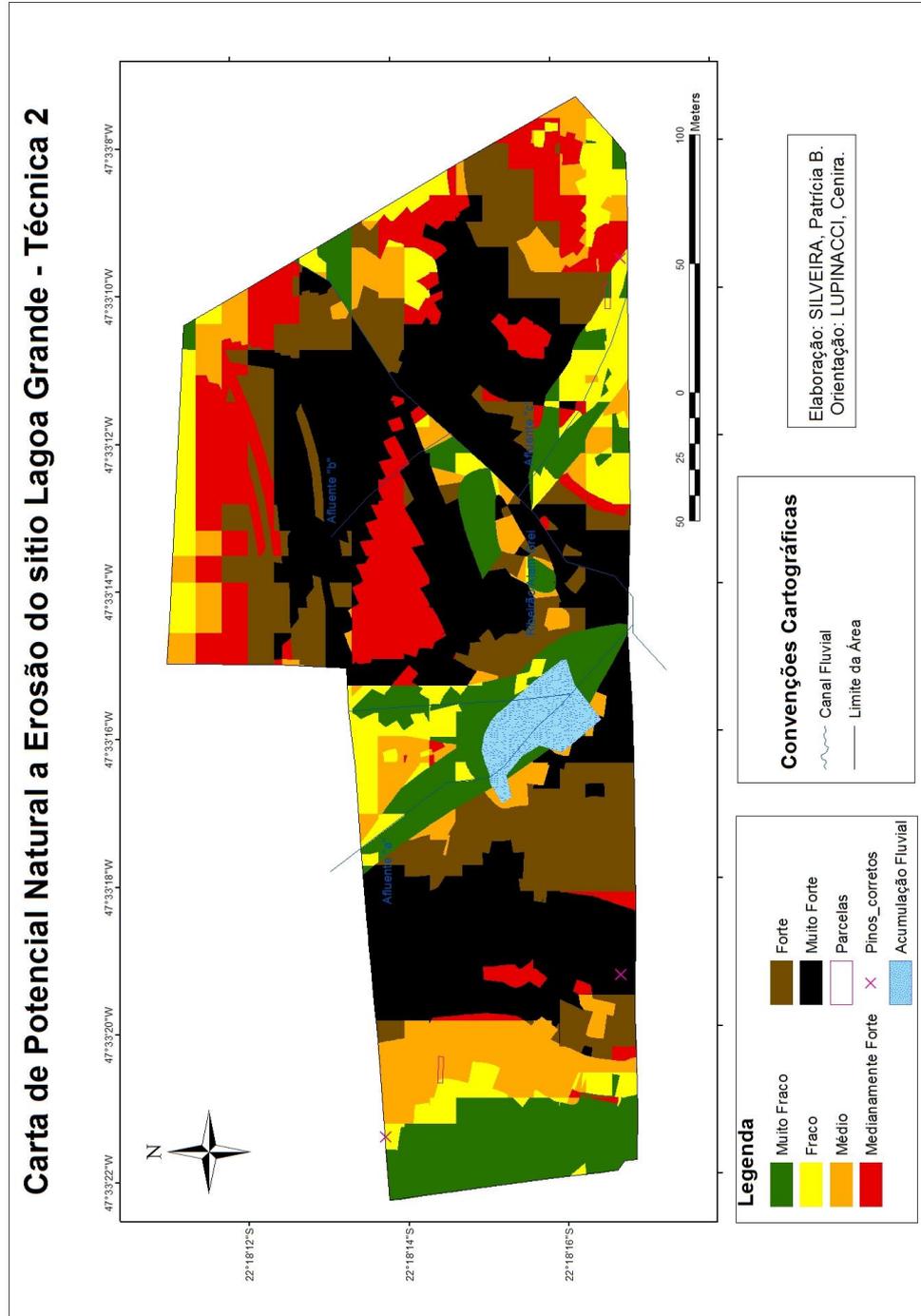


Figura 27 – Carta de Potencial Natural à Erosão do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 2.

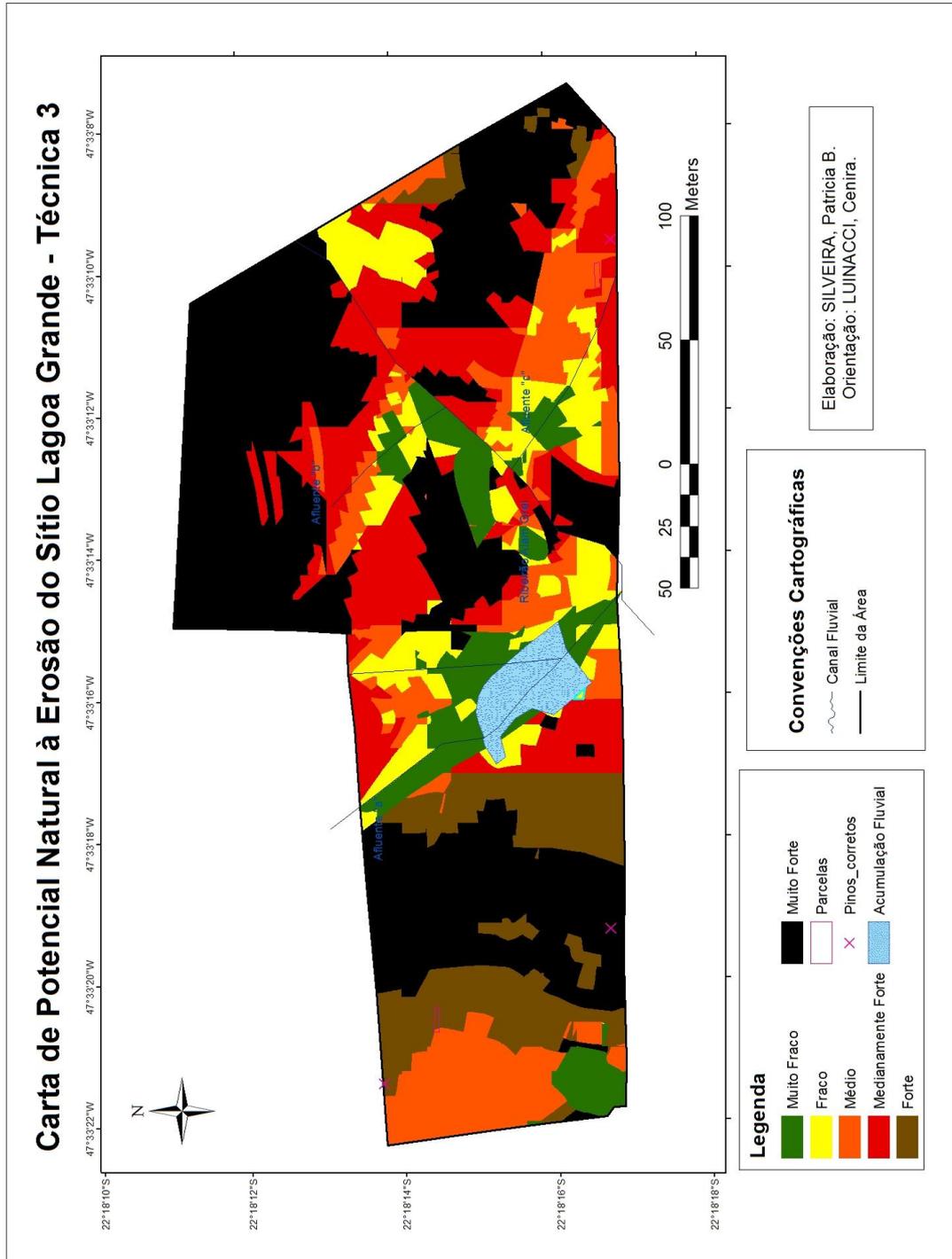


Figura 28 – Carta de Potencial Natural à Erosão do Sítio Lagoa Grande (SP) – Técnica 3.

forte e muito forte onde as extensões das vertentes são maiores e, muito fraca e fraca onde as extensões são menores, ou seja, nas áreas mais próximas ao deságue.

Outro setor a ser analisado é o sudeste do sitio Lagoa Grande, à direita do ribeirão Alam Grei. Nesse setor, as classes de estimativa de perdas de solo são menores na baixa vertente, devido a cobertura vegetal de matas protegerem o solo, e mais elevadas nas médias e altas vertentes, onde o uso da terra predominantemente é a pastagem, área essa mais extensa do que as cobertas pelas matas. Dessa forma, as classes de EPS nas áreas cobertas pela mata é de  $\leq 64xT$  e  $64x < T \leq 16x < T$ , nas três cartas de EPS, e de  $igual T \leq 4x > T$  e  $> 4xT$  nas áreas de pastagens, indicando valores de estimativa de perdas de solo por erosão laminar acima do índice de tolerância dos Neossolos presentes nesse setor. Tal fato se deve ao tipo de uso e cobertura da terra associado aos elevados valores de PNE presentes na área.

Na carta de Potencial Natural à Erosão, técnica 1, as extensões das vertentes variaram mais que no setor analisado anteriormente devido as formas das mesmas se apresentarem mais variadas no setor sudeste. Inicialmente, constata-se uma alta vertente convexa, medindo 74 metros de extensão, onde as classes de declividade são de  $12 \leq 20\%$  e  $20 \leq 30\%$ . Tal fato faz com que as classes de PNE nesse setor variem de média, forte e muito forte, com predomínio da segunda. Abaixo dessa forma convexa, encontra-se um setor onde a vertente assume forma mais retilínea, alcançando 130 metros de extensão, com classes de declividade entre  $12 \leq 20\%$  e de  $20 \leq 30\%$ . Assim, a classe de PNE nesse setor é, predominantemente, a muito forte.

Na baixa vertente nota-se uma forma côncava, medindo cerca de 137 metros de extensão. Nesse setor, as classes de declividade variam de  $6 \leq 12\%$ ,  $12 \leq 20\%$  e  $20 \leq 30\%$ , resultando em classes de PNE média, forte e muito forte. Nesse setor, encontra-se também uma área de concavidade drenada pelo afluente “c”, onde as extensões das vertentes, foram, em média de 15 metros na sua margem direita e de 7 metros na sua margem esquerda. Com classe de declividade predominante de  $12 \leq 20\%$ , as classes de PNE foram baixas, de muito fraca a fraca.

Através da técnica 2, as classes de PNE nas altas vertentes variam de muito fraca, fraca, média a medianamente forte, resultado de extensões de vertentes que variam de 8m a 40m com classes de declividade de  $12 \leq 20\%$  e de  $20 \leq 30\%$ . As médias vertentes possuem extensões de 40 a 90 metros, aproximadamente, que, combinadas com a classe de declividade  $20 \leq 30\%$ , que predomina nesse setor, geram classes de potencial natural à erosão de medianamente forte a forte.

Já as baixas vertentes apresentam entre 90 a 137 metros de extensão. Nelas, as classes de declividade predominantes são de  $\geq 30\%$  e de  $12 \leq 20\%$ , respectivamente, onde as classes de

PNE predominantes são forte e muito forte. Na área drenada pelo afluente “c” as classes de PNE são fraca e muito fraca, resultantes de classe de declividade de 12 †20% com extensões de vertentes variando entre 2 a 7 metros.

Quanto à carta de Potencial Natural à Erosão de Perdas de Solo, técnica 3 indicou nas altas vertentes classe de PNE muito forte devido as extensões das vertentes serem de 96 e 128 metros e as classes de declividade predominantes serem de 20 †30%. Nas médias vertentes as classes de dissecação horizontal do relevo são de 32 † 64m e de 64 †128m, onde as vertentes assumem valores de 48 e 96 metros, respectivamente. A classe de declividade predominante nas medias vertentes, assim como nas altas vertentes, também é de 20 †30%, fazendo com que as classes de PNE sejam de medianamente forte e muito forte nesse setor.

Nesse setor da área de estudo encontram-se duas parcelas experimentais, uma dos pinos de erosão e a outra das calhas coletoras de Gerlach (figura 29), ambas instaladas nas áreas de pastagens. No quadro 14 é possível observar e comparar os valores de perdas de solo em ton/ha/ano adquiridos através das três técnicas de obtenção dos valores de extensão da vertente e das parcelas experimentais.



Figura 29 – Parcela experimental da calha coletora de Gerlach no setor sudeste do sítio Lagoa Grande em área de pasto sujo.

<b>Técnica de Aquisição dos Valores de Perda de Solo</b>	<b>Perda de Solo em ton/ha/ano.</b>
1. Mapeamento de perda, técnica 1.	19,21
2. Mapeamento de perda, técnica 2.	15,6
3. Mapeamento de perda, técnica 3.	7,67
4. Experimento dos pinos de erosão.	3,78
5. Experimento das calhas coletoras.	9,6

Quadro 14 – Comparação dos valores de estimativa de perdas de solo através das três técnicas de distintas de obtenção dos dados da extensão da vertente e das parcelas experimentais.

Os dados da tabela demonstram que os valores absolutos de estimativa de perda de solo adquiridos com as três técnicas distintas de obtenção dos dados de extensão de vertentes são

mais semelhantes entre as técnicas 1 e 2, sendo que os valores adquiridos com a técnica 3 são mais baixos que os dois anteriores. Contudo, em ambas, os valores de estimativa de perda de solo ficaram acima do índice de tolerância de perdas dos Neossolos que é de 4,2 ton/ha/ano.

Já os valores de perda adquiridos com as parcelas dos pinos de erosão foram bastante diferentes dos valores de perdas adquiridos com as calhas coletoras de Gerlach. Na primeira o valor de perda foi de 3,78 ton/ha/ano, enquanto que na segunda foi de 9,6 ton/ha/ano. Tal fato pode ser explicado devido o monitoramento da parcela dos pinos de erosão ser mais antigo do que o da calha coletora de Gerlach, além disso, o tempo de monitoramento dos mesmos foi de um ano, enquanto que o da calha coletora foi de três anos.

Outro fator a ser considerado nessa área é a presença de feições erosivas lineares sequenciais nas vertentes que drenam para o ribeirão Alam Grei, formando em sub superfície uma galeria de águas pluviais (figura 30).



Figura 30 – Feições erosivas lineares no setor sudeste do sítio Lagoa Grande (SP).

O último setor a ser analisado é o oeste da área do sitio Lagoa Grande onde as classes de perda de solo se encontram bastante variadas das altas às baixas vertentes. Nas altas vertentes, onde o uso da terra é de pasto sujo as classes de EPS são medianas nas três cartas de

Estimativa de Perda de Solo do Sítio Lagoa Grande, predominando a de  $4x < T \leq \text{igual} T$ . Nesse setor encontram-se os Argissolos, solos esses com os maiores valores de erodibilidade da área de estudo.

A carta de Potencial Natural à Erosão, técnica 1 demonstra que as altas vertentes, na porção norte do setor apresentam valores de extensão de 120m e 127m devido às formas das mesmas serem a mesma até a média vertente. Contudo, a classe de declividade nesse setor é de  $12 \leq 20\%$ , o que gera classes de PNE classificadas como média. Já as altas vertentes do setor sul apresentam valores de extensões menores que a da porção norte, 22m, 50m e 57 metros, devido as formas das mesmas não se estenderem até a médias vertentes. Tais valores, associados as classes de declividade  $< 3\%$ ,  $3 \leq 6\%$  e  $6 \leq 12\%$ , geram classes de PNE muito fraca, fraca e média nesse setor. Assim, tais características físicas associadas as uso de pastagem geram classes de EPS de  $4x < T \leq \text{igual} T$  predominantemente.

Nas médias vertentes as extensões variam de 120m, 127m e 147 metros, com classes de declividade de  $20 \leq 30\%$  e  $\geq 30\%$ , com Neossolos, gerando assim classe de PNE muito forte. Nessa área o uso da terra é de cultivo perene (área destinada à citricultura). Tais características fazem com que as médias vertentes apresentem classes de estimativa de perdas de solo de  $> 4x T$ . A única exceção se dá num núcleo de mata preservada na média vertente, onde a classe de EPS cai para  $64x < T \leq 16x T$ .

Nas baixas vertentes as extensões são de 166m e 233m, onde as classes de declividade são, predominantemente de  $12 \leq 20\%$ . Nesse setor predominam o uso de pastagens e cobertura vegetal de matas, próximas aos cursos fluviais, fazendo com que as classes de EPS sejam de  $\text{igual} T \leq 4x > T$  e  $> 4x T$  nas áreas de pasto e de  $64x < T \leq 16x < T$  e  $16x < T \leq 4x < T$  nas áreas cobertas pelas matas. Cabe ressaltar que nesse setor tem-se uma área de planície e acumulação fluvial (figura 31) caracterizada pela presença de Gleissolos.

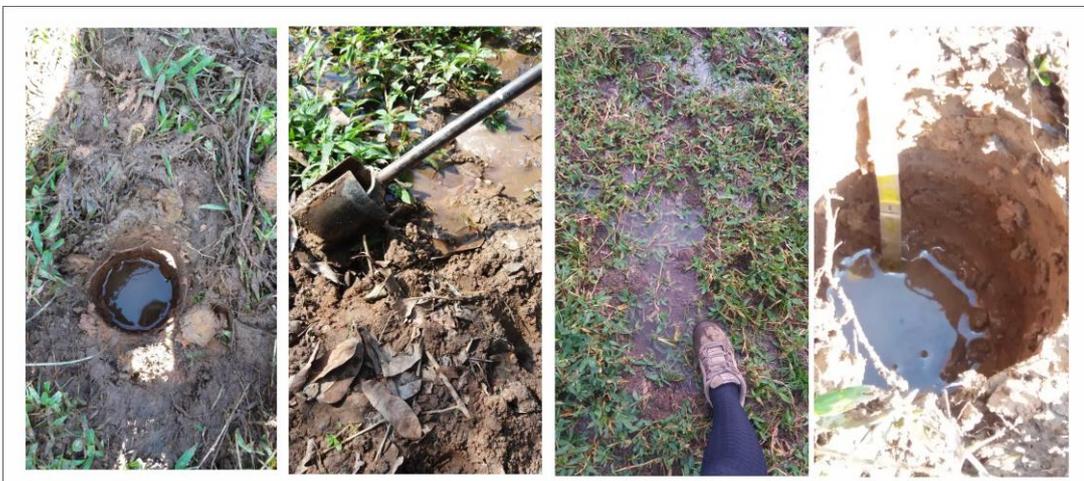


Figura 31 – Área de Planície e Acumulação Fluvial (APTF) no setor oeste do sítio Lagoa Grande.

Na carta de PNE, técnica 2, as altas vertentes mediram de 2m a 45 metros de extensão, aproximadamente, gerando, juntamente com as classes de declividade, de  $<3\%$ ,  $3 \text{ † } 6\%$  e  $6 \text{ † } 12\%$ , classe de PNE muito fraca. Tal classe associada com o uso de pastagem gera classes de EPS de  $4x < T \text{ † } \text{igual} T$ , predominante nesse setor. Já as médias vertentes variaram de 45 a 130 metros, aproximadamente, com classes de declividade de  $20 \text{ † } 30\%$  e  $\geq 30\%$ . Tais características geraram PNE classificados como muito forte que, juntamente com o uso da terra classificado como cultivo perene, gera no local classe de EPS de  $>4xT$ .

Nas baixas vertentes os valores de extensão das mesmas variaram de 130 a 240 metros de extensão. Nessas, as classes de declividade são de  $6 \text{ † } 12\%$  e de  $12 \text{ † } 20\%$ , gerando classes de PNE média, forte e muito forte. Nas áreas de cobertura vegetal de matas as classes de EPS são  $\leq 64xT$  e  $64x < T \text{ † } 16x < T$ , enquanto que nas áreas de pastagens as classes de EPS são de  $\text{igual} T \text{ † } 4x > T$  e  $>4xT$ .

Já as classes de PNE adquiridas pela técnica 3 de aquisição das extensões das vertentes, apresenta classe média de PNE na alta vertente, fato esse associado à classe de declividade predominante no setor ser a de  $6 \text{ † } 12\%$  e o comprimento das vertentes ser de 129 metros, devido à classe de dissecação horizontal do relevo ser  $\geq 128m$ . Contudo, nas médias vertentes, onde as classes de declividade são mais acentuadas, com predomínio de  $20 \text{ † } 30\%$ , as classes de PNE se tornam forte e muito forte, pois além da declividade acentuada as extensões das vertentes continuam sendo de 129m nesse setor.

Nas baixas vertentes, com a diminuição da classe de declividade para  $12 \text{ † } 20\%$  predominantemente e, a diminuição das extensões de vertentes, devido à menores classes de dissecação horizontal do relevo, as classes de PNE também se tornam menores, com predomínio da média e medianamente forte.

Nesse setor também foram instaladas três parcelas experimentais, sendo duas de pinos de erosão e uma de calhas coletoras de Gerlach. A primeira parcela de pinos de erosão se localiza na alta vertente onde o uso da terra é pasto sujo, enquanto que a segunda parcela de pinos se encontra na média vertente em áreas de cultivo perene. Já a calha coletora está na transição da alta para a média vertente, onde predomina o uso de cultivo perene (figura 32). O quadro abaixo demonstra os valores de perdas adquiridas com cada parcela experimental, bem como os valores de estimativa de perda de solo adquiridos com cada técnica de obtenção dos valores de extensão de vertente.



Figura 32 - Parcela experimental da calha coletora de Gerlach no setor sudeste do sítio Lagoa Grande em área de cultivo perene.

Local	EPS (Técnica 1)	EPS (Técnica 2)	EPS (Técnica 3)	Perda em Campo (Pinos de Erosão)	Perda em Campo (Calhas Coletoras)
1. Pasto Sujo	13,34 ton/ha/ano	5,26 ton/ha/ano	13,07 ton/ha/ano	1,624 ton/ha/ano	_____
2. Cultivo Perene	37,24 ton/ha/ano	31,73 ton/ha/ano	44 ton/ha/ano	14,37 ton/ha/ano	_____
3. Cultivo Perene	13,01 ton/ha/ano	7,37 ton/ha/ano	13,15 ton/ha/ano	_____	0,79 ton/ha/ano

Quadro 15 - Comparação dos valores de estimativa de perda de solo através das três técnicas de distintas de obtenção dos dados da extensão da vertente e das parcelas experimentais.

Os dados da tabela revelam que os valores de EPS adquiridos com as três técnicas de obtenção do comprimento de extensão das vertentes apresentam valores bastante superiores aos dados de perdas de solo adquiridos com as parcelas de experimentação. Contudo, verifica-se que os valores adquiridos com a técnica 1 e 3 se aproximam bastante nos três locais registrados acima e, são também os valores mais elevados de EPS. Tal fato se deve porque nas duas técnicas de obtenção dos comprimentos das vertentes as mesmas não foram segmentadas, adquirindo

assim, nessa área de alta vertente e, transição da alta para a média vertente, valores superiores ao real.

Assim, verifica-se que os dados de EPS adquiridos com a técnica 2 de obtenção da extensão das vertentes são os que mais se aproximaram dos dados de perdas de solo adquiridos com as parcelas instaladas nesses locais, já que as vertentes foram segmentadas pela malha quadriculada, tornando os valores de extensão menores nas áreas próximas aos topos. Cabe ressaltar ainda que a parcela experimental de pinos de erosão 1 se localiza muito próxima da parcela experimental das calhas coletoras de Gerlach, e que ambas apresentaram resultados de perdas muito próximos, de 1,62 nos pinos de erosão e, 0,79 nas calhas coletoras, indicando uma coerência nos dados de perda de solo adquiridos com ambas as parcelas de monitoramento.

### 5.3 – Discussão e comparação dos resultados obtidos com o modelo nas escalas 1:10.000 e 1:1.000 com os resultados de perda obtidos com as parcelas experimentais.

Esse item tem por finalidade apresentar os resultados obtidos com a aplicação de cada uma das técnicas testadas na presente pesquisa nas duas escalas de trabalho e promover a comparação dos resultados entre ambas e, com os resultados de perdas de campo obtidos com as parcelas experimentais.

Inicialmente, na alta bacia do ribeirão Alam Grei, no setor noroeste da mesma, encontra-se a primeira parcela de experimentação de pinos de erosão, localizada numa área de silvicultura, denominada de ponto 1. Nesse setor, a estimativa de perda de solo através do modelo preditivo EUPS só se deu na escala de 1:10.000, porém, com as três técnicas de obtenção dos valores de extensão de vertente. No quadro abaixo (quadro 16) é possível observar a comparação dos valores obtidos.

Local	Dados	Escala 1:10.00			Perda Estimada (EUPS) (ton/ha/ano)			Perda em Campo Pinos de Erosão (ton/ha/ano)
		Téc. 1	Téc. 2	Téc. 3	Téc.1	Téc. 2	Téc.3	
Ponto 1	L	146m	56m	161m	0,0024	0,0013	0,0025	1,31
Alta bacia do Ribeirão Alam Grei	S	1%	1%	1%				
	K	0,0148	0,0148	0,0148				
	R	6481	6481	6481				
	CP	0,0001	0,0001	0,0001				

Quadro 16 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e dados de perda de solo reais no ponto 1.

O quadro 16 demonstra que os valores de estimativa de perdas de solo obtidos com o modelo preditivo EUPS foram menores do que os valores reais de perdas de solo obtidos com a parcela dos pinos de erosão. Contudo, tanto os valores de EPS quanto as perdas reais possuem

valores bem abaixo do índice de tolerância de perdas dos Latossolos, que é de 14,3 ton/ha/ano, sendo inseridas na classe de  $\leq 64xT$ . Vale ressaltar que através da técnica 1 e 3, os valores da extensão da vertente foram maiores do que com a técnica 2. Na primeira devido a forma ser a mesma da alta até a média vertente, e na segunda, devido a classe de dissecação horizontal da área ser a de  $\geq 160m$ , onde a extensão da vertente assume então o valor de 161 metros.

A segunda área a ser analisada é o setor leste do sitio Lagoa Grande, aqui denominado de ponto 2 para posterior fins comparativos, onde encontram-se duas estações experimentais, uma de pinos e outra de calha, em áreas de pastagem. Nesse setor os mapeamentos foram realizados na escala e de 1:10.000 e 1:1.000, totalizando em seis valores distintos de estimativa de perdas de solo através do modelo preditivo EUPS (quadro 17).

Local	Fator	Escala 1:10.000			Escala 1:1.000			EPS (EUPS) ton/ha/ano 1:10.000			EPS (EUPS) ton/ha/ano 1:1.000			Perda em Campo ton/ha/ano
		Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc.1	Téc.2	Téc.3	
Pinos Setor leste do Sítio Lagoa Grande	L	71	43	30	103	74	24	19,59	14,28	11,38	19,21	15,60	7,67	3,78
	S	31	31	31	25	25	25							
	K	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033							
	R	6481	6481	6481	6481	6481	6481							
	CP	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01							
Calha Setor leste do Sítio Lagoa Grande	L	71	43	30	103	74	24	19,59	14,28	11,38	19,21	15,60	7,67	9,6
	S	31	31	31	25	25	25							
	K	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033							
	R	6481	6481	6481	6481	6481	6481							
	CP	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01							

Quadro 17 - Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perdas de solo em campo no ponto 2.

Primeiramente, é importante ressaltar que tanto o experimento dos pinos, quanto o experimento das calhas se inseriram na mesma parcela de cálculo da EUPS devido à proximidade de localização de ambos, isso de acordo com as três técnicas. Assim, os valores apresentados no quadro 17 referentes aos dados de L, S e K da área onde se localizam as parcelas são os mesmos valores para ambas.

De acordo com os dados apresentados na tabela é possível verificar que os valores de estimativa de perda de solo de acordo com a técnica 1 e 2 empregadas na aquisição dos dados de extensão da vertente não apresentaram diferenças significativas com a mudança da escala. Assim, a área aonde se encontram as parcelas experimentais, obtiveram através da técnica 1 valor de EPS de 19,59 ton/ha/ano na escala e 1:10.000, e 19,21 ton/ha/ano na escala de 1:1.000. Através da técnica 2 para a obtenção dos valores de extensão das vertentes, o valor de EPS foi de 14,28 ton/ha/ano na escala de 1:10.000 e de 15,6 ton/ha/ano na escala de 1:1.000.

A mudança maior no valor de EPS de acordo com a escala se deu através da técnica 3 onde, na escala de 1:10.000 foi de 11,38 ton/ha/ano, e na escala de 1:1.000 foi de 7,67

ton/ha/ano. Tal fato se explica pela técnica de aquisição dos dados de extensão da vertente, onde na escala de 1:10.000 as parcelas se inserem na classe de dissecação horizontal do relevo de 20 | 40m, onde a extensão das vertentes assumem valor de 30 metros, enquanto que, na escala de 1:1.000, as parcelas experimentais se encontram numa área onde a classe de dissecação horizontal é de 16 | 32m, gerando o valor de comprimento das vertentes de 24 metros. Cabe ressaltar que as parcelas experimentais se encontram em áreas drenadas pela sub-bacia do afluente “b”, e que na escala de 1:1.000, devido o detalhamento das curvas de nível, é possível a delimitação mais exata dos limites dessa área, o que justifica classes distintas de dissecação horizontal do relevo e, conseqüentemente das extensões das vertentes.

Quanto aos valores de perda resultantes das parcelas dos pinos de erosão e das calhas coletoras de Gerlach, apresentaram valores bastante diferentes, apesar das parcelas se encontrarem muito próximas uma da outra. A parcela dos pinos de erosão apresentou perda de cerca de 3,78 ton/ha/ano. Contudo, é fato que a mesma possui dados mais antigos adquiridos por Borges (2009) na área de estudo e apresentaram tempo de monitoramento para a coleta de dados de um ano. Já a parcela das calhas coletoras de Gerlach apresenta tempo de coleta de três anos, iniciado em Abril de 2014 até Março de 2017, apresentando durante esse tempo o valor de 9,6 ton/ha/ano de perda de solo. Todavia, os dados da parcela das Calhas de Gerlach, apesar de serem mais recentes e possuírem maior tempo de monitoramento se caracteriza por ser uma parcela fechada, onde os dados de perda de solo podem ficar comprometidos ao se comparar a extensão da vertente, fato esse que não vem a ocorrer nos pinos de erosão.

Ao se comparar os dados de perda de solo das parcelas experimentais com os dados de EPS verifica-se que o valor adquirido com a técnica 3 de obtenção de extensão das vertentes, na escala de 1:1.000, foi o que mais se aproximou, principalmente com os dados da calha coletora de Gerlach. Verifica-se na tabela que através da técnica 3, na escala de 1:1.000, o valor da extensão da vertente adquirido nesse local foi o menor em relação as demais técnicas, que, associado aos demais fatores, gerou valor de EPS mais baixo.

Ao lado da parcela foi instalado também um pluviômetro para obtenção dos dados reais de chuva durante o tempo de coleta dos sedimentos.

O gráfico (1) apresenta o comportamento dos dados de chuva e de perda de solo ao longo dos meses de experimentação. Através do mesmo observa-se que a quantidade total de solo coletado mensalmente na parcela está proporcionalmente relacionado com a quantidade de chuva sobre a parcela. Observa-se também que o regime pluviométrico seguiu o padrão típico do clima tipo Cwa, com chuvas concentradas nos períodos de 09/2014 a 04/2015, 10/2015 a

04/2016 e 10/2016 a 03/2017, períodos esses onde o total de sedimentos coletados na parcela sempre foi maior.

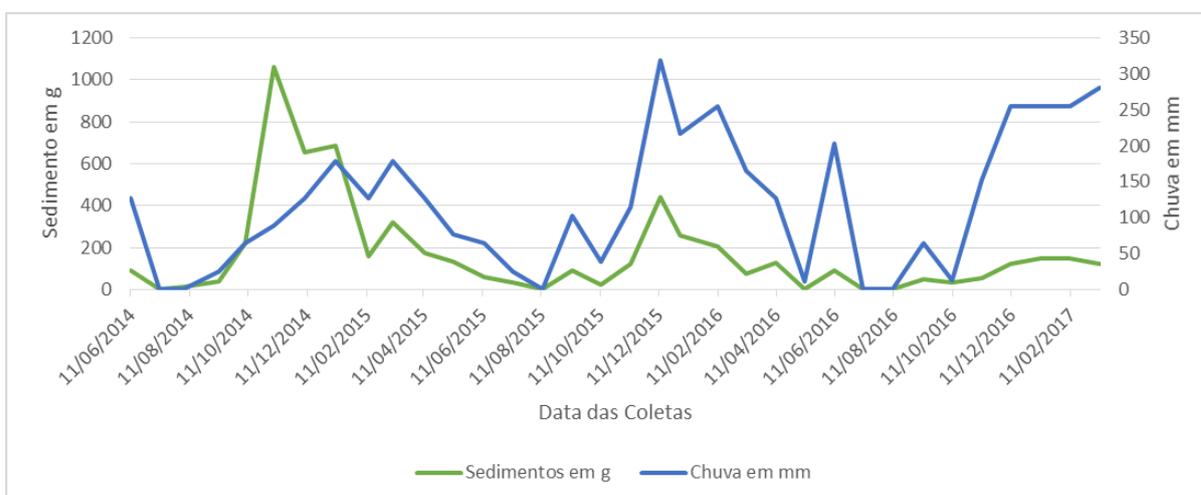


Gráfico 1 – Total de solo (g) coletado na parcela experimental da calha de Gerlach e as quantidades de chuva (mm) mensais no setor leste do sitio Lagoa Grande.

Vale ressaltar que o pico registrado de 1064g de solos coletado no mês 11/2014, está relacionado com a chuva intensa num curto período de tempo onde o escoamento da água pluvial fez com que o volume de sedimentos transpassasse por cima da calha.

De acordo com a análise granulométrica realizada o Neossolo Litólico encontrado na parcela experimental apresenta as seguintes características (quadro 18):

Amostra (profundidade em cm)	Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila com dispersão (g kg <sup>-1</sup> )	Classe Textural
1 – 9 cm	167	555	278	Moderadamente-argilosa

Quadro 18 – Análise granulométrica do solo.

Conforme demonstra a tabela acima, só foi possível a retirada de uma amostra de solos da parcela, em profundidade de 9cm, devido à pouca profundidade que os mesmos possuem nesse setor (figura 33). Além disso, é constatado uma concentração de silte e argila maior que a quantidade de areia total, caracterizando esse solo na classe textural de moderadamente argiloso, indicando assim que o mesmo apresenta-se coeso.



Figura 33 – Solo na área da parcela experimental do setor leste.

Associado à esses solos pouco profundos é marcante a presença de feições erosivas lineares ao longo das vertentes que formam galerias em sub superfície por onde escoam as águas pluviais. É possível que a formação de tais feições estejam associadas aos processos de bioturbação, já que como observado in loco, esse setor apresenta grande quantidade de cupinzeiros e formigueiros ao longo das vertentes. Dessa forma, entende-se que com a reduzida profundidade dos solos tais processos os tornam mais frágeis, principalmente onde o escoamento concentra o seu fluxo. Têm-se portanto a criação de galerias que escoam sobre o material argiloso da Formação Corumbataí. Contudo, é fato de que o fenômeno observado carece de análise mais detalhada a fim de se compreender o seu processo.

Por fim, cabe a análise do setor oeste do sítio Lagoa Grande onde se encontram dados de perdas de solo de três parcelas experimentais, e dados de EPS nas duas escalas de trabalho. Primeiramente, em setor de alta vertente, onde o uso da terra é de pasto sujo, encontra-se uma parcela experimental de pinos de erosão. O quadro 19 indica e compara os valores de EPS adquiridos com a quantificação de perda de solo pelo modelo EUPS através das três técnicas distintas de aquisição dos dados de extensão das vertentes, nas escalas de 1:10.000 e 1:1.000, com os dados adquiridos com os pinos, no ponto denominado de 3.

Dados	Escala 1:10.00			Escala 1:1.000			EPS (ton/ha/ano) EUPS 1:10.000			EPS (ton/ha/ano) EUPS 1:1.000			Perda de Solo em Campo Pinos de Erosão (ton/ha/ano)
	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc1	Téc2	Téc3	Téc1	Téc2	Téc3	
L	249m	43m	121m	127m	29m	129m	10,3	3,31	6,37	13,34	5,26	13,07	1,624
S	9	9	9	16	16	16							
K	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034							
R	6481	6481	6481	6481	6481	6481							
CP	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01							

Quadro 19 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perda de solo no ponto 3.

Através do quadro 19 verifica-se que o valor de perda de solo adquirido com a parcela dos pinos de erosão é menor do que os valores de estimativa de perda de solo adquiridos com o modelo preditivo EUPS. De acordo com a técnica 1, na escala de 1:10.000 o valor de EPS foi de 10,3 ton/ha/ano e, na escala 1:1.000 foi de 13,34 ton/ha/ano, demonstrando uma proximidade dos dados em ambas as escalas, apesar do valor da extensão da vertente (L) na escala de 1:10.000 ser de 249m, enquanto que na escala de 1:1.000 a mesma apresentou 129 metros de extensão. Contudo, a classe de declividade no local onde se insere a parcela, na escala de 1:10.000 é de 6 | 12%, e na escala de 1:1.000 é de 12 | 20%, indicando valor maior de declividade na escala de menor detalhe, o que gera valor de EPS maior na mesma, apesar do valor menor da extensão da vertente.

Os valores de estimativa de perda de solo através da técnica 2 de aquisição dos dados de extensão das vertentes foi de 3,31 ton/ha/ano na escala de 1:10.000 e, de 5,26 ton/ha/ano na escala de 1:1.000. Na escala de 1:10.000 o comprimento da vertente foi de 43 metros e a declividade de 9%, e na escala de 1:1.000 o comprimento da vertente foi de 29 metros e a declividade de 16%, fazendo com que o valor de EPS na escala de 1:1.000 seja maior do que na escala de 1:10.000. Já através da técnica 3, na escala de 1:10.000, o valor de EPS no local onde se insere a parcela de pinos de erosão foi de 6,37 ton/ha/ano e, na escala de 1:1.000 foi de 13,07 ton/ha/ano.

Assim, verifica-se que os dados de EPS na escala de 1:10.000 foram mais baixos do que na escala de 1:1.000, apesar dos valores de extensão das vertentes serem menores na escala de maior detalhe. O fato é que na escala de 1:10.000 a classe de declividade do relevo onde se encontra a parcela dos pinos de erosão é menor que na escala de 1:1.000, contribuindo para que os resultados de EPS sejam menores na escala de menor detalhe.

Além disso, outro fator importante, que torna os valores de EPS na escala de 1:1.000 maiores do que na escala de 1:10.000 se refere aos dados de solos do local. Na escala de 1:1.000 foi possível um detalhamento das classes de solos, onde ficou constatado através do esboço pedológico realizado na área que nas altas vertentes o tipo de solos são os Argissolos. Tal

detalhamento não foi possível na escala de 1:10.000, onde a classe de solos ficou generalizada como Neossolos Litólicos. Os Argissolos apresentam valor de erodibilidade maior que o os Neossolos Litólicos, de acordo com a bibliografia adotada na presente pesquisa.

Pode-se verificar através do quadro 19 que os dados de perda de solo adquiridos com a parcela dos pinos de erosão são mais próximos dos dados de EPS adquiridos com a técnica 2 de obtenção dos valores de extensão das vertentes, onde as mesmas foram setorizadas através da malha quadriculada. Tal fato se deu nas duas escalas de trabalho, porém, na escala de 1:10.000 os valores de EPS foram menores que na escala de 1:1.000.

A outra parcela de pinos de erosão no setor leste do sitio Lagoa Grande encontra-se em área de cultivo perene, na média vertente, ponto 4. Os dados adquiridos com as técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente nas duas escalas de trabalho, bem como os dados de perda adquiridos com os pinos de erosão podem ser observados no quadro abaixo:

Dados	Escala 1:10.00			Escala 1:1.000			EPS (ton/ha/ano) EUPS 1:10.000			EPS (ton/ha/ano) EUPS 1:1.000			Perda de Solo em Campo Pinos de Erosão (ton/ha/ano)
	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc1	Téc2	Téc3	Téc1	Téc2	Téc3	
L	257m	160m	161m	98m	76m	129m	68,37	50,72	50,92	37,24	31,73	44	14,37
S	25%	25%	25%	25%	25%	25%							
K	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033							
R	6481	6481	6481	6481	6481	6481							
CP	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02							

Quadro 20 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perda de solo em campo no setor de média vertente, ponto 4.

Através dos dados apresentados pelo quadro 20 observa-se que os valores de estimativa de perda de solo adquiridos pelo modelo preditivo EUPS no ponto 4 foram maiores na escala de trabalho de 1:10.000 do que na escala de 1:1.000.

Os valores de EPS adquiridos pela técnica 1 de obtenção de dados de extensão das vertentes, mostraram que na escala de 1:10.000 tais valores foram de 68,37 ton/ha/ano, quase o dobro que os valores de EPS na escala de 1:1.000, que foram de 37,24 ton/ha/ano. Tal fato pode ser explicado pelo comprimento da vertente na escala 1:10.000 possuir cerca de 257 metros, enquanto que na escala de 1:1.000, a vertente assume o valor de 98 metros de extensão, devido o possível detalhamento das formas das vertentes na escala de maior detalhe, gerando maior segmentação das mesmas.

Além disso, observa-se que os valores de EPS através da técnica 1, em ambas as escalas, mostram-se muito acima dos valores de perda de solo adquiridas pela parcela de pinos de

erosão, que foi de 14,37 ton/ha/ano, fato justificado pelas extensões das vertentes, mesmo na escala de 1:1.000, apresentarem valores mais generalizados.

Já os valores de EPS através da técnica 2, onde as formas das vertentes foram posteriormente setorizadas pela malha quadriculada, foram menores que os anteriores, sendo de 50,72 ton/ha/ano na escala de 1:10.000 e, de 31,73 ton/ha/ano na escala de 1:1.000. Porém, nota-se também uma diferença significativa entre os valores nas diferentes escalas e, de ambos com os valores de perdas reais adquiridos na parcela experimental dos pinos.

Os valores de EPS adquiridos através da técnica 3 foi de 50,92 ton/ha/ano na escala de 1:10.000 e de 44 ton/ha/ano na escala de 1:1.000, onde as extensões das vertentes foram de 161 e 129 metros, respectivamente. No geral, verifica-se que os dados de EPS na escala de 1:1.000 foram mais próximos dos dados de perda de solos com os pinos de erosão do que na escala de 1:10.000, com destaque para a técnica 2 de aquisição dos dados de extensão das vertentes, onde nessa área, a vertente apresentou cerca de 76 metros de extensão.

Por fim, têm-se a parcela das calhas coletoras de Gerlach no setor de transição da alta e média vertente, onde o uso da terra é de cultivo perene, ponto 5.

Dados	Escala 1:10.000			Escala 1:1.000			EPS (ton/ha/ano) EUPS 1:10.000			EPS (ton/ha/ano) EUPS 1:1.000			Perda de Solo em Campo Calhas de Gerlach (ton/ha/ano)
	Téc1	Téc.2	Téc.3	Téc.1	Téc.2	Téc.3	Téc1	Téc2	Téc3	Téc1	Téc2	Téc3	
L	249m	88m	161m	127m	52m	129m	39,58	20,55	30,07	25,9	14,75	26,15	0,79
S	16%	16%	16%	16%	16%	16%							
K	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034							
R	6481	6481	6481	6481	6481	6481							
CP	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02							

Quadro 21 – Valores de EPS obtidos com as três técnicas de obtenção dos dados de extensão da vertente na escala de 1:10.000 e 1:1.000 e dados de perda de solo em campo no setor de média vertente através das calhas coletoras de Gerlach, ponto 5.

Os valores de estimativa de perda de solo adquiridos através do modelo preditivo EUPS (quadro 21), nas três técnicas distintas de obtenção dos dados de extensão de vertentes, em ambas as escalas, foram bastante superiores aos dados de perdas de solo adquiridos com a parcela experimental das calhas de Gerlach.

Primeiramente, através da técnica 1, o valor de EPS para a área onde se encontra a parcela experimental na escala de 1:10.000 foi de 39,58 ton/ha/ano e, na escala de 1:1.000 de 25,9 ton/ha/ano. Na primeira, o comprimento da vertente é de 249 metros e, na segunda de 127 metros.

Através da técnica 2 de obtenção dos dados de extensão das vertentes, os valores de EPS foram de 20,55 ton/ha/ano na escala de 1:10.000 e, de 14,75 ton/ha/ano na escala de 1:1.000. Tais valores de EPS adquiridos pela técnica 2 são menores do que os adquiridos pela técnica 1

devido os valores da extensão das vertentes serem menores, já que as mesmas são fragmentadas pela malha quadriculada. Já na técnica 3 o valor de estimativa de perda de solo foi de 30,07 ton/ha/ano na escala de 1:10.000 e de 26,15 ton/ha/ano na escala de 1:1.000.

Quanto aos dados de perda de solo obtidos com a parcela coletora de Gerlach foi de 0,79 ton/ha/ano, sendo que o tempo de monitoramento da mesma se deu num período de três anos, de Abril de 2014 até Março de 2017. Ao lado da parcela de monitoramento foi instalado um pluviômetro onde a quantidade de chuva foi monitorada durante os três anos de coleta. O gráfico 2 apresenta o comportamento da quantidade de solo coletado mensalmente na parcela juntamente com os dados de chuva.

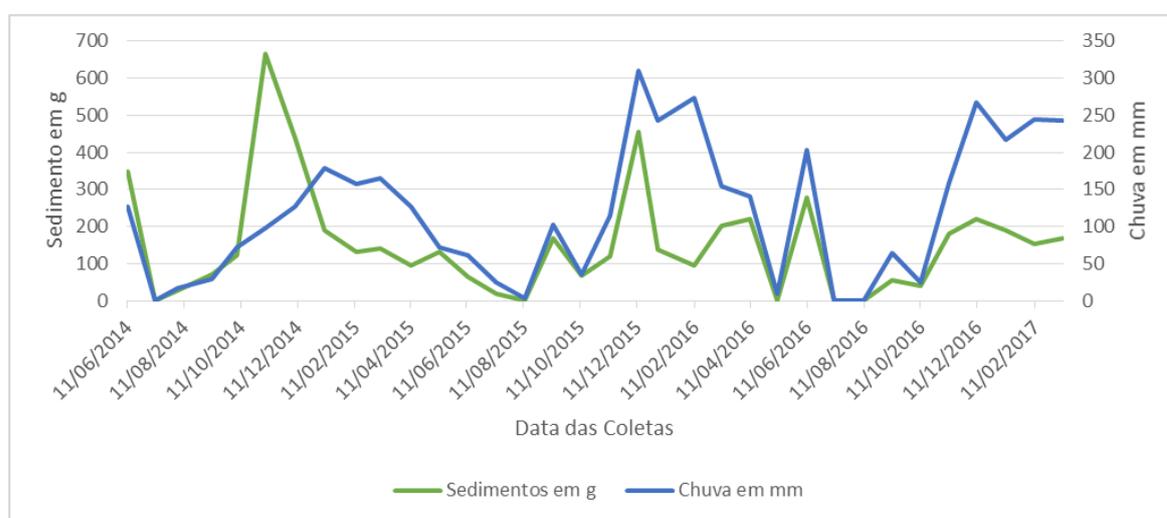


Gráfico 2 - Total de solo (g) coletado na parcela experimental da calha de Gerlach e as quantidades de chuva (mm) mensais no ponto 5.

O gráfico 2 demonstra que a quantidade de solos coletados mensalmente se mostram proporcional à quantidade de chuvas que caíram sobre a parcela. Além disso, percebe-se que o comportamento das chuvas é típico do clima Cwa, onde as mesmas se encontram concentradas, principalmente, de Setembro à Abril.

Quanto às características granulométricas do solo presentes no local da parcela de experimentação das calhas coletoras de Gerlach são (quadro 22):

Amostra (profundidade em cm)	Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila com dispersão (g kg <sup>-1</sup> )	Classe Textural
1 – 30 cm	905	20	75	Arenosa
2 – 60 cm	873	14	112	Arenosa
3 – 100 cm	829	21	150	Moderadamente-arenosa
4 - > 100 cm	823	27	150	Moderadamente-arenosa

Quadro 22 – Análise granulométrica do solo 2.

Nota-se que o local onde se encontra a parcela de experimentação apresenta solos espessos, onde foi possível a coleta de amostras a várias profundidades, inclusive superior a 100cm. Além disso, constata-se que em todas essas a quantidade de areia total é superior às quantidades de silte e argila em suspensão. A figura 34 indica o local de coleta do solo analisado.



Figura 34 – Solos na área da parcela experimental do setor oeste.

A figura 35 abaixo permite a visualização e a comparação da variação dos valores de estimativa de perda de solo em cada setor acima analisado.

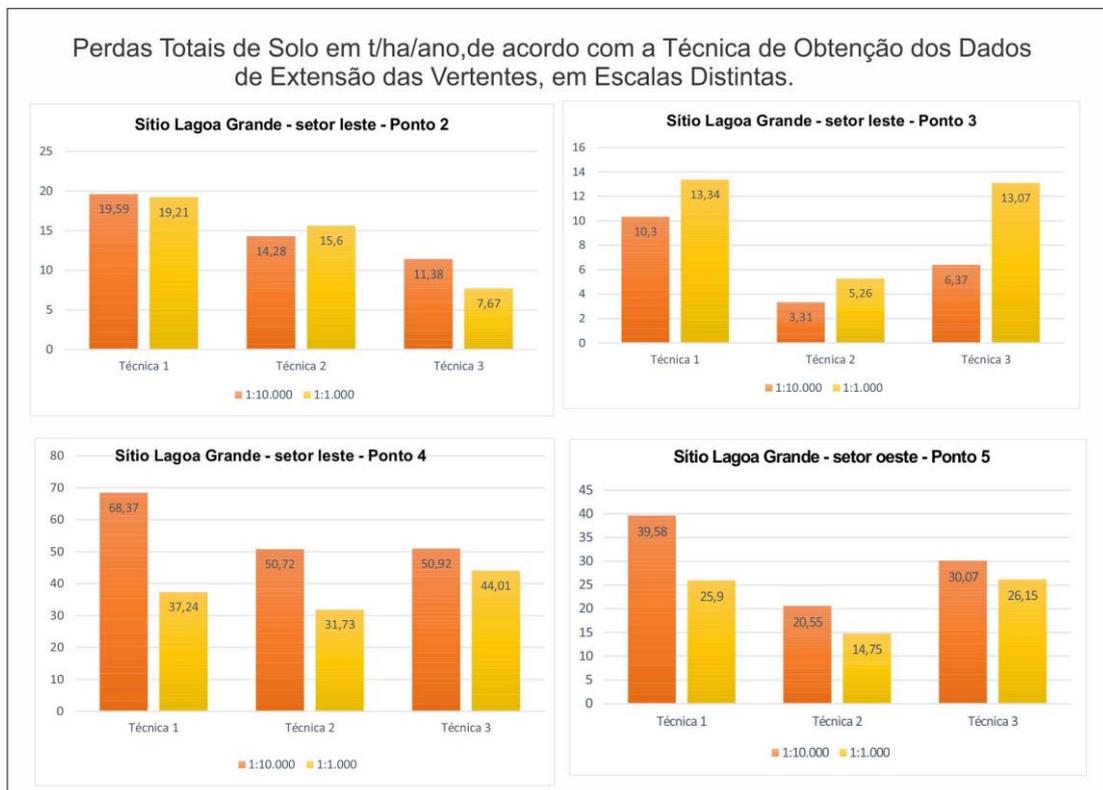


Figura 35 – Perda Total de Solo de acordo com a técnica de obtenção dos dados de extensão das vertentes, em escalas distintas, nos pontos de análise 2, 3, 4 e 5.

Os dados apresentados na figura acima evidenciam que os resultados finais de estimativa de perda de solo variam, ora de forma mais significativa, ora menos, em função da escala e das diferentes técnicas de obtenção dos dados de extensão das vertentes nas áreas onde se encontram instaladas as parcelas experimentais.

De forma geral, verifica-se valores de estimativa de perda de solo maiores na escala de 1:10.000 nos pontos 4 e 5, onde ainda, os dados obtidos com a aplicação da técnica 1 se mostram bem mais elevados que os demais. No ponto 3 os valores de EPS são maiores na escala de 1:1.000, com destaque para as técnicas 1 e 3 que apresentaram valores bem superiores de EPS do que a técnica 2. Cabe ressaltar que a escala de maior detalhe permitiu que nesse ponto houvesse o detalhamento maior das classes de solos, através da construção do esboço pedológico da área, onde se verificou que os solos presentes no setor são Argissolos, de maior erodibilidade que os Neossolos. Além disso, na carta de declividade do sítio Lagoa Grande, escala 1:1.000, foi possível constatar que o valor da declividade nesse setor é de 16% e não 9%, como indica a carta de declividade do ribeirão Alam Grei, escala 1:10.000. Tal comportamento indica a importância de estudos em áreas de menor extensão territorial, com nível maior de detalhe, a fim de que os dados de entrada que alimentam os modelos sejam menos generalizados e mais próximos do real.

Já no ponto 2 não se observa um padrão de maiores ou menores valores de EPS de acordo com a escala, pois, na técnica 1 os valores se mostram muito semelhantes em ambas as escalas. O mesmo ocorre com os dados da técnica 2, embora os valores de EPS sejam maiores na escala 1:1.000. Já na técnica 3 os valores se mostram mais discrepantes conforme a mudança de escala. Tal fato se dá pelas classes de dissecação horizontal, onde se inserem os experimentos, serem diferentes em razão da escala, já que na escala de 1:10.000 a classe é de 20 | 40m e, na 1:1.000 de 16 | 32m. Tal mudança nas classes se dá quando, na escala de 1:1.000, a delimitação da sub-bacia onde se encontra essa área se torna mais precisa e menos generalizada do que na escala de 1:10.000.

Ao tratar da questão escalar na aplicação de modelos, Christofolletti (1999) afirma, de maneira geral, que o fenômeno abordado na pesquisa terá seu grau de complexidade determinado em função do nível escalar proposto no estudo. Entende-se assim, que a aplicação de modelos preditivos de perda de solo em escala de menor detalhe estão sujeitos a obtenção de resultados mais generalizados do fenômeno estudado, causando limitações na obtenção de dados mais reais. Pinheiro (2012, p. 127) à respeito dessa temática, indica, através dos resultados apresentados em sua pesquisa, que existe a necessidade de que os modelos preditivos

sejam aplicados em áreas de estudo menores a fim de se alcançar resultados mais satisfatórios permitindo à pesquisa um maior nível de detalhe no sistema vertente.

Já o gráfico 3, demonstra e compara os valores totais de estimativa de perda de solo no ponto 1, no setor da alta bacia do ribeirão Alam Grei, onde as técnicas de obtenção dos dados de extensão das vertentes foram obtidos apenas na escala de 1:10.000.



Gráfico 3 – Perdas Totais de Solo de acordo com a técnica de obtenção dos dados de extensão das vertentes, na escala de 1:10.000, no ponto 1.

Verifica-se que os valores de EPS alcançados pela técnica 1 e 3 se mostram bastante semelhantes e são maiores do que os valores da técnica 2, em virtude dos valores de extensão das vertentes serem maiores, como discutido anteriormente. Dessa forma, os valores da técnica 2 foram os que mais se distanciaram das perdas de solo dos pinos de erosão adquiridos nessa área, que foi de 1,31 ton/ha/ano. Tal fato pode indicar que os valores totais de estimativa de perdas de solo fornecidos pelo modelo EUPS nesse setor foram subestimados pela equação quando adicionado na mesma os dados do fator CP, uso e manejo da terra e práticas conservacionistas, dado que tais dados possuem valor muito baixo, fazendo com que os dados de perdas de solo se distanciem bastante dos dados observados em campo.

Pinheiro (2012) alertou para a necessidade da inserção de dados referentes à densidade da cobertura vegetal na modelagem de perda de solo por erosão, a fim de que os valores de CP sejam mais representativos e fidedignos ao estimarem os valores de perda de solo. O autor comprovou em sua tese, em áreas de cobertura vegetal de eucaliptos, onde a modelagem indicou elevados valores de EPS, as parcelas dos pinos de erosão mostraram o contrário, indicando que a cobertura vegetal protege o solo do desencadeamento dos processos erosivos, na área mencionada, mais do que a equação indicou. Nos pontos 2, 3 e 4 da presente pesquisa, de modo

geral, o mesmo foi observado, onde os valores de EPS fornecidos pelo modelo EUPS foram maiores que os dados de perda de solo adquiridos em campo com as parcelas experimentais.

Pereira (2016) a partir da simulação de 36 cenários modelados, variando a resolução espacial e volume de chuva nas bacias do Monjolo Grande (SP) e Jacutinga (SP), indicou que o fator C da EUPS é o parâmetro que apresenta o maior nível de sensibilidade do modelo, sugerindo assim que deve haver maiores esforços no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal e na determinação dos valores de C. Além disso, o autor citado, ao abordar sobre a análise de sensibilidades em modelos hidrossedimentológicos afirma que quando uma pequena variação no dado de entrada conduz a uma grande variação do resultado final, faz-se necessário que o pesquisador concentre maiores esforços na determinação de tais dados (PEREIRA, 2016, p.22).

Pereira (2016) aponta ainda que, de maneira geral, no modelo preditivo EUPS, o fator topográfico apresenta o 2º maior parâmetro de sensibilidade, ficando atrás apenas do fator C, uso e manejo do solo. Diante desse fato, observa-se que os dados obtidos na presente pesquisa, referentes à extensão das vertentes, indicam a necessidade de uma maior atenção e refinamento dos mesmos a serem utilizados no cálculo de perda de solo por erosão hídrica, a fim de que os resultados sejam mais próximos das perdas reais e, dessa forma, possam alcançar o objetivo de subsidiar ações de planejamento e manejo da terra a fim de combater o desencadeamento dos processos erosivos na área.

Por fim, com o objetivo de se discutir os resultados de perda de solo adquiridos com as parcelas experimentais, têm-se o gráfico abaixo:

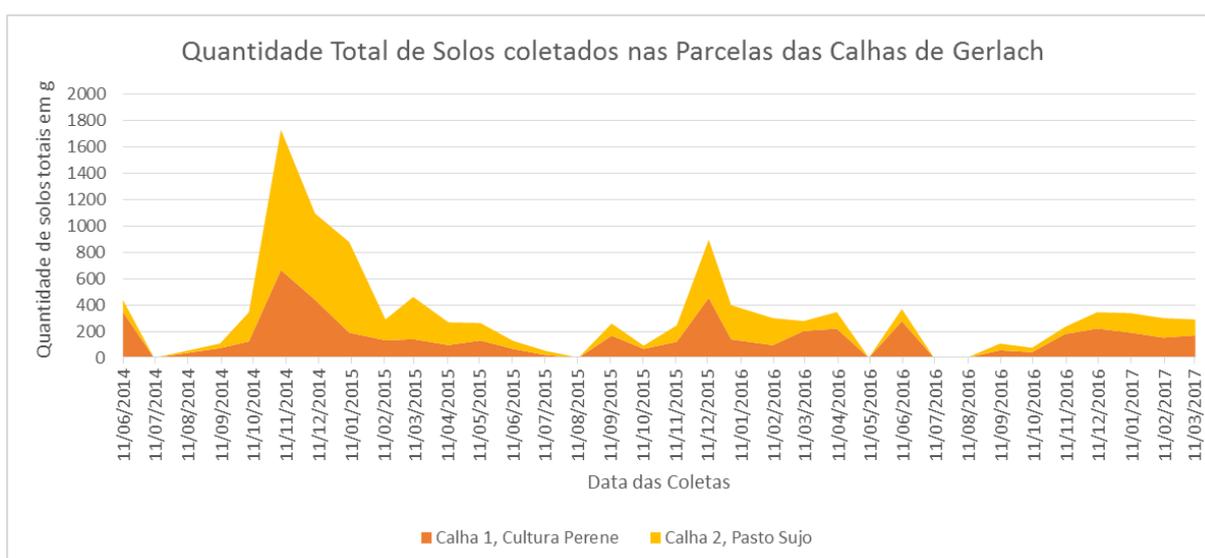


Gráfico 4 – Comparação dos dados totais de solo adquiridos com as duas parcelas experimentais das calhas coletoras de Gerlach.

O gráfico 4 demonstra que a parcela 2 apresentou valores mais elevados de perda de solo durante todo o período de monitoramento, em relação à parcela 1. A calha coletora de Gerlach 1 foi instalada no setor oeste do sítio Lagoa Grande em área de cultivo perene, representado pela citricultura. Além disso, tal parcela se encontra em solos classificados como Argissolos, cujo valor de erodibilidade (K), de acordo com a metodologia adotada na presente pesquisa é de 0,034. A declividade da área onde se encontra tal parcela é de 15% e o comprimento da parcela é de 10m. De acordo com a análise granulométrica realizada do solo da parcela, como demonstrado no quadro 22, o mesmo apresenta o predomínio da fração areia até 1m de profundidade, extensão essa coletada para análise.

Já a calha coletora de Gerlach 2, foi instalada em área de pastagem, no setor leste do sítio Lagoa Grande, possuindo a parcela declividade de 28% com 10 metros de extensão. A área da parcela se caracteriza por apresentar os Neossolos Litólicos, que de acordo com a bibliografia adotada, apresenta valor de erodibilidade de 0,33. A análise granulométrica da amostra de solo da parcela indicou o predomínio da fração silte, como mostrou o quadro 18. Dessa forma, observa-se a coerência dos dados de perda de solo em cada uma das parcelas com as características físicas apresentadas pelas áreas onde as mesmas se inserem, já que a área de menor declividade, com solos de textura arenosa irá apresentar menor valor de perda de solo do que a área com maior grau de declividade do terreno com solos de pouca espessura e de textura moderadamente argilosa. Isso porque a menor declividade da vertente e os solos arenosos proporcionam maior infiltração da água em detrimento do escoamento superficial.

Todavia, os dados obtidos com o modelo EUPS indicaram maior valor de perda de solo no setor oeste da bacia, na área onde se encontra a parcela 1. Um dos fatos que explicam essa ocorrência advém dos valores de extensão das vertentes que no setor leste são maiores que no setor oeste pelo fato da mesma estar inserida na sub-bacia do afluente “b”. Além disso, o valor do fator C, uso e manejo da terra, é maior para as áreas de cultivo perene do que para as áreas de pastagens, de acordo com a bibliografia adotada para a presente pesquisa.

Já o gráfico 5 apresenta a variação dos dados obtidos com as parcelas dos pinos de erosão nas diferentes classes de uso e ocupação da terra.

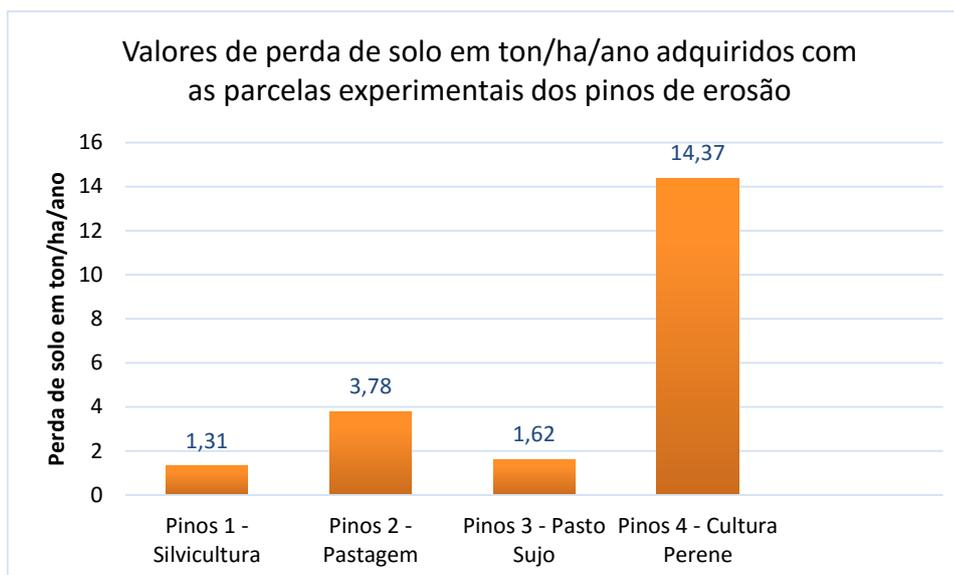


Gráfico 5 – Valores de perda de solo, em ton/ha/ano, de acordo com as parcelas dos pinos de erosão em diferentes usos da terra.

De acordo com o gráfico 5 a área de silvicultura apresentou o menor valor de perda de solo em relação às demais áreas. Tal dado apresenta-se coerente devido a área possuir classe de declividade <3%, se encontrar em setor de alta vertente e apresentar uma cobertura vegetal capaz de proporcionar maior proteção aos solos. Em segundo lugar, se encontra a parcela localizada no setor oeste da bacia, em áreas de pasto sujo. Tal parcela, se encontra em área de declividade de 16%, em alta vertente. A parcela de pinos 2, encontra-se também em área de pastagem, porém apresenta classe de declividade de 25% em área de alta vertente. A parcela de pinos 4 foi a que apresentou maior valor de perda de solo, estando inserida em área de cultivo perene, com declividade de 25% no setor de média vertente.

As parcelas de pinos de erosão apesar de se constituírem num modelo simplificado de monitorar as perdas de solo numa vertente, tem sido bastante utilizada por pesquisas a fim de comparar os dados fornecidos pela mesma com dados estimados de perda por modelos matemáticos. Thomaz e Antoneli (2008) utilizaram os pinos de erosão para medir a erosão de solos em áreas de cultivo de erva mate no município de Guarapuava (PR), comparando tais dados com os fornecidos pela técnica de raízes expostas. De acordo com os autores as duas técnicas se mostraram eficientes, indicando que as perdas de solo no local de estudo se encontram muito acima do limite de tolerância.

Moraes (2016) à respeito das parcelas dos pinos de erosão afirma que as mesmas se mostram satisfatórias por serem de fácil implantação e monitoramento, além de contribuírem na avaliação da interferência do comprimento de rampa nos processos erosivos, haja vista que os experimentos indicaram um padrão de ocorrência de perdas e deposição em função dos

diferentes usos da terra, comprimentos e formas de vertentes em solos argilosos de maior resistência erosiva e, em solos arenosos, de menor resistência erosiva, tal padrão não foi registrado.

Pinheiro (2012) ao utilizar as parcelas dos pinos de erosão em sua área de estudo afirma que os mesmos indicam que as variações de perdas de solo numa vertente são complexas por não apresentarem um comportamento constante de perda de solo, onde as parcelas mostraram períodos de erosão e deposição intercalados em diversos setores. Em relação à variação de perda de solo apresentados pelos experimentos de pinos de erosão, Borges (2009) também apontou a complexidade dos sistemas vertentes que ora apresentam deposição de sedimentos, ora apresentam perdas, fato constatado pelas parcelas dos pinos de erosão na área de estudo.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.**

As técnicas utilizadas na presente pesquisa se mostraram favoráveis aos objetivos propostos pela mesma. Através delas foi possível a comparação de dados de estimativa de perdas de solo através do modelo preditivo EUPS em duas escalas distintas de trabalho, a fim de verificar como a escala de detalhe interfere na aquisição dos fatores que compõe o modelo, principalmente no que se diz respeito aos dados de extensão de vertente.

Além disso, os dados de perda de solo adquiridos com parcelas de experimentação de pinos de erosão e de calhas coletoras de Gerlach contribuíram a fim de possibilitar a comparação dos dados estimados de perda de solo, em duas escalas de trabalho, com três técnicas distintas de obtenção da extensão da vertente, com dados de perda de solo em campo. Contudo, algumas considerações importantes são necessárias à respeito das técnicas empregadas.

Primeiramente, verifica-se que apesar das classes de estimativa de perda de solo variarem de uma técnica para outra na maior parte dos setores da bacia do ribeirão Alam Grei, constata-se um padrão quanto às áreas com maiores e menores valores de EPS, indicando que, independente da técnica utilizada para a obtenção dos valores da extensão das vertentes, através da EUPS é possível realizar um zoneamento das áreas com maior e menor susceptibilidade à perdas de solo por erosão laminar.

Contudo, através da técnica 1 de obtenção dos valores de extensão das vertentes, onde as mesmas são setorizadas apenas pelas formas que possuem (côncava, convexa e retilínea) os valores obtidos se mostram muito maiores quando comparados com as outras técnicas. Tal fato se potencializa quando se trata das áreas de altas vertentes que se encontram inseridas numa

mesma forma que se estende até a média ou baixa vertente, como foi verificado nas áreas de alta vertentes, próximos aos topos do setor norte da bacia do ribeirão Alam Grei.

O fato citado acima é verificado nas duas escalas trabalhadas, porém, na escala de maior detalhe, 1:1.000, ocorre a possibilidade de maior detalhamento das formas de vertentes que na escala de 1:10.000, fazendo com que os valores da extensão das mesmas sejam inferiores, como ocorre no setor oeste do sítio Lagoa Grande, em área de média vertente onde se encontra a parcela experimental dos pinos de erosão em área de cultura perene. De forma geral, os valores mais elevados de EPS se deram através da técnica 1 de obtenção de dados de extensão das vertentes, na escala de 1:10.000.

Quanto à técnica 2, onde as vertentes após serem separadas pela forma que apresentam são subdivididas pela malha quadriculada, se mostrou bastante favorável à aquisição dos dados de extensões das vertentes, principalmente nos seus setores de alta e média. Tal fato ficou evidente em várias situações analisadas da área de estudo onde verifica-se uma diferença de valores muito grande dessa técnica para com as demais, já que a setorização propicia valores menos genéricos da extensão, contribuindo para que os valores finais de estimativa de perda de solo sejam mais baixos e próximos dos dados de perda adquiridos com as parcelas experimentais.

Já a técnica 3 se mostrou favorável nas áreas onde a dissecação horizontal do relevo é maior, permitindo que as classes não sejam generalizadas, principalmente nas áreas drenadas pelos canais de primeira ordem. Contudo, essa técnica não se mostra eficaz quando as extensões das vertentes são maiores, pois acaba por generalizar os setores da alta e média vertente, assim como a técnica 1.

É importante ressaltar a importância da escala na aquisição dos parâmetros da EUPS, já que o conjunto e a variação dos dados adquiridos na presente pesquisa mostram que a escala de maior detalhe favorece a obtenção de dados de melhor qualidade, a fim de apresentar valores finais de EPS mais reais. Tal fato se mostrou presente na pesquisa quando, na escala de 1:1.000 as vertentes puderam ser setorizadas, quanto às suas formas, de maneira mais detalhada que na escala de 1:10.000. Além disso, as sub-bacias puderam ser delimitadas de maneira mais exata na escala de 1:1.000 permitindo assim a obtenção dos dados de extensão das vertentes mais exatos que na escala de 1:10.000. Também verifica-se a importância da escala de detalhe para a obtenção de dados de perda de solo quando a mesma possibilita o detalhamento das classes de solos na área a ser estudada.

Contudo, é importante salientar que apesar da escala de detalhe possibilitar a obtenção de dados de entrada de maior precisão para o modelo EUPS não se pode negar a importância

de se compreender a funcionalidade do todo, já que o local só pode ser compreendido a partir das influências advindas de outras escalas que se encontram conectadas num constante fluxo de matéria e energia. (SUERTEGARAY e NUNES, 2001).

Outro fator a ser considerado é a comparação dos dados fornecidos pelo modelo com os dados adquiridos em campo através dos experimentos dos pinos de erosão e das calhas de erosão. Constatou-se, que na maioria dos pontos analisados tais dados se mostraram bastante distintos. Ao se comparar os dados das calhas de Gerlach com os dados do modelo é importante salientar que as parcelas de experimentação se encontram delimitadas, ou seja, são fechadas, dificultando a discussão quanto às técnicas de obtenção dos dados de extensão das vertentes. Todavia, tais parcelas se mostraram satisfatórias, já que o período de monitoramento de três anos das mesmas possibilitaram a indicação da dinâmica erosiva em cada área, caracterizadas por declividades, solos e classes de uso e ocupação da terra distintas.

Quanto aos pinos de erosão, apesar de apresentarem dados mais antigos em relação aos dados das calhas de Gerlach, também se mostram satisfatórios aos objetivos da pesquisa, pois os mesmos se caracterizam por apresentarem parcelas não fechadas, permitindo a discussão quanto aos comprimentos das vertentes. Além disso, as classes de uso e ocupação da terra quando na época de monitoramento de tais parcelas não se alteraram durante esse espaço de tempo.

Diante da grande variação dos resultados adquiridos de estimativa de perda de solo em função das escalas de trabalho e, em comparação com os dados adquiridos em campo com as parcelas de experimentação, percebe-se a necessidade de estudos que venham a refinar os dados da EUPS, indicando caminhos que tornem a aquisição dos dados de entrada do modelo mais confiáveis, a fim de fornecerem resultados de estimativa de perda de solo mais próximas do real. Tal fato se faz necessário devido à grande quantidade de estudos científicos que utilizam o modelo EUPS para prever as perdas de solo a fim de fornecerem subsídios às ações de planejamento territorial, o que somente será possível com o fornecimento de resultados finais que sejam mais próximos do real.

Christofolletti (1999, p. 32) afirma que “os modelos estão longe de se constituir em panaceia universal e devem ser usados considerando as suas limitações, procurando-se discernir as maneiras mais adequadas de superá-las”. Diante disso, a presente pesquisa se mostrou satisfatória ao indicar que os dados referentes aos parâmetros da EUPS, no caso das extensões das vertentes, quando adquiridos em escala de maior detalhe permitem o detalhamento dos mesmos, onde os valores das extensões se tornam menos generalizadas, resultando em dados de EPS mais próximos do real. Assim, considera-se também, através dos resultados

apresentados, que quanto mais a vertente é segmentada, mais o fator topográfico da EUPS possibilitará a aquisição de dados mais confiáveis.

A presente pesquisa indicou também através dos dados adquiridos com as parcelas de experimentação, apesar das ressalvas já realizadas, que mesmo nas áreas onde as extensões das vertentes foram segmentadas pela malha quadriculada, de acordo com a técnica 2, os resultados de EPS se mostraram distintos dos dados de perda de solo adquiridos em campo, indicando que o fator C da EUPS apresenta generalizações, que ora subestimam, ora supervalorizam tais dados e assim, tal parâmetro necessita ser melhor calibrado a fim de tornar tais dados mais precisos.

Dessa forma, entende-se que a presente pesquisa veio a contribuir com futuros trabalhos que visem a quantificação de perda de solo através de modelos preditivos ao indicar que a escala de maior detalhe permite a obtenção de dados menos generalizados e, portanto mais confiáveis ao indicarem resultados de perda de solo. A variedade de dados encontrados na presente pesquisa demonstra a necessidade de se concentrar esforços na busca de obtenção de valores mais satisfatórios dos parâmetros que compõem a EUPS, a fim de que o modelo citado, amplamente usado no mundo todo, possa ser um instrumento que forneça subsídios a fim de planejar e viabilizar ações de uso e ocupação da terra e práticas conservacionistas que visem amenizar o desencadeamento dos processos erosivos em áreas agrícolas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **A depressão periférica paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica na Bacia do Paraná**. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1969.
- ALMEIDA, FFM de. Geologia do estado de São Paulo. **IGG, Boletim N. °**, v. 41, p. 263, 1964.
- AMORE, E.; MODICA, C.; NEARING, M.A. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. **Journal of Hydrology**. Vol. 293, p. 100-114, Junho 2004.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F. Avaliação do Desempenho dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica USLE, RUSLE e WEPP para Diferentes Condições Edafoclimáticas do Brasil. **Revista da Engenharia Agrícola Jaboticabal**. v.30, n.6, p.1046-1049, nov./dez. 2010.
- ARAÚJO JR, G.J.L.D. de. **Aplicação dos Modelos EUPS e MEUPS na Bacia do Ribeirão Bonito (SP) Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2003.
- ARRUDA, W.C. **Estimativa de Erosão em Clareiras através da Mudança do relevo do Solo por Meio de Pinos**. Disponível em: <http://www.projetos.inpa.gov.br>. Acesso em 09/2007.
- AUERSWALDA, K.; FIENER, P. MARTIN, W. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. **Catena**. Vol. 118, p. 220 – 225, Julho, 2014.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R. **Equação de perdas de solo**. Campinas: IAC, 1975. 25p. (Boletim técnico, 21).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e Água**. Campinas: CATI, 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Ed. Ícone, 3a Edição, São Paulo, 1990.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, R, BENATTI JÚNIOR, R. **Metodologia para a determinação de perdas por erosão**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 14p. (Circular, 44).
- BIGARELLA, J.J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. V.3, Ed. UFSC, Florianópolis, 2003.

BORGES, Patrícia. **A Evolução dos Processos Erosivos na Bacia do Ribeirão Alam Grei - SP: Uma Contribuição ao Planejamento Ambiental**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

BUENO, C.R. **Zoneamento da Suscetibilidade à Erosão dos Solos da Alta e Média Bacia do Rio Jacaré Pepira, SP, com Vistas ao Planejamento Ambiental**. 1994. Tese (Doutorado em Geografia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP – Rio Claro, 1994.

CASTRO, A.G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da Expectativa de Perdas de Solo em Microbacias sob Diferentes Manejos Florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 21, p. 419 – 426, Viçosa, 1997.

CEBECAUER, Tomáš; HOFIERKA, Jaroslav. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. **Geomorphology**, v. 98, n. 3, p. 187-198, 2008.

CESP. **Carta Topográfica de Rio Claro**. Folha – Granja Ipê - SF.23-Y-A-I-4-NE-D, escala 1:10.000.

CERON, A.O.; DINIZ, J.A.F. O Uso de Fotografias Aéreas na Identificação das Formas de Utilização Agrícola da Terra. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, nº.2, p. 161-172, 1996. 72

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1974.

CHRISTOFOLETTI, Antonio et al. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, v. 2, p. 415-440, 1994.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blücher, 1999.

CHORLEY, R.J. Geomorphology and general systems theory. **U.S. Geology Survey**. Prof. Paper (500-B):1-10. 1962.

CUNHA, C.M.L. **Quantificação e Mapeamento das Perdas de Solo por Erosão com Base na Malha Fundiária**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1997.

CUNHA, C. M. L. A. **Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DE BIASI, M. Cartas de Declividade: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n.21, p. 8-12, 1970.

DE PLOEY, J. e GABRIELS, D. Measuring soil loss and experimental studies. In: **Soil Erosion**. Eds. M.J.Kirkby e R.P.C. Morgan. p. 63-108, 1980.

DESMET, P.J.J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. n.5, vol. 51, p. 427 – 433, Setembro/Outubro, Ankeny, 1996.

DONZELI, P.L. et al. Técnicas de Sensoriamento remoto aplicadas ao Diagnóstico básico para Planejamento e Monitoramento de Microbacias Hidrográficas. **Documentos IAC**, Campinas, Instituto Agrônomo, n. 29, p. 91 – 119, 1992.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A - EMPLASA. **Projeto de Atualização Cartográfica do Estado de São Paulo (Projeto Mapeia São Paulo) 2010/2011**. São Paulo. 2011. Escala: 1.1000.

FERREIRA, M.V. et al. A Dissecção Horizontal como Parâmetro Morfométrico para Avaliação do Relevo: Proposta de Técnica Digital Automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V. 15, n. 4, p.585-600, São Paulo, 2014.

KOFFLER, N.F. **Solos da Bacia do Rio Corumbataí**. Universidade Estadual Paulista – IGCE – Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica, campus Rio Claro, SP, escala 1:50.000, 1992.

GUERRA, A.T. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Orgs. CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.T., p.139 – 155, 1996.

GUERRA, A. Experimentos e Monitoramentos em Erosão dos Solos. **Revista do Departamento de Geografia**. n.16, p.32 – 37, São Paulo, 2005.

GUERRA, A. O Início do Processo Erosivo. In: **Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. Orgs. GUERRA, A.T.; SILVA, A.S.da; BOTELHO, R.G.M. Editora Bertrand Brasil, 3ª edição, Rio de Janeiro, 2007.

HERNANI, L. C. et al. **A erosão e seu impacto. Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 47-60, 2002.

IAC, INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Carta Pedológica Semi-Detalha do Estado de São Paulo: Folha de São Carlos (SF.23-Y-A-IV)**, escala 1:100.000, 1989.

IAC, INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula São Carlos II. Memorial Descritivo**. Campinas, 1984.

IPT, INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981 a.

IPT, INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981 b.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento; Orçamento e Gestão; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; Diretoria de Geociências; Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2. ed., 2006.

LAFLEN, John M.; MOLDENHAUER, W. C. **Pioneering soil erosion prediction: the USLE story**. Beijing: World Association of Soil and Water Conservation, 2003.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. 1970. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1970.

LEITE, J.R.M.; PILATTI, L.C. **Direito Ambiental Simplificado**. Editora Saraiva, São Paulo, 2010. 73

LEPSCH, I.F. **Formação e Conservação dos Solos**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991, 175p.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil**. West Lafayette, Purdue University, 1977.

LOMBARDI NETO, F. **Equação Universal de Perdas de Solo Modificada**. Campinas: Seção de Conservação do Solo – IAC, 1994.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER. Erosividade da Chuva – sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3º, 1980, Recife. **Anais**. Recife: UFRPE, 1981, p.158.

LOMBARDI NETO, F. SILVA, F.G.; MINOTTI, R.T.; PRIMAVESI, O. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Eng. Sanit Ambient**. Vol. 15, n.2, p. 141 – 148, Abril/Junho, 2010.

MACAGNAN, V.L. **Variação da Cobertura Vegetal e seus Reflexos na Erosão Superficial**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 1990.

MACHADO, C.J.S.; VILANI, R.M.; FRANCO, M.G. Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Vol. 28, p. 41-55, 2013.

MAEDA, E.E.; PELLIKKA, P.K.E.; SILJANDER, M. Potential impacts of agricultural expansion and climate change on soil erosion in the Eastern Arc Mountains of Kenya. **Geomorphology**. Vol. 123, p. 279–289 , November 2010.

MAT, M.B.; MORGANB, R.P.; GICHUKIC, F.N. Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS: A case study of the Upper Ewaso Ng'iro North basin of Kenya. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Vol. 2, p. 78 – 86, 2000.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MENDES, I. A. **A Dinâmica Erosiva do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon – Araçatuba-SP**. 1993. 156f. Tese (Doutorado em Geografia)- FFLCH, USP, São Paulo, 1993.

MEUSBURGER, K.; KONZ, N.; Soil erosion modelled with USLE and PESERA using QuickBird derived vegetation parameters in an alpine catchment. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Vol. 12, p. 208 – 215, 2010.

MORAES, I.C. **Avaliação dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica MEUPS e WEPP: Contribuição em Bacias Hidrográficas**. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista, Rio Claro, 2016.

MORETI, D. et al. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, 2003.

PARVEEN, R.; KUMAR, U. Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Loss Risk Assessment in Upper South 74 Koel Basin, Jharkhand. **Journal of Geographic Information System**. Vol.4, n. 6, Novembro, 2012.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia**. IBGE, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1978.

PEREIRA, L.H. **Caracterização da Erosão Hídrica Laminar do Solo em Bacia Hidrográfica com Base na Malha Fundiária, por meio de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelagem**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista, Rio Claro, 2010.

PEREIRA, L.H. **Análise de Sensibilidade e Propagação de Incerteza em Modelos Hidrossedimentológicos: Contribuição à Modelagem de Bacias Hidrográficas**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista, Rio Claro, 2016.

PERINOTTO, A.J.; ZAINÉ, M.F. **Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP**. Câmara Municipal: Arquivo Público e Histórico, Rio Claro, 1996.

PESSOA, L.M. **Variação Espacial e Sazonal do Banco de Sementes do Solo em uma área de Caatinga, Serra Talhada, PE**. Dissertação (Mestrado em Botânica). 2007. Universidade Federal Rural de Pernambuco – PPGb/UFRPE, Recife, 2007.

PINESE JR, J.F. et al. Monitoramento de Processos Erosivos em Parcelas Experimentais no Município de Uberlândia – MG. **Caminhos de Geografia**. Vol. 10, n.31, p.92-108, Uberlândia, 2009.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão de solos: contribuição metodológica**. 1991. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

PINTO, S dos A. F. **Contribuição Metodológica para a Análise de Indicadores da Erosão do Solo utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelo**

**Predictivo.** 1995. Tese (Livre Docência em Cartografia e Análise da Informação Geográfica), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 1995.

PINHEIRO, L. de S. **A Dinâmica Erosiva na Bacia do Córrego Ibitinga – Rio Claro (SP): uma Abordagem Empírico-Dedutiva.** 2012. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista, Rio Claro, 2012.

PROCHNOW, D. et al. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência de Solo.** Vol.29, n.1, Viçosa, jan./fev., 2005.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology.** Vol. 157, p. 287 – 306, Maio, 1994.

ROCHA, J. SOUZA, P.M. A Complexidade em Geografia. **Centro de Estudos Geográficos.** Vol. [s.i.], Lisboa, 2007.

ROSS, JLS MOROZ. IC Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. **Laboratório,** 1997.

SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (epiálico) dos Campos da Mantiqueira (MG).** 1993. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), ESAL, 1993.

SÃO PAULO. Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo. **Conservação do Solo.** São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/programas>. Acesso em 10 de Abril 2016.

SILVA, A., et al. Avaliação da Erosão na Margem Direita do Rio Paraguai a Jusante da Praia do Julião, Município de Cáceres – MT. **Revista Geografica Acadêmica.** Vol.1, n.1, p. 5 – 19, 2007.

STABILI, R.A.; VIEIRA, B.C. Análise do papel exercido pela topografia na distribuição das feições erosivas da bacia hidrográfica Água da Faca, Piratininga (SP / Brasil), a partir de um modelo digital de elevação. In. XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, EGAL 2009, **Anais eletrônicos.** Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevastecnologias/Cartografiaautomatizada/18.pdf>. Acesso em: 10/03/2016.

STEIN, D.P., et al. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, 1987, Marília, **Anais.** São Paulo: S.C.P., 1987.

SPIRIDONOV, A.I. **Princípios de la Metodologia de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico.** Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografia, 1981.

SUERTEGARAY, D.M.A.; NUNES, J.O.R. A Natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra Livre,** n. 17, 2º semestre de 2001, p. 11 – 24.

TAVARES, A.C.; VITTE, A.C. Erosão do Solo e Assoreamento: O caso de Monte Aprazível – SP. **Geografia**. Rio Claro, 18 (1), abril, 1993, p.51-95.

THOMAZ, Edivaldo Lopes; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Processos Hidrogeomorfológicos em Vertentes com Solos Argilosos Rasos em Guarapuava-PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

THOMPSON, D., FIDALGO, E.C. Estimativa da perda de solos por meio da equação universal de perdas de solos (USLE) com uso do invest para a bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu–RJ. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: Água-desenvolvimento econômico e socioambiental**. Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. In: **Série recursos naturais e meio ambiente**. SUPREN/IBGE, 1977.

VAEZI, A.R.; SADEGHIB, S.H.R.; BAHRAMIA, H.A. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. **Geomorphology**. Vol. 97, p. 414- 423, Maio 2008.

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **GEOGRAFIA**. Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, set./dez. 2003.

Zaine, José Eduardo. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. (2000): 149-f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2000.

ZANARDO, A. et al. Formação Corumbataí na Região de Rio Claro/SP: Petrografia e Implicações Genéticas. **Geociências**. Vol. 35, n.3, p. 322-345, Rio Claro, 2016.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook n. 537, 1978.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. Washington: USDA Handbook, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WWF. **Planeta Vivo Relatório 2010**. Global Footprint Network, Califórnia, 2010. Disponível em:[http://assets.wwfbr.panda.org/downloads/08out10\\_planetavivo\\_relatorio2010\\_completo\\_n9.pdf](http://assets.wwfbr.panda.org/downloads/08out10_planetavivo_relatorio2010_completo_n9.pdf). Acesso em: 15/03/2016.