

2014-05-26

# Análise da fragilidade e do conflito de uso do solo em área de recarga do Aquífero Guarani

Andrade, Daniel Campanelli de

Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

ANDRADE, Daniel Campanelli de. Análise da fragilidade e do conflito de uso do solo em área de recarga do Aquífero guarani. Orientadora: Teresinha Esteves de Silveira. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2014.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/269>

*Baixado de Repositório Institucional UENP*



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ**

**CAMPUS LUIZ MENEGHEL**

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DANIEL CAMPANELLI DE ANDRADE**

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE E DO CONFLITO DE USO DO SOLO EM  
ÁREA DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI**

**BANDEIRANTES - PR**

**2014**

DANIEL CAMPANELLI DE ANDRADE

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE E DO CONFLITO DE USO DO SOLO EM  
ÁREA DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado  
em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte  
do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da  
Silveira Reis

**BANDEIRANTES - PR**

**2014**

A566a Andrade, Daniel Campanelli de  
Análise da fragilidade e do conflito de uso do solo em área de recarga do Aquífero Guarani / Daniel Campanelli de Andrade. – Bandeirantes, 2014.  
69f. ilustr.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, 2014.

Banca: Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis, Dr. João Henrique Caviglione, Dr. Luiz Carlos Reis, Dr. Rone Batista de Oliveira, Dr. Cristiano Medri.

1. Erosão. 2. Perda do solo. 3. Potencial natural de erosão. 4. Aptidão agrícola das terras. 5. Conflito de uso do solo. I. Universidade Estadual do Norte do Paraná. III. Título.

CDD – 631.4

DANIEL CAMPANELLI DE ANDRADE

## **ANÁLISE DA FRAGILIDADE E DO CONFLITO DE USO DO SOLO EM ÁREA DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado  
em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte  
do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*.

Aprovado em: 26/05/2014

### COMISSÃO EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.....UENP  
Prof. Dr. João Henrique Caviglione.....IAPAR  
Prof. Dr. Luiz Carlos Reis.....UENP  
Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira (suplente).....UENP  
Prof. Dr. Cristiano Medri (suplente).....UENP

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis  
Orientadora  
Universidade Estadual do Norte do Paraná  
*Campus Luiz Meneghel*

***À minha mãe, que foi a maior incentivadora  
de minha formação acadêmica.***

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe, pela compreensão, apoio e por acreditar em minha carreira acadêmica.

A Professora Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis por ter sido minha orientadora de TCC, em minha graduação em Ciências Biológicas (UENP), também por ter sido minha orientadora na monografia apresentada ao final da Especialização em Auditoria e Gestão Ambiental (UTFPR) e durante o mestrado minha orientadora, conselheira e acima de tudo, uma grande amiga.

Ao professor Dr. Luis carlos Reis, que ao lado da professora Teresinha foi meu coorientador, mesmo que de forma extraoficial, esteve em todas as etapas citadas acima, e também por sua amizade, conselhos e principalmente pelo amplo conhecimento transmitido dentro e fora de sala de aula.

Aos membros componentes da banca examinadora, pela avaliação e sugestões fundamentais para a melhoria do trabalho.

A todos os professores da UENP – *Campus Luiz Meneghel*, que por serem tantos não há como mencionar todos, porém quero deixar bem claro que foram fundamentais para minha formação tanto no âmbito acadêmico como pessoal.

Aos companheiros de mestrado: Luís Murilo, “Mandioca”, “Zappa”, Leandro, Clóvis, Roberto, Guilherme, Marcela, Giovana, Bruna, Andréia, Luana e Flaviane. Que sejamos a primeira de muitas turmas a concluir esse curso de pós-graduação.

Aos companheiros de república: “FM”, “Jean”, Ivan, “Cogu”, “Largatixa”, Enrique, Galeno Rabelo Americano do Brasil (não é zueira), “Muguigo”, “Duh Daniel”, “Rick”, “Zóio”, “Conchas”, Antônio, Manfrin e Lincoln.

Aos velhos amigos: Rafael Chiara, Luis Gustavo Dionísio e Rafael Pinheiro, que mesmo não participando diretamente dessa fase de pós-graduação, sempre se fizeram presentes com seus conselhos e apoio.

Ao Lucas Guiotti pela ajuda com o inglês na confecção dos abstracts.

Enfim a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

**“Conhecimento próprio é o único bem  
que não pode ser roubado”.**

(Autor desconhecido)

## LISTA DE ABREVIACOES

**APP** - áreas de Preservaao Permanente

**EMATER** – Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural

**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**EUPS** - Equaao universal de perda de solo

**IAPAR** – Instituto Agronômico do Paraná

**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**IPARDES** - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econmico e Social

**LEGAL** - Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico

**MERCOSUL** – Mercado Comum do Sul

**MNT** - Modelo Numérico Terreno

**OEА** - Organizaao dos Estados Americanos

**PI** - Plano de Informaao

**PNE** - Potencial Natural de Erosão

**RL** – Reserva Legal

**RPPN** - Reservas Particulares de Patrimnio Nacional

**SAAAT** - Sistema de Avaliaao da Aptidão Agrícola das Terras

**SAG** - Sistema Aquífero Guarani

**SIG** - Sistema de Informaao Geográfica

**UC** - Unidades de Conservaao

**USLE** - Universal Soil Loss Equation

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização do Aquífero Guarani no Brasil, com delimitação das áreas de recarga e os usos sobre estas áreas (ARAUJO et al., 1995). .....	3
<b>Figura 2</b> - Risco de contaminação das áreas de recarga do SAG. (ARAUJO et al., 1995).....	4
<b>Figura 3</b> - Localização e espacialização da área de estudo.....	25
<b>Figura 4</b> - Distribuição das microbacias ao longo da área de recarga do SAG. ....	26
<b>Figura 5</b> - Mapa de solos do área do estudo .....	28
<b>Figura 6</b> - Visualização em três dimensões do fator topográfico (LS) de B1.....	31
<b>Figura 7</b> - Mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE). .....	32
<b>Figura 8</b> - Distribuição das áreas das microbacias nas classificações de PNE, segundo Lagrotti (2000) e a nova classificação.....	34
<b>Figura 9</b> - Distribuição das microbacias ao longo da área de recarga do SAG. ....	42
<b>Figura 10</b> - Organograma do método de construção e cruzamento dos diferentes planos de informações utilizados no trabalho.....	42
<b>Figura 11</b> - Mapa de aptidão agrícola das terras. ....	46
<b>Figura 12</b> - Percentual de área para cada classe de aptidão agrícola das terras.....	47
<b>Figura 13</b> - Distribuição das áreas de acordo com a compatibilidade de uso do solo. ....	48
<b>Figura 14</b> - Mapa de compatibilidade de uso do solo.....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Erodibilidade dos solos presentes nas microbacias (Fator K). .....	29
<b>Tabela 2</b> - Potencial Natural de Erosão (PNE).....	31
<b>Tabela 3</b> - Classes de relevo das microbacias, em percentual de área. ....	32
<b>Tabela 4</b> - Dados da análise estatística exploratória dos resultados do PNE.....	33
<b>Tabela 5</b> - Classificação das áreas com PNE > 1000 Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> em %. ....	33
<b>Tabela 6</b> - Relação entre a aptidão agrícola das terras, uso atual do solo e suas respectivas compatibilidades de uso do solo. ....	44
<b>Tabela 7</b> - Uso atual do solo e respectiva área de abrangência (%). ....	45
<b>Tabela 8</b> - Aptidão agrícola das terras em percentual de área.....	46
<b>Tabela 9</b> - Conflito de uso do solo em percentual de áreas. ....	47

ANDRADE, Daniel. Campanelli. **Análise da fragilidade e do conflito de uso do solo em área de recarga do Aquífero guarani**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

## **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a fragilidade e o conflito de uso dos solos sobre área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, na bacia do médio Rio das Cinzas, Norte Pioneiro do Paraná. Utilizando geotecnologias, foi possível levantar os dados referentes ao uso atual do solo, potencial natural de erosão (PNE), aptidão agrícola das terras e por fim a análise do conflito de uso do solo. Estes que são estudos fundamentais para prever impactos, cujos resultados possibilitam planejamentos em busca da sustentabilidade. Os resultados demonstraram alto potencial de perda de solo, constatando a fragilidade da região. Com relação aos usos, foram encontradas todas as classes pré-estabelecidas, água, urbano, floresta, silvicultura, lavoura e pastagem, com destaque para as duas últimas. As terras da região do estudo apresentaram variadas aptidões agrícolas, desde boa para lavoura até regular para pastagem. O resultado da análise do conflito de uso do solo demonstrou a falta de planejamento na escolha da cultura implantada. Essa falta de planejamento combinada com a fragilidade em potencial apresentada pelos solos pode acarretar perdas estruturais, menor produtividade agrícola e impactos diretos na área de recarga.

**Palavras Chaves:** erosão, perda de solo, potencial natural de erosão, SIG, aptidão agrícola das terras, conflito de uso do solo.

ANDRADE, Daniel. Campanelli. **Analysis of fragility and conflict of land use in the recharge area of the Guarani Aquifer**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR. Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

### **Abstract**

This essay had the aim of evaluating the fragility and the conflict of the use of soils from six watersheds on the recharging area of Guarani Aquifer, on the Rio das Cinzas's medium watershed, Norte Pioneiro Paraná. From the using of geotechnologies and the Boolean logic for maps creation, it was possible to gather data referring to the current use of the soil, erosion's natural potential (ENP), agricultural aptitude of the grounds and to end, the analyses of the conflict of the soil's use. These are essential studies to prevent environmental impact, whose results enable planning in search of sustainability. The results demonstrated the high potential of soil loss, confirming the fragility of the region. In relation to the uses, it was found all the predetermined sorts, water, urban, forest, silviculture, farming and pasture, standing out the last two ones. The lands of the study area of the search shows a lot of agriculture aptitudes, from the good for farming up to the regular for pasture. The analyses' result about the conflict of the soil's use demonstrated the lack of planning when choosing the cultivation implanted, presenting vast areas with underutilization of the soil and some of them with overutilization. This lack of planning combined with the fragility in potential presented's by the soils might bring about significant losses, less agricultural productivity and direct impacts on Guarani Aquifer's recharging.

**Key words:** erosion, soil loss, erosion potential in, GIS, agricultural land suitability, land use conflict.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 - REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1 - O Sistema Aquífero Guarani (SAG). .....	2
2.1.1 - Áreas de recarga do Aquífero Guarani .....	3
2.1.2 - Classificação do risco de contaminação do SAG .....	4
2.2 - A legislação ambiental e as áreas de APP.....	5
2.3 - O processo de erosão.....	6
2.3.1. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) .....	6
2.3.1.1 - Erosividade da chuva (Fator R) .....	7
2.3.1.2 - Erodibilidade do solo (Fator K) .....	8
2.3.1.3 - Comprimento e declividade da rampa (Fator LS) .....	9
2.3.1.4 - Uso, manejo do solo e práticas conservacionistas (Fator CP) .....	10
2.4 - Avaliação da aptidão agrícola das terras .....	10
2.4.1 - Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT).....	11
2.5 - Geoprocessamento .....	13
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	16
<b>3 - ARTIGO A - Estimativa do potencial natural de erosão em área de recarga do Aquífero Guarani</b> .....	22
3.1. Introdução.....	24
3.2. Material e métodos .....	25
3.3. Resultados e discussão .....	30
3.4. Conclusões .....	35
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36

<b>4 - ARTIGO B - Conflito de uso do solo em área de recarga do Aquífero Guarani...</b>	<b>38</b>
4.1. Introdução.....	40
4.2. Material e métodos .....	41
4.3. Resultados e discussão .....	44
4.4. Conclusões .....	50
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>5 - CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>54</b>
<b>Apêndice A - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B1 (Jacarezinho).....</b>	<b>55</b>
<b>Apêndice B - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B2 (Santo Antonio da Platina).....</b>	<b>56</b>
<b>Apêndice C - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B3 (Jundiaí do Sul). .....</b>	<b>57</b>
<b>Apêndice D - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B4 (Ribeirão do Pinhal).....</b>	<b>58</b>
<b>Apêndice E - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B5 (Nova Fátima).....</b>	<b>59</b>
<b>Apêndice F - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B6 (Congonhinhas).....</b>	<b>60</b>
<b>Apêndice G - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI fator LS. ....</b>	<b>61</b>

<b>Apêndice H</b> - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI fator K. .....	62
<b>Apêndice I</b> - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI do Potencial natural de erosão (PNE). ....	63
<b>Apêndice J</b> - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI de Aptidão agrícola das terras (SAAT), parte 1. ....	64
<b>Apêndice K</b> - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI de Aptidão agrícola das terras (SAAT), parte 2. ....	65
<b>ANEXOS</b> .....	66
<b>Anexo A</b> - Mapa de erosividade (Fator R) do Estado do Paraná, de acordo com estudo de Waltrick (2010). ....	67
<b>Anexo B</b> - Mapa de precipitação média anual do Estado do Paraná, segundo o Instituto Agrônômico do Paraná (CAVIGLIONE et al., 2000). ....	68
<b>Anexo C</b> - Mapa de umidade relativa média anual do Estado do Paraná, segundo o Instituto Agrônômico do Paraná (CAVIGLIONE et al., 2000). ....	69

## 1 - INTRODUÇÃO

À medida que o homem dominou os ambientes naturais, suas ações refletiram diretamente sobre a natureza. O solo é um dos recursos naturais que mais sofre consequências das atividades antrópicas.

Recursos ainda pouco estudados em relação à susceptibilidade aos impactos ambientais são os aquíferos, tendo como exemplo, no território brasileiro, o Sistema Aquífero Guarani (SAG).

As áreas de recarga direta ou de afloramento do SAG tem se mostrado bastante expostas ao risco de degradação, seja por efeitos da urbanização, por processos erosivos, pelo avanço das atividades agrícolas e principalmente pela falta de critérios em relação à capacidade de uso dessas áreas e principalmente pela necessidade de proteção destas.

Estudos das variáveis ambientais, associados às práticas agropecuárias utilizadas sobre estas áreas de recarga são importantes, pois possibilitam estimar impactos e contaminações nas áreas de armazenamento e fonte de água, recurso básico para a agropecuária e fundamental para a manutenção da vida na terra.

Dados relacionados ao solo são necessários para diagnóstico do estado de susceptibilidade a erosão em que se encontram as terras de determinada região. Uma dessas metodologias é o potencial natural de erosão (PNE), que possibilita estimar a fragilidade dos solos de acordo com suas características e o ambiente em que se encontra.

Avaliar as aptidões agrícolas das terras onde se pretende introduzir um modelo de produção sustentável é importante, pois essa avaliação permite verificar a melhor opção de cultivo de acordo com as deficiências e restrições do solo.

Cruzando os resultados obtidos no levantamento do atual uso do solo com o mapa de aptidão agrícola das terras pode-se constatar a compatibilidade de uso do solo, sendo possível avaliar se determinado ambiente está ou não sofrendo impactos que podem ocasionar problemas ou não. Estes impactos sobre o solo podem de maneira direta refletir na qualidade da água do Sistema Aquífero Guarani.

O objetivo deste estudo foi analisar o conflito entre o uso atual do solo e a aptidão agrícola do mesmo em área de recarga do aquífero guarani.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - O Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Segundo Borgueti (2004), estima-se que o volume de água do aquífero Guarani, seja algo em torno de 46.000 km<sup>3</sup>, porém, em estudo anterior, o geólogo brasileiro Aldo da Cunha Rebouças (REBOUÇAS, 1976) estimou as reservas em 48.000 km<sup>3</sup>.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) distribui-se por área de 1.196.500 km<sup>2</sup>, situado na porção Centro-Leste do continente sul-americano, distribuído pelos territórios de quatro países: Argentina, com 225.500 km<sup>2</sup>; Paraguai, com 71.700 km<sup>2</sup>; Uruguai, com 58.500 km<sup>2</sup> e o Brasil, país com a maior porção, ocupando 840.800 km<sup>2</sup>, todos membros do MERCOSUL (CHANG, 2001; HIRATA et al., 2008).

Com relação a distribuição da área de abrangência no território Brasileiro, este aparece em oito Estados da Federação: Mato Grosso do Sul, com uma área de 213.200 km<sup>2</sup>; Rio Grande do Sul, 157.600 km<sup>2</sup>; São Paulo, 155.800 km<sup>2</sup>; Paraná, 131.300 km<sup>2</sup>; Goiás, 55.000 km<sup>2</sup>; Minas Gerais, 52.300 km<sup>2</sup>; Santa Catarina, 49.200 km<sup>2</sup> e Mato Grosso, com 26.400 km<sup>2</sup> (RIBEIRO, 2008).

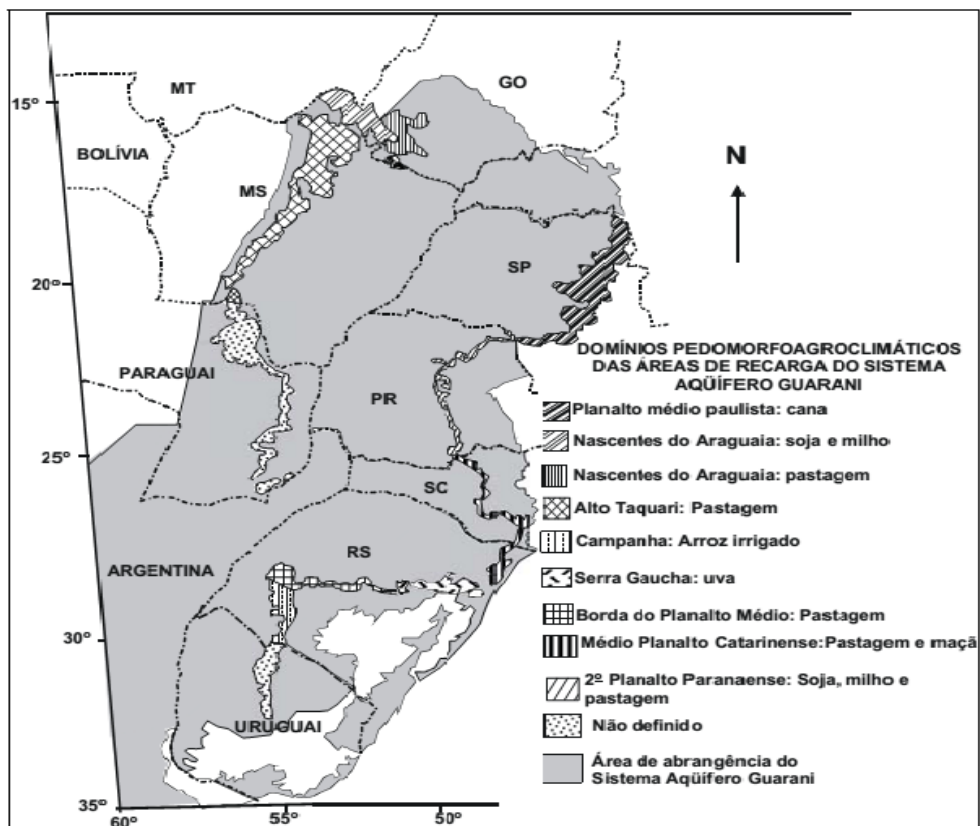
A reposição de água, oriunda de chuvas nas áreas de recarga, é estimada em aproximadamente 166 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> ou 5 mil m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Considerando as perdas, chegou-se a um volume de 40 km<sup>3</sup>/ano<sup>-1</sup> de água utilizável, segundo divulgou o Departamento de Energia do Estado de São Paulo. Esse volume de água é mais que suficiente para abastecer os cerca de 15 milhões de habitantes que vivem sobre a superfície do aquífero (ARAUJO et al., 1995, ROCHA, 1997).

Embora as reservas de água subterrânea já estejam em uso em diversas localidades, não existe ainda uma estrutura organizada para a gestão dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Guarani. Apesar da controvérsia sobre o isolamento de partes do sistema, especula-se que o uso desequilibrado possa afetar a dinâmica da oferta de água. Daí ser fundamental conhecer o arranjo institucional usado como parâmetro de gestão dos recursos hídricos no MERCOSUL, pois os países em que essa água está disponível integram esse bloco de países (RIBEIRO, 2008).

### 2.1.1 - Áreas de recarga do Aquífero Guarani

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado do Paraná abrange cerca de 2.150 km<sup>2</sup>, distribuída ao longo de uma faixa estreita, a oeste de Curitiba, com disposição de norte a sul (GOMES et al., 2006). Os municípios mais importantes localizados nessas áreas são Jacarezinho, Santo Antônio da Platina, Cândido de Abreu, Ortigueira, Ivaiporã, Pitanga, Guarapuava, e União da Vitória.

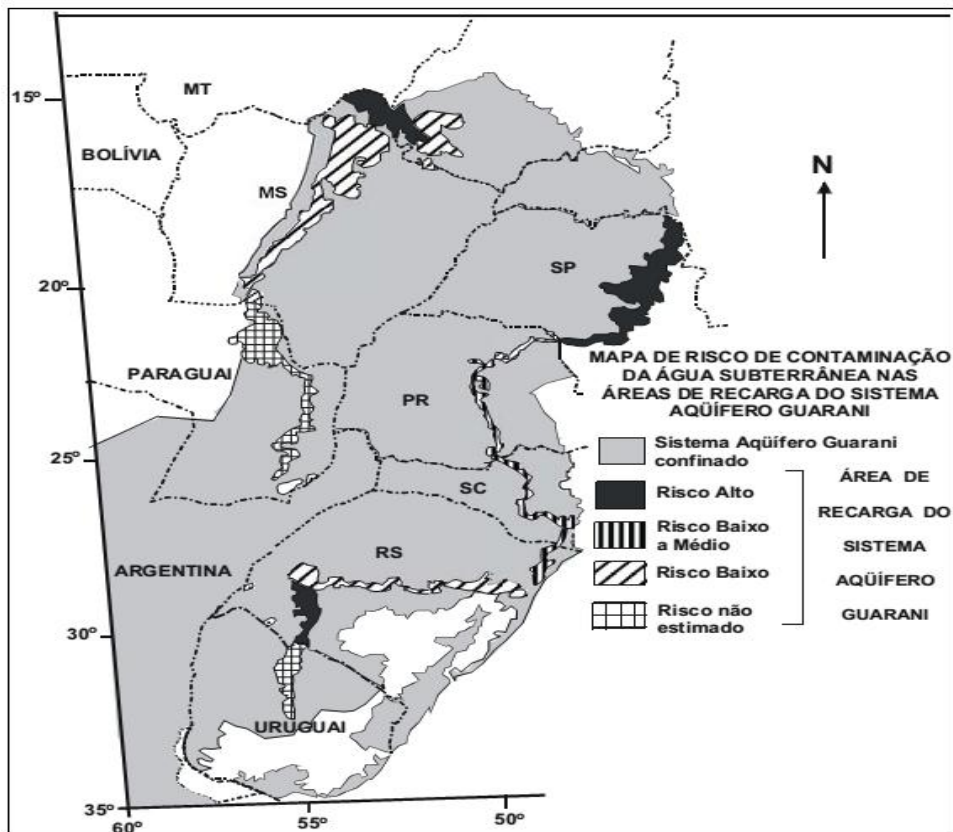
A área de recarga do aquífero no Paraná foi dividida em faixa centro-norte e faixa centro-sul, integrantes do Médio Planalto Paranaense (Figura 1), em razão da existência de duas condições predominantes de uso agrícola e uma pequena variação climática, principalmente a precipitação (ARAUJO et al., 1995)..



**Figura 1** - Localização do Aquífero Guarani no Brasil, com delimitação das áreas de recarga e os usos sobre estas áreas (ARAUJO et al., 1995).

### 2.1.2 - Classificação do risco de contaminação do SAG

Araújo et. al (1995), levantou informações agrícolas sobre o uso do solo identificando as culturas pela utilização de defensivos agrícolas, como a cana de açúcar, soja e o milho. Utilizaram os dados de precipitação e temperatura como fatores interferentes no processo de deslocamento da água com os contaminantes e dejetos no perfil do solo. Com a compilação dessas informações foi elaborado um mapa de risco de contaminação do aquífero. A região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná foi caracterizada na classe de risco de contaminação de baixo a médio, conforme se observa na figura 2.



**Figura 2** - Risco de contaminação das áreas de recarga do SAG. (ARAUJO et al., 1995).

## 2.2 - A legislação ambiental e as áreas de APP

A legislação ambiental brasileira contempla inúmeros dispositivos visando a preservação do meio ambiente, dentre eles: Constituição Federal, Código Florestal, Lei de Crimes Ambientais, Política Nacional de Meio Ambiente, dentre outras (LOUZADA, 2010).

A Lei 12.561 de 25 de maio de 2012, que instituiu o Novo Código Florestal, estabelece em seu artº --- que Áreas de Preservação Permanente (APP's) “são aquelas que devem ser mantidas intactas pelo proprietário ou possuidor de imóvel rural, independentemente de qualquer outra providência ou condição” e destinam-se “em virtude da sua natural função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

Antes de sua promulgação, os critérios que caracterizavam as APP's eram definidos na Lei nº. 4.771 de 15 de setembro de 1965 (antigo Código Florestal) e nas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente. O que se percebe, ao comparar os Códigos Florestais de 1965 e o de 2012 é que, neste último, houve ajustes não contemplados anteriormente, indicando desta forma que houve mudanças significativas em prol da preservação do meio ambiente (NUNES, 2013).

As áreas de preservação permanente (APP), ao longo dos cursos d'água eram faixas determinadas unicamente com base na largura do leito, enquanto que, no novo código, a largura dessas faixas marginais varia de acordo com o número de módulos fiscais.

## **2.3 - O processo de erosão**

A ação conjunta da gravidade, água, vento, gelo e ou organismos sobre o solo gera a erosão, que pode ser descrita como o processo de desagregação e arraste em grande escala das partículas ocasionando perda constante das camadas superficiais (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Os processos erosivos ocorrem naturalmente, de forma lenta e gradual, mas são intensificados em virtude das ações antrópicas, tais como desmatamentos, atividades agropecuárias e manejo inadequado do solo (NUNES et al., 2011).

No Brasil a chuva é o principal agente da erosão, pelo fato das gotas de água agirem desestruturando o solo que, conseqüentemente, é carregado pela enxurrada e depositado nas baixadas ou em meios hídricos, como rios, lagos e nascentes. No entanto, associado a isto, existem outros fatores, tais como: grau de infiltração de água no solo; natureza do solo; cobertura vegetal e declividade do terreno.

Segundo Chagas et al., (2011) a fragilidade ambiental das terras é entendida como risco potencial de degradação do ambiente natural, relacionada à erosão do solo, pode ser estimada com base nos resultados do potencial natural de erosão (PNE), que é parte da equação desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), a Universal Soil Loss Equation (USLE) que traduzida para a língua portuguesa denomina-se equação universal de perda de solo (EUPS).

### **2.3.1. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**

Wischmeier e Smith (1978) desenvolveram a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) permitindo guiar de forma sistemática o planejamento de processos que envolvem a conservação do solo e do meio ambiente dependente dele.

Devido à importância e a facilidade da EUPS inúmeras pesquisas a utilizam, pois pela sua flexibilidade abrange especificidades regionais de clima, topografia e pedologia associadas ao uso do solo. É um modelo empírico que integra dados de campo, para o cálculo da erosão hídrica superficial do tipo laminar, em números anuais (SILVA e CRESTANA, 2004).

A EUPS é dada pela multiplicação de diferentes fatores (Equação 1) que estimam a capacidade de determinado solo perder material devido a ação da erosão hídrica.

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

Em que:

**A** = perda de solo por unidade de área e de tempo ( $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ )

**R** = fator de erosividade da chuva ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ )

**K** = fator erodibilidade do solo ( $Mg\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ )

**LS** = fator topográfico (adimensional)

**C** = fator preparo e cobertura do solo (adimensional)

**P** = fator práticas conservacionistas (adimensional)

### 2.3.1.1 - Erosividade da chuva (Fator R)

A intensidade do desenvolvimento de processos erosivos está diretamente relacionada à dinâmica climática de uma região. Bertoni e Lombardi Neto, (2010) afirmaram que, o fator chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção, analisando, o fator erosividade da chuva (R), expresso em  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ , consiste na capacidade da chuva em produzir erosão, sendo as unidades MJ (mega joule), mm (milímetro), ha (hectare) e h (hora).

O valor do fator erosividade da chuva (R) é estimado utilizando-se dados coletados por meio de pluviômetros e indica o potencial da chuva de gerar erosão em área sem proteção que pode ser obtido a partir da equação 2, proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2010):

$$EI = 67,355 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85}$$

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_j \quad \dots\dots\dots(2)$$

Em que:

**EI** = média mensal do índice de erosividade (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)

**R** = fator de erosividade da chuva (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>);

**r** = precipitação média mensal (mm);

**P** = precipitação média anual (mm).

### 2.3.1.2 - Erodibilidade do solo (Fator K)

O fator de erodibilidade do solo representa a susceptibilidade do solo à erosão. Para a estimativa deste índice é necessário o conhecimento dos valores de textura, de densidade aparente, da porosidade, do teor de matéria orgânica, do teor e estabilidade dos agregados e do pH (GUERRA e CUNHA, 2003).

A desagregação do solo está diretamente ligada à resistência à erosão hídrica. Salomão (2005) afirma que as águas das chuvas se infiltram mais facilmente em solos arenosos porém, devido a pequena proporção de argila, a ligação entre as partículas é reduzida, o que facilita o seu deslocamento nas enxurradas.

Outra metodologia clássica é a obtenção do fator de erodibilidade (K) por meio da análise textural, que pode ser efetuada basicamente por dois métodos: o Método da Pipeta (mais utilizado) que é especialmente indicado para a determinação da argila, podendo determinar também a fração silte e o Método do Densímetro, conhecido também como método do hidrômetro, que foi proposto por Bouyoucos (1927). É mais rápido porém, menos preciso e se baseia no princípio de que a matéria em suspensão (silte e argila) confere determinada densidade ao líquido. Com a ajuda de um densímetro, Bouyoucos relacionou as densidades com o tempo de leitura e com a temperatura, calculando a porcentagem das partículas. As frações de areia, silte e argila, são aplicadas na equação 3, obtendo-se o fator k.

$$K = ((A+S)/(a)/100)).....(3)$$

Em que:

**K** = fator erodibilidade do solo (Mg ha<sup>-1</sup> MJ mm)

**A** = porção de areia (%)

**S** = porção de silte (%)

**a** = porção de argila (%)

### 2.3.1.3 - Comprimento e declividade da rampa (Fator LS)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010) o fator (LS) é “a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25 m de comprimento com 9% de declive”.

O comprimento e declividade de rampa (LS) tem a função de contribuir em maior ou menor grau para o aumento da energia potencial no carregamento das partículas do solo. Quanto maior a inclinação do terreno, maior será a velocidade do escoamento, enquanto que o fluxo pode ser reduzido pela rugosidade da superfície. Declividade e comprimento de rampa podem ser considerados de forma conjunta ao associarem-se por meio do fator LS. Embora seja um valor adimensional, representam a capacidade de escoamento superficial que uma chuva pode ocasionar a um solo influenciado pelo declive. Para determinação do fator (LS) pode ser usada a equação 4, proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2010).

$$LS=0,00984.L^{0,63}.D^{1,18}.....(4)$$

Em que:

**LS** = fator topográfico (adimensional)

**L** = Comprimento da rampa (m)

**D** = declividade (%)

#### **2.3.1.4 - Uso, manejo do solo e práticas conservacionistas (Fator CP)**

A cobertura do terreno interfere diretamente na redução do impacto das gotas de chuva no solo, e constitui a proteção do terreno contra os processos erosivos. As práticas agrícolas, em geral, aumentam a susceptibilidade do solo à erosão, entretanto, os níveis são diferenciados quanto ao cultivo e o manejo utilizado.

Espera-se que a cobertura de floresta nativa, apresente o maior índice de proteção do solo contra o impacto da chuva e transporte de partículas, porém alguns cultivos como pastagens bem manejadas também apresenta alto potencial de proteção do solo à erosão hídrica.

O fator C e P, de cobertura e uso expressa a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. O fator Práticas conservacionistas (P) “é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo por erosão, com determinada prática conservacionista”. (SALOMÃO, 2005).

#### **2.4 - Avaliação da aptidão agrícola das terras**

Sistemas de avaliação do potencial agrícola das terras, como o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras - SAAAT (FAO, 1976; RAMALHO FILHO e BEEK, 1995) ou o de Capacidade de Uso das Terras (modificado no Brasil por LEPSCH, 1991), vem sendo adaptados para regiões específicas e inseridos em programas de computação para que se obtenham indicadores de uso da terra parametrizados (DE LA ROSA, 2005; CHAGAS et al., 2006). Permitindo a criação de interfaces com ambientes SIG (GARCIA et al., 2005; LIU et al., 2006; RESHMIDEVI et al., 2009), a fim de facilitar o processo de obtenção dessas avaliações.

Podem ocorrer algumas modificações nas metodologias citadas anteriormente de modo a adaptar esses sistemas de avaliação do potencial de uso da terra para certas especificidades ou regiões (STRECK, 1992; HESSELN, 1997). Seleciona-se indicadores mais eficientes para a área a ser estudada, podendo realizar a inclusão de novos atributos que possam contribuir para avaliação mais detalhada (PEREIRA, 2002).

O resultado desses estudos normalmente consistem em uma espacialização do potencial de uso dos solos (PEREIRA e LOMBARDI NETO, 2004) ou na comparação da distribuição espacial do uso atual das terras com a indicação de sua aptidão agrícola (BARROS et al., 2004), o que resulta nos mapas de conflito de uso do solo (QUAN et al., 2007; CHAVES et al., 2010).

A utilização dos SIGs, vieram a facilitar a organização desses fatores, por meio dos bancos de dados, para realizar o cruzamento e ponderação de modo a agilizar o processamento dos dados e evitar a subjetividade por parte do pesquisador, fazendo com que o resultado final não sofra influência devido ao conhecimento prévio da área de estudo por parte do mesmo.

Delarmelinda, et. al. (2011) realizaram um estudo no qual seis pesquisadores realizaram a avaliação da aptidão agrícola de 10 perfis de solo, cada pesquisador com a sua metodologia, todos com base no Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras – SAAAT (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995). Avaliou, para solos no Estado do Acre, como diferentes especialistas percebem a importância relativa dos indicadores de um sistema de aptidão agrícola e como eles interpretam esses atributos para a definição das diferentes classes de aptidão.

#### **2.4.1 - Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT)**

A primeira versão proposta por Bennema et al. (1965) para a interpretação de levantamentos de solos, com o intuito de tornar acessível uma interpretação prática das características dos solos para avaliações da utilização agrícola. O SAAAT foi atualizado posteriormente, tendo sua última versão publicada por Ramalho Filho e Beek (1995).

Segundo Resende et al. (2007) o SAAAT tem como modelo ideal de terras, solos sem deficiência de fertilidade, de água e de oxigênio, além da ausência de suscetibilidade à erosão e impedimentos ao uso de mecanização. Nessa metodologia são considerados três diferentes níveis de manejo das terras de acordo com a disponibilidade de recursos para a produção agrícola:

a) Manejo primitivo (Nível A) - o produtor não utiliza qualquer tipo de recurso que seja adquirido fora da propriedade, utilizando somente o esforço braçal ou

tração animal para o cultivo, sem a utilização de adubação ou correção do solo (típico de agricultura de subsistência);

b) Manejo intermediário (Nível B) - há um investimento para a produção, utilizando-se de adubações com macronutrientes, técnicas simples de conservação do solo, sementes melhoradas geneticamente e preparo do solo com aração e uso de grade ou utilização de plantio direto;

c) Manejo avançado (Nível C) - há um grande investimento na produção, com utilização de técnicas mais sofisticadas de conservação do solo, utilização de sementes de ótima qualidade, adubações com macro e micronutrientes e mecanização em diversas etapas do processo de produção.

Consideram-se seis grupos de aptidão, que constituem os distintos sistemas de cultivo ou uso:

- a) Grupo 1, 2 e 3: culturas anuais, perenes e semi-perenes;
- b) Grupo 4: pastagem plantada;
- c) Grupo 5: silvicultura e, ou, pastagem natural;
- d) Grupo 6: áreas sem aptidão agrícola que devem ser destinadas a preservação da flora e fauna.

A avaliação da aptidão agrícola é feita a partir da análise de fatores limitantes, que são: deficiência de fertilidade, de água e de oxigênio (excesso de água ou inundação); suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização; sendo atribuídos a eles graus de limitação (nulo, ligeiro, moderado, forte, muito forte e extremamente forte).

Além disso, a metodologia propõe viabilidade do melhoramento na determinação dos graus de limitação, de acordo com o nível de manejo empregado.

A partir da identificação dos graus de limitação é possível determinar o subgrupo ou classe de aptidão (boa, regular, restrita ou inapta) para cada nível de manejo (A, B ou C), e o grupo (1 a 6) é determinado pelo melhor nível de manejo e tipo de uso em que se enquadra o solo de determinada região de estudo.

O SAAAT é usualmente utilizado em alguns trabalhos de zoneamento ecológico econômico seja para avaliação do uso da terra tanto para culturas específicas, como realizado por Carvalho et al. (2008) no qual foi realizado o zoneamento para cana-de-açúcar e eucalipto no estado de Minas Gerais, como para todos os tipos de cultivo considerados na metodologia, observado no zoneamento realizado por Naime et al. (2002) para a região do Distrito Federal e entorno.

Alguns trabalhos utilizam a metodologia do SAAAT adaptando-a ao ambiente estudado como proposto por Gomes et al. (2005) que avaliaram a aptidão de terras, em sua maioria de terreno ondulado, para reflorestamento no estado do Rio de Janeiro. Na metodologia dos autores, foram excluídos indicadores que não seriam relevantes nas características particulares da região de estudo, fatores como deficiência de oxigênio e deficiência de água, esse último atribuído à vegetação, por não apresentarem variações no ambiente estudado.

A associação do SAAAT aos sistemas de informação geográfica é frequente nos trabalhos, como o realizado por Chaves et al. (2010) na avaliação das potencialidades de uso da terra unicamente para o nível de manejo B no Distrito Federal. Já Pedron et al. (2006) utilizaram a metodologia para determinação de mapas de conflito do uso da terra no estado do Rio Grande do Sul, bem como identificação de áreas de preservação permanente, evidenciando o uso da metodologia para identificar adequabilidade e ou compatibilidade de uso da terra.

Silva et al. (2010) utilizaram o SAAAT associado a um sistema de informação geográfica no estado de Santa Catarina gerando mapas que sobrepostos possibilitaram a identificação de áreas com uso satisfatório a adequado, superutilizadas, subutilizadas e áreas de conflito ambiental (uso inadequado). Os autores ressaltam que o uso do sistema de informação geográfica contribui na redução de tempo de trabalho e da subjetividade nas avaliações. Esses trabalhos tem demonstrado o potencial de uso do SAAAT como ferramentas informatizadas para análises do uso da terra.

## **2.5 - Geoprocessamento**

A função de um sistema de geoprocessamento é a estocagem de dados referenciados geograficamente, que ao serem processados resultam em mapas, relatórios e diversos outros arquivos digitais. Este banco de dados uma vez fomentado pode servir futuramente para outras análises ou pesquisas (DAINESE, 2001).

As geotecnologias são ferramentas e mecanismos facilitadores na mensuração de impactos causados ao meio ambiente e principalmente ao solo,

como por exemplo, na obtenção do potencial natural de erosão (PNE) e da equação universal de perda de solo (EUPS).

Lemos (2010) utilizou a linguagem espacial de geoprocessamento algébrico (LEGAL) para a determinação da fragilidade dos solos, demonstraram resultados satisfatórios com a utilização desse método.

A definição mais atual de Sensoriamento remoto pode ser expressa como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

Dados de sensores remotos, tais como fotografias aéreas e imagens de satélite, aliados às técnicas de geoprocessamento, permitem vários tratamentos possibilitando a obtenção de resultados em diferentes escalas. Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode estabelecer uma melhor compreensão das relações entre os objetos da paisagem, além de permitir a geração de um banco de dados codificado espacialmente e ajustes por cruzamento simultâneo de grande número de informações (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Além de ser a principal fonte de energia para a vida no planeta Terra, a radiação solar participa de todos os processos físico-químicos e biológicos, também é fonte de energia para os sensores passivos em sensoriamento remoto (MOREIRA, 2001).

Conforme Noguchi (2004) a radiação eletromagnética é a energia utilizada no sensoriamento remoto, havendo a associação dessa energia a flutuações na forma de ondas que viajem através do espaço em uma velocidade constante (velocidade da luz), abrangendo um campo elétrico e magnético associados em um modelo de onda harmônico e senoidal. A onda é caracterizada somente pela sua frequência e comprimento, já que o terceiro fator que é a velocidade se trata de uma constante.

A superfície terrestre em suas variadas formas e composições, como a vegetação, a água e o solo reflete, absorve e transmite radiação eletromagnética em proporções diferentes de comprimento de onda, de acordo com as suas características físicas, químicas e biológicas (FLOREZANO, 2002). Devido a esse

fato é possível representar a energia refletida pelos objetos através de curvas, possibilitando a identificação e distinção destes objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos.

Diferentemente da vegetação, os fatores que influenciam a reflectância do solo atuam sobre faixas espectrais menos específicas. Esses fatores são mais complexos, variáveis e relacionados, sendo: umidade, textura do solo (proporção de areia, silte e argila), estrutura, presença ou não de óxido de ferro e concentração de matéria orgânica (MOREIRA, 2001).

Considerando a reflectância espectral na água, acontece a absorção de energia do comprimento de onda do infravermelho próximo, facilitando a identificação e localização desse elemento na superfície terrestre por meio de dados de sensores remotos (NOGUCHI, 2004).

Segundo Novo (2010), “a transmitância da água é muito alta e variável, o que faz com que a energia emergente do volume de água integre informações relativas a diferentes profundidades para um mesmo corpo de água”.

Em países de grandes dimensões esses sistemas são de extrema importância na aquisição e processamento de informações para tomadas de decisões, seja para fins infraestruturais, como criação de rodovias ou portos, ou para fins ambientais, sendo uma tecnologia de baixo custo de implantação e operacional.

Eastman (1998) definiu o SIG como um sistema auxiliado por computador para a aquisição, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos.

Comumente os SIGs são utilizados nos estudos de âmbito agrário e ambiental. Câmara e Medeiros (1998) indicaram como principais características a capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos e censitários, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno e de oferecer mecanismos para combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados Georreferenciados.

Desta forma, o uso das geotecnologias para o monitoramento e planejamento do uso sustentável dos recursos naturais tem se difundido e facilitando o desenvolvimento de estudos ambientais. A tecnologia existente na atualidade permite o uso de ferramentas e produtos capazes de facilitar o levantamento, mapeamento e análise dos recursos naturais existentes (SILVA e OLIVEIRA, 2009).

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. **Aquífero do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: mapas hidrológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó.** Curitiba: UTFPR/Petrobras, 1995. 16 p.

BARROS, Z X. et al. Estudo da adequação do uso do solo, no município de Maringá - PR, utilizando-se de geoprocessamento. **Eng. Agrícola.**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 436-444, mai/ago. 2004.

BENNEMA, J.; BEEK, K. J. CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1965. 50 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 8. ed. São Paulo: Icone, 2010. 360 p.

BORGUETTI, N. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul.** Curitiba: Imprensa oficial, 2004.

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v. 23, p. 343-353, 1927.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15, set, 2013.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações: Aplicações na agricultura.** São José dos Campos: EMBRAPA-CPAC, 1998.

CARVALHO, L. G. de; MELLO, C. R. de; ALVES, M. de C.; CURI, N.; MARQUES, A. F. S. e M.; CARVALHO, L. M. T. de; MARQUES, J. J. G. Zoneamento da cana-de-açúcar e do eucalipto: aspectos geofísicos e bióticos. In: SCOLFORO, J. R. S; OLIVEIRA, A. D. de; TAVARES, L. M. (Org). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamentos e cenários exploratórios.** Lavras: UFLA, 2008.

CHAGAS, C. da S. et al. **Zoneamento Agroecológico do município de Dois Irmãos do Buriti – MS**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011.

CHAGAS, C. da S. et al. Aplicação de um sistema automatizado (ALES - Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, Oeste Catarinense, para o cultivo de grãos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p. 509-522, 2006.

CHANG, H. K. Uso Atual e Potencial do Aquífero Guarani – Brasil. In: ARGENTINA/BRASIL/PARAGUAI/URUGUAI/GEF/BANCO/MUNDIAL/OEA. rotação ambiental e gerenciamento sustentável integrado do Aquífero guarani. Atividade 3b: relatório final. Brasil, 2001. 54p.

CHAVES, A.A. et al. Uso das terras da parte norte da bacia do rio descoberto, Distrito Federal. **Bragantia**, Campinas. v. 69, p. 711-718, 2010.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não supervisionada e análise visual**. 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) UNESP, Botucatu, 2001.

DE LA ROSA, D. Soil quality evaluation and monitoring based on land evaluation. **Land Degrad. Develop.**, v. 6, p.551-559, 2005.

DELARME LINDA, E. A. et al. Avaliação da aptidão agrícola de solos do Acre por diferentes especialistas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, viçosa, v.35, n.6, p. 1841-1853, 2011.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows. Manual do usuário**. Tradução de E Weber. Porto Alegre: UFRGS - Centro de recursos Idrisi, 1998.

FAO. **A framework for land evaluation**. Rome, 1976. 72p. (FAO. Soils Bulletin, 32).

FLOREZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. **Oficina de textos**, São Paulo, 2002. 97 p.

GARCIA, J. G. **Sensoriamento remoto - princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982. 357 p.

GARCIA, G.J.; ANTONELLO, S.L.; MAGALHÃES, M.G.M. Nova versão do sistema de avaliação de terras – SIAT. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, p. 516-529, 2005.

GOMES, J. B. V. et al. Aptidão para reflorestamento das sub-bacias dos canais do mangue e do cunha, município do rio de janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, maio/junho, p.459-466, 2005.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. Classificação das áreas de recarga do sistema aquífero guarani no Brasil em domínios pedomorfoagroclicmáticos - subsídios aos estudos de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. **Revista do departamento de geografia**, São Paulo, n. 18, p. 67-74, 2006.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4 ed, 2003, 396 p.

HESSELN, N.E. **Levantamento de solos e avaliação da aptidão de uso das terras do Assentamento Capela (Nova Santa Rita/RS)**. 1997. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

HIRATA, R. et al. Modelo Conceitual e Funcionalidades do Sistema Aquífero Guarani. In: II CONGRESSO AQUÍFERO GUARANI/WORKSHOPS. Memória... Ribeirão Preto: IG – Instituto Geológico de São Paulo. LEBAC/UNESP, p. 29-32, 2008.

LEMOS, C.F. **Evolução Da Erosão Na Bacia Hidrográfica Do Alto Curso Do Rio Pitangui - Pr**. 2010. 226 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LEPSCH, I.F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Campinas, 1991. 175 p.

LIU, Y.S.; WANG, J.Y. & GUO, L.Y. GIS-bases assessment of land suitability for optimal allocation in the Qinling Mountains. **Pedosphere**, China, v. 16 p. 579-586, 2006.

LOUZADA, F. L. R. de O. **Proposta de corredores ecológicos para interligação dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, ES, utilizando geotecnologias.** 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - UFES, Jerônimo Monteiro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

NAIME, U. J. et al. **Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras da Zona Campos das Vertentes-MG.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 58 p.

NOGUCHI, M.T.G. **Um sistema baseado em regras fuzzy para classificação supervisionada de imagens multiespectrais de alta resolução.** 2004. 150 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

NUNES, A. N.; ALMEIDA, A. C.; COELHO, C. O. A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. **Applied Geography**, v.31. p. 687-699, 2011.

NUNES, A.R. **Confronto do uso e ocupação da terra em app's e Estimativa de perda de solo na bacia hidrográfica Do rio alegre.** 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Agrárias) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

PEDRON, F. de A. et al. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.1, p. 105-112, 2006.

PEREIRA, L.C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: Proposta metodológica.** Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36p. (Documentos, 43).

PEREIRA, L.C. **Avaliação da aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: Proposta metodológica.** 2002. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

QUAN, B. et al. Land suitability assessment and land use change in Fujian Province, **Pedosphere**, China, v. 17, n. 493-504, 2007.

RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1995. 65p.

REBOUÇAS, A. D. C. **Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná: análise de pre-viabilidade**. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1976. 143 p.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. G. **Pedologia: base para distinção de ambientes**, 5.ed. Lavras:UFLA, 2007. 322 p.

RESHMIDEVI, T.V.; ELDHO, T.I.; JANA, R.A. GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. **Agric. Syst.**, v. 101, p. 101-109, 2009.

RIBEIRO, W. C. A. Ordem ambiental internacional. In: \_\_\_\_\_. **Geografia política da água**. São Paulo: Annablume, 2008. 347p.

ROCHA, G. A. da. O grande manancial do cone sul. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 30, n. 11, p. 191-212, 1997.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T. **Erosão e conservação do solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

SILVA, E. B. da; NOGUEIRA, R. M.; UBERTI, A. A. A. Avaliação da aptidão agrícola das terras como subsídio ao assentamento de famílias rurais, utilizando sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1977-1990, 2010.

SILVA, F. G. B.; CRESTANA, S. Reunião de modelos e formulações para análise de erosão de solos em bacias hidrográficas voltados ao planejamento ambiental. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; WENDLAND, E. **Bacias hidrográficas: diversas abordagens em pesquisas**. São Carlos: RiMa, 2004, p. 294.

SILVA, K. D. S.; OLIVEIRA, D. Mapeamento de anomalias de drenagem: indícios de controle litológico e estrutural na bacia hidrográfica do Cotia, em Cotia – SP, Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, Curitiba, v. 2, p. 76-83, 2009.

STRECK, E.V. **Levantamento de solos e avaliação do potencial de uso agrícola das terras da microbacia do Lajeado Atafona (Santo Angelo/RS)**. 1992. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rain fall-erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, Washington USDA, p. 58-537, 1978.

### 3 - ARTIGO A

ANDRADE, Daniel. Campanelli. **Estimativa do potencial natural de erosão em área de recarga do Aquífero Guarani**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

#### Resumo

O potencial natural de erosão (PNE) pode ser adotado para determinar a quantidade de solo que poderia ser perdida por erosão hídrica. O objetivo do trabalho foi estimar o potencial natural de erosão (PNE), em seis microbacias ao longo da área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), inseridas na bacia do Rio das Cinzas, situada no Norte Pioneiro do Paraná. Foi realizado com uso de geotecnologias, por meio da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). Os resultados demonstraram que o potencial de perda de solo médio nas microbacias foi de 1.887,11 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A microbacia no município de Jacarezinho foi a que teve o maior percentual de área na classe de PNE muito alta, ocupando 83,1% de seu território e a microbacia de Santo Antônio da Platina, apresentou os menores percentuais de área com grandes perdas de solo, com 41% de sua área na classe muito baixa, 26% na classe baixa, 13% em moderado, 7% na classe alta e 13% em muito alta. Em geral, os solos da área de recarga do SAG apresentam fragilidade acentuada e alta susceptibilidade a erosão.

**Palavras Chaves:** perda de solo, potencial erosivo, PNE, USLE, SIG

ANDRADE, Daniel. Campanelli. **Estimation of natural erosion potential in the recharge area of the Guarani Aquifer**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

### **Abstract**

The erosion's natural potential (PNE) may be adopted to determine the quantity of soil that could be lost because of water erosion in a region. The aim of the essay was to estimate the erosion's natural potential (PNE) in six watersheds throughout the recharging area of the Guarani Aquifer System (SAG), inserted on the watershed of Rio das Cinzas, located in Norte Pioneiro Paraná. It was accomplished, using geotechnologies, through the Spatial Language for Algebraic Geoprocessing (LEGAL). The results demonstrated that the potential of medium soil loss in watershed was 1.887,11 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The watershed in the city of Jacarezinho presented the highest percentage of area in the class of PNE very high, taking 79,03% of its territory. The watershed of Santo Antonio da Platina presented the lowest percentages in the area with great soil losses, with 41,42% of its area in the very low class, 26,86% in the low class, 12,82% in moderate, 7,02% in the high class and 12,88% in very high. In general, the recharging area soils of the SAG presented fragility and high susceptibility to erosion.

**Key words:** soil loss, erosion potential, ENP, USLE, GIS

### 3.1. Introdução

Um dos problemas ambientais na agricultura é a erosão, que pode causar declínio dos rendimentos das culturas, aumento dos custos de produção e consequente diminuição da lucratividade da lavoura, comprometendo a sustentabilidade.

A erosão hídrica é a forma mais significativa de erosão no Brasil (DECHEN et al., 2004). A energia cinética das gotas de chuva geram intensas forças de pressão e cisalhamento, deslocando grandes quantidades de partículas do solo, no ponto de impacto. Segundo Mota (1981), o desenvolvimento da erosão hídrica, se dá basicamente através de dois processos distintos: redução dos agregados a finas partículas e o transporte do solo a locais distantes do local de origem.

A erosão é a principal causa do empobrecimento precoce das terras produtivas, visto que as enxurradas, provenientes das águas que não foram retidas ou infiltradas no solo, transportam partículas em suspensão e nutrientes necessários às plantas. (ARAGÃO et al., 2011).

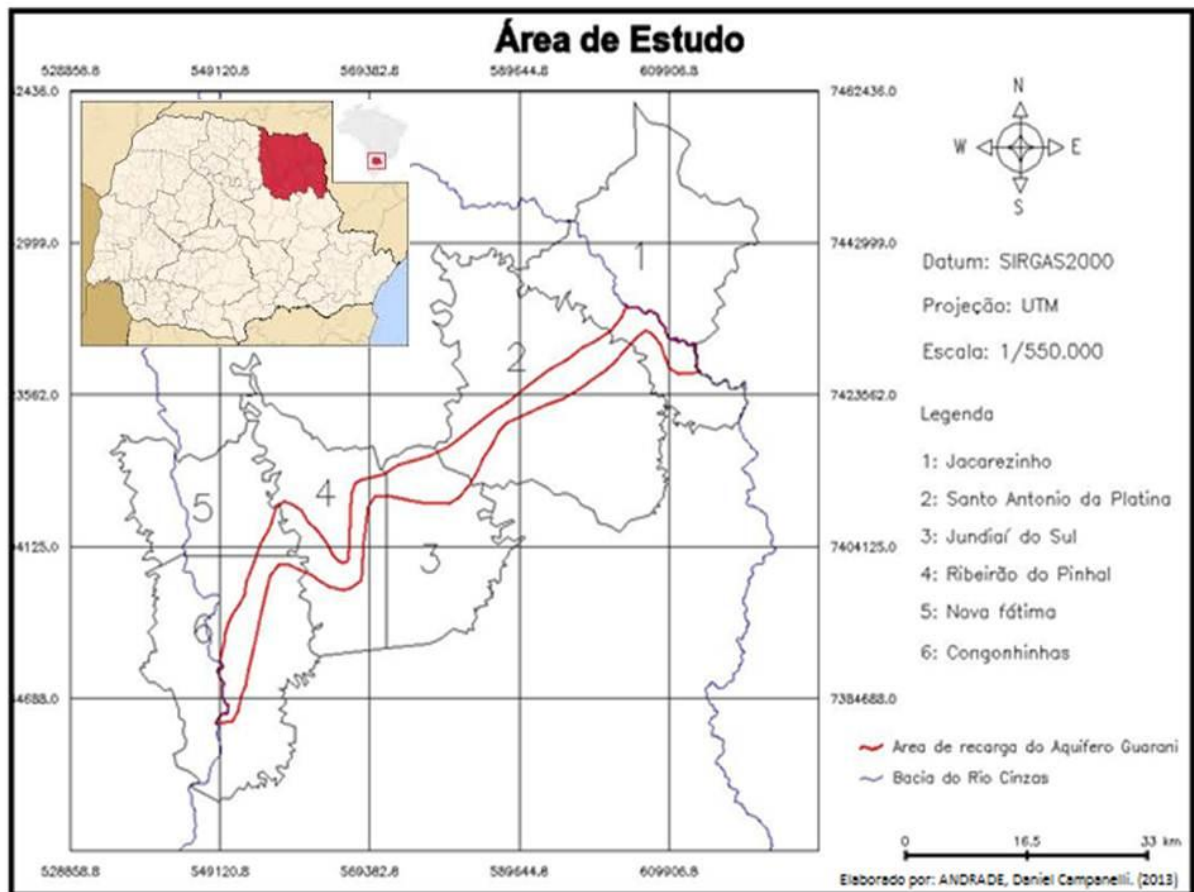
A elaboração de mapas temáticos pelos métodos tradicionais, com base em informações sobre as características fisiográficas das microbacias, obtidas em campo, em sua maioria, é tarefa difícil, morosa e trabalhosa. As técnicas de sensoriamento remoto e o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) facilitam a execução de tais trabalhos (REIS, 2011).

A aplicação de equações de perda de solo em escala municipal ou em microbacia são importantes para predição de perdas de solos, possibilitando a delimitação de áreas com maior susceptibilidade a erosão sendo possível realizar a adequação do uso e ocupação do solo evitando sua degradação e possíveis impactos ao meio ambiente, planejando o uso adequado do recurso solo.

O objetivo foi, estimar o potencial natural de erosão (PNE) nas microbacias ao longo da área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, a fim de constatar a fragilidade do solo à erosão hídrica.

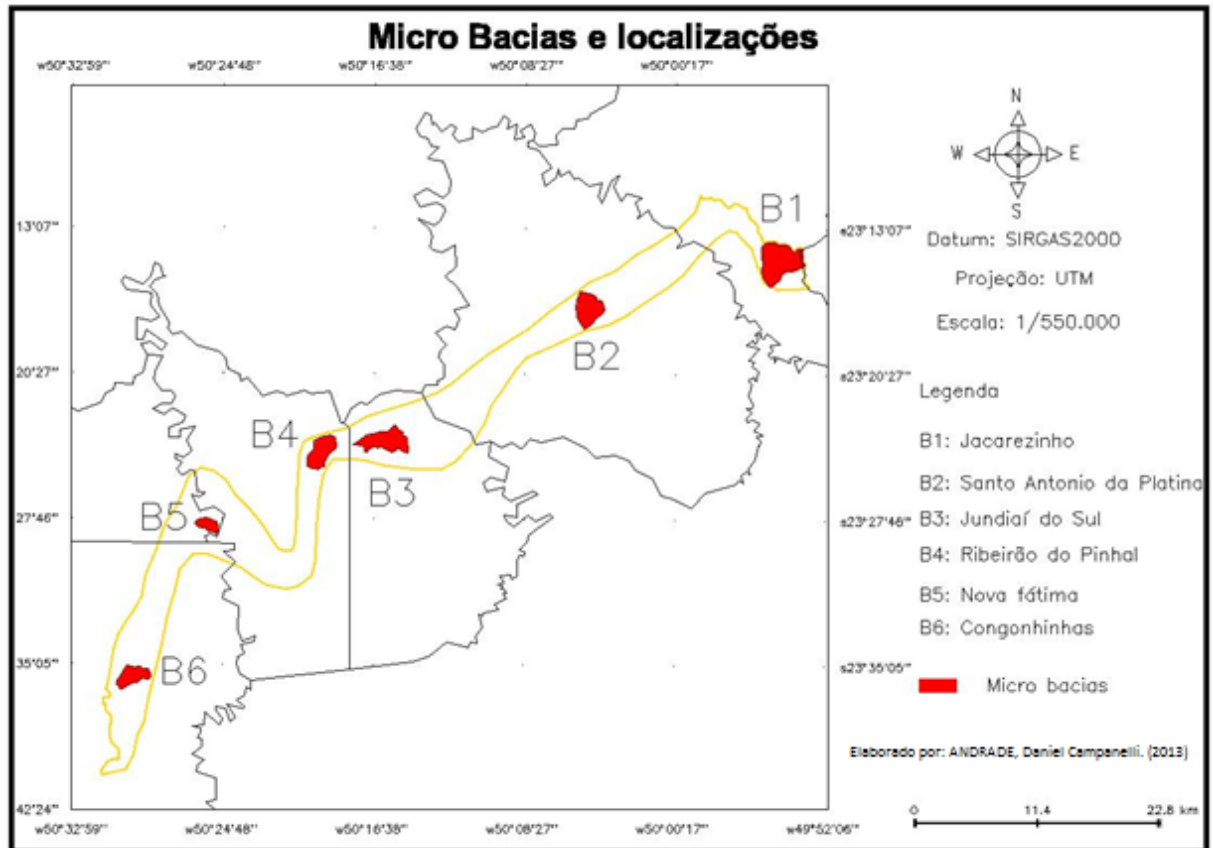
### 3.2. Material e métodos

O estudo está localizado na área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, entre as coordenadas 24° 00' 28" S, 51° 00' 01" W e 22° 53' 03" S, 49° 29' 19" W, na região do Norte Pioneiro do Paraná, abrange parte dos municípios de Jacarezinho, Santo Antônio da Platina, Jundiáí do Sul, Ribeirão do Pinhal, Nova Fátima e Congonhinhas. Cujas a área total de recarga é de 36.524,84 hectares (Figura 3). O clima da região é classificado como Cfa (subtropical) com verões quentes e chuvosos e baixa frequência de geadas. A região apresenta precipitação média anual em torno de 1600 a 1800 mm e umidade relativa do ar entre 75 e 80% (CAVIGLIONE et al., 2010).



**Figura 3** - Localização e espacialização da área de estudo.

Foram selecionadas seis microbacias, uma por município, procurando propiciar áreas amostrais em todas as partes da região de estudo, que somadas possuem área de 3.397,79 hectares, identificadas pelas seguintes abreviações: B1 (Jacarezinho), B2 (Santo Antônio da Platina), B3 (Jundiá do Sul), B4 (Ribeirão do Pinhal), a B5 (Nova Fátima) e B6 (Congonhinhas) (Figura 4).



**Figura 4** - Distribuição das microbacias ao longo da área de recarga do SAG.

O mapa de estimativa do potencial erosivo foi calculado com base na USLE proposto por Wischmeier & Smith (1978), tendo os fatores de cobertura (C) e práticas culturais (P) maximizados, ou seja, igual a unidade (=1), representados na equação 5

$$\text{PNE} = \text{R.K(L.S)}.1\text{.....(5)}$$

Em que:

**PNE** = Potencial natural de erosão ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

**R** = fator erosividade da chuva ( $\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

**K** = fator erodibilidade do solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ Mj mm}^{-1}$ );

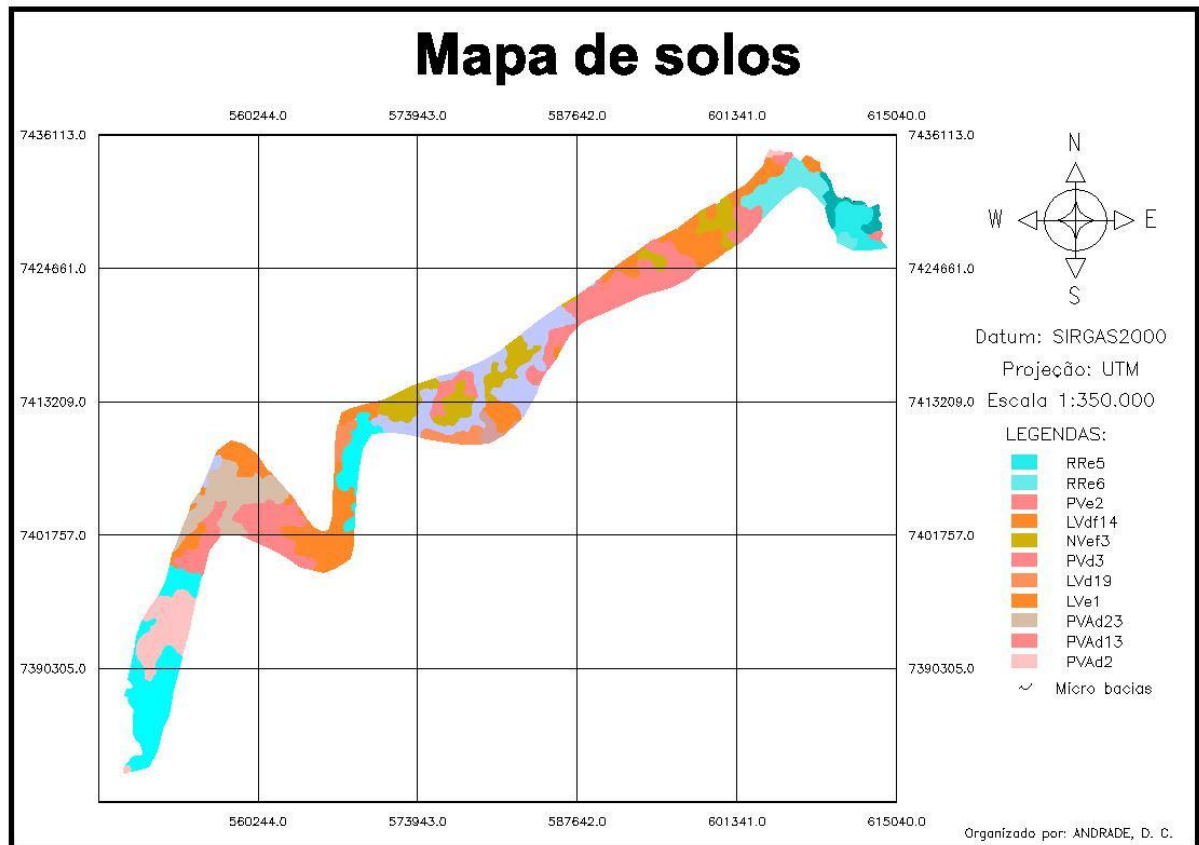
**L** = fator comprimento da rampa (m);

**S** = fator declividade (%).

As classes adotadas foram: muito baixo ( $< 250 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), baixo ( $250 - 500 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), moderado ( $500 - 750 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), alto ( $750 - 1000 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e muito alto ( $> 1000 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), conforme Lagrotti (2000).

A erosividade (R), expressa a capacidade da chuva em provocar erosão em uma área de solo sem proteção (Alves, 2000). O fator (R) foi extraído do trabalho realizado por Waltrick (2010), adotando a média de  $7000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a região do estudo.

Para o levantamento dos dados referentes a erodibilidade (Fator K) foi utilizado o mapa de solos do Estado do Paraná, com escala 1:600.000, cujos dados foram digitalizados e vetorizados a fim de criar o mapa de solos da área do estudo (Figura 5).



**Figura 5 - Mapa de solos do área do estudo**

A erodibilidade do solo (fator K), que expressa a suscetibilidade dos solos a erosão, foi obtido por meio de bibliografia utilizando números pré-determinados em experimentos realizados por métodos diretos e indiretos. Os solos com dados não encontrados na literatura, foram obtidos a partir do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná, publicado por Larach et al., (1984). O fator erodibilidade do solo (K) foi estimado pela granulometria e pelo método indireto de Bouyoucos (1927). Os valores de K utilizados encontram-se descritos na tabela 1.

**Tabela 1 - Erodibilidade dos solos presentes nas microbacias (Fator K).**

Legendas	Nomeclatura	Fator de Erodibilidade (K)	Referências
<b>RRe5</b>	Neossolo Regolítico Eutrófico típico	0,1081	Chagas (2011)
<b>NVef3</b>	Nitossolo Vermelho Eutroférico típico	0,0275	Chagas (2011)
<b>LVdf14</b>	Latossolo Vermelho Distrófico típico	0,0072	Chagas (2011)
<b>LVd19</b>	Latossolo Vermelho Distrófico típico	0,0539	Larach et al. (1984)
<b>LVe1</b>	Latossolo Vermelho Eutrófico típico	0,0284	Larach et al. (1984)
<b>PVd3</b>	Argissolo Vermelho Distrófico abrupto	0,0340	Marques (1996)
<b>PVAd2</b>	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico	0,0287	Chagas (2011)
<b>PVAd13</b>	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	0,0669	Larach et al. (1984)
<b>PVAd23</b>	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto	0,0556	Larach et al. (1984)
<b>PVe2</b>	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto	0,0228	Mannigel (2002)

Utilizando o SIG Spring, foi possível com uso da lógica booleana, por meio da ferramenta analítica de Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), realizar a ponderação dos índices de erodibilidade dos solos, gerando uma grade numérica para todas as microbacia, com média geoespacializada do fator K de cada solo.

O fator topográfico é baseado no comprimento das vertentes (rampas) e nas mudanças de declividade do terreno ao longo das rampas. Para obtenção desse fator (LS), utilizou-se a equação 6, preconizada por Bertoni & Lombardi Neto (2010).

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \dots\dots\dots(6)$$

Em que:

**LS** = fator topográfico (adimensional);

**C** = comprimento da rampa (m);

**D** = declividade (%).

A partir de um plano de informação do tipo modelo numérico terreno (MNT), que foi obtido por meio vetorização das carta do IBGE referentes aos municípios presentes no estudo, somado a hidrografia da microbacia em formato de linhas de quebra e os divisores de água vetorizados como linhas mestras, contendo cota “0”, obteve-se os comprimentos das rampas (C), utilizando a ferramenta de medida de distâncias.

O resultado do procedimento anterior foi inserido, juntamente com a declividade (D), em formato numérico com grade regular e, novamente com uso da lógica LEGAL esses dados foram declarados e sentenciados resultando em uma grade numérica com os índices do fator topográfico (LS).

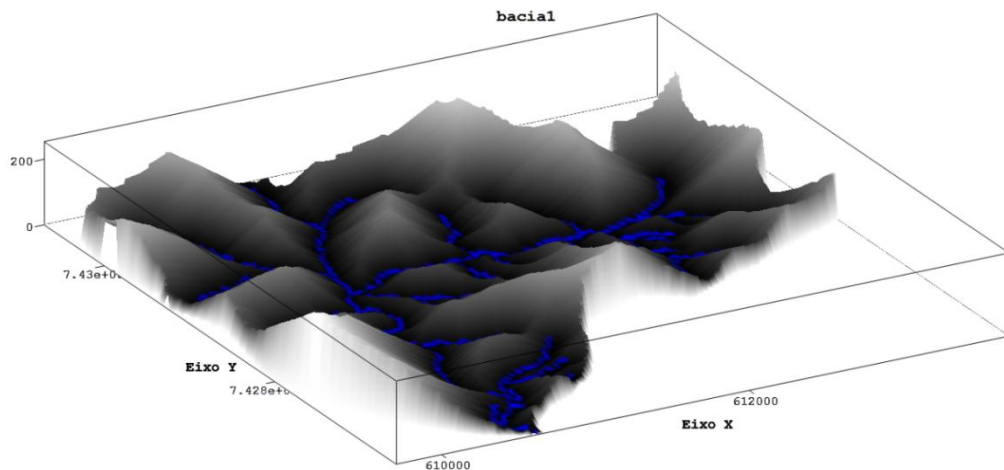
Finalmente, utilizando a programação LEGAL e a lógica Booleana, foram inseridos os dados referentes à grade ponderada da erodibilidade (K), o fator topográfico (LS) e o fator de erosividade (R) que se trata de uma constante de 7000 (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), por meio da equação 7, resultando no potencial natural de erosão (PNE).

$$\text{PNE} = (7000 * K * (LS))\dots\dots\dots(7)$$

Com a metodologia empregada os resultados obtidos foram a grade numérica contendo os valores referentes ao PNE de cada microbacia e imagem temática com a classificação do PNE em cores de acordo com as classes adotadas, segundo Lagrotti (2000).

### **3.3. Resultados e discussão**

Os mapas de declividade são facilmente gerados, mas os mapas de comprimento de rampa exigem operações mais trabalhosas para serem obtidos (MIGUEL, 2010). A figura 6 representa o fator topográfico (LS) apresentado como imagem, que pode ser visível em três dimensões, permitindo a compreensão dos divisores d'água das calhas de drenagem de cada microbacia envolvida.



**Figura 6** - Visualização em três dimensões do fator topográfico (LS) de B1.

A caracterização do PNE tem papel de indicador de fragilidade do terreno a erosão hídrica e por consequência predição de problemas ambientais (PEDRO e LORANDI, 2004). Os resultados podem evidenciar as combinações dos fatores K e LS, já que o valor de R adotado, foi constante para toda a área do estudo. Dessa forma, duas áreas de relevos semelhantes, mas, de solos distintos, podem apresentar valores diferentes de PNE, como também o contrário pode ocorrer. Na tabela 2 são apresentados os resultados do PNE das microbacias da área de estudo em percentual de área.

**Tabela 2** - Potencial Natural de Erosão (PNE).

Classes de PNE	Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Muito Baixo	0/250	9,5	41,42	25,06	19,7	22,37	22,46
Baixo	250/500	3,84	25,86	21,12	6,52	8,91	16,02
Moderado	500/750	3,64	12,82	17,69	6,69	9,89	11,87
Alto	750/1000	3,98	7,02	10,44	7,38	8,54	9,34
Muito Alto	>1000	79,03	12,88	25,7	59,73	50,29	40,31

Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> – Mega gramas por hectare por ano. Áreas representadas em percentual (%).

Os resultados demonstram que, exceto em B2, todas as microbacias apresentaram a maior porção de suas áreas na classe de PNE muito alta, revelando a fragilidade na relação solo/relevo (Figura 7).



Em termos comparativos as microbacias com maiores percentuais de área na classe de PNE muito alto foram em ordem decrescente encontrados em B1, B4, B5, B6, B3 e B2, enfatizando-se que as três primeiras apresentaram valores superiores a 40%, sendo que a B6 apresentou o maior índice em áreas com até 36.198,97 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e média de 1.492,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4** - Dados da análise estatística exploratória dos resultados do PNE.

Micro bacia	Mínimo*	máximo*	Média*	Mediana*	C.V (%)	D.P*
<b>B1</b>	0	30798,52	4307,67	2893,77	104,743	4512,00
<b>B2</b>	0	5817,58	510,44	308,68	127,327	649,93
<b>B3</b>	0	12024,11	937,94	547,53	133,424	1251,44
<b>B4</b>	0	27717,30	2431,59	1389,88	137,961	3354,64
<b>B5</b>	0	19746,03	1642,14	1013,13	120,958	1986,30
<b>B6</b>	0	36197,94	1492,85	741,24	178,477	2664,39

\*- Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>

Considerando os altos números encontrados na estatística exploratória e que B1 apresentou esta grande quantidade de área com classe de PNE muito alta, adotou-se então uma nova classificação, a fim de constatar a distribuição territorial das áreas com perdas de solo superiores a 1000 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, resultando na distribuição apresentada na tabela 5.

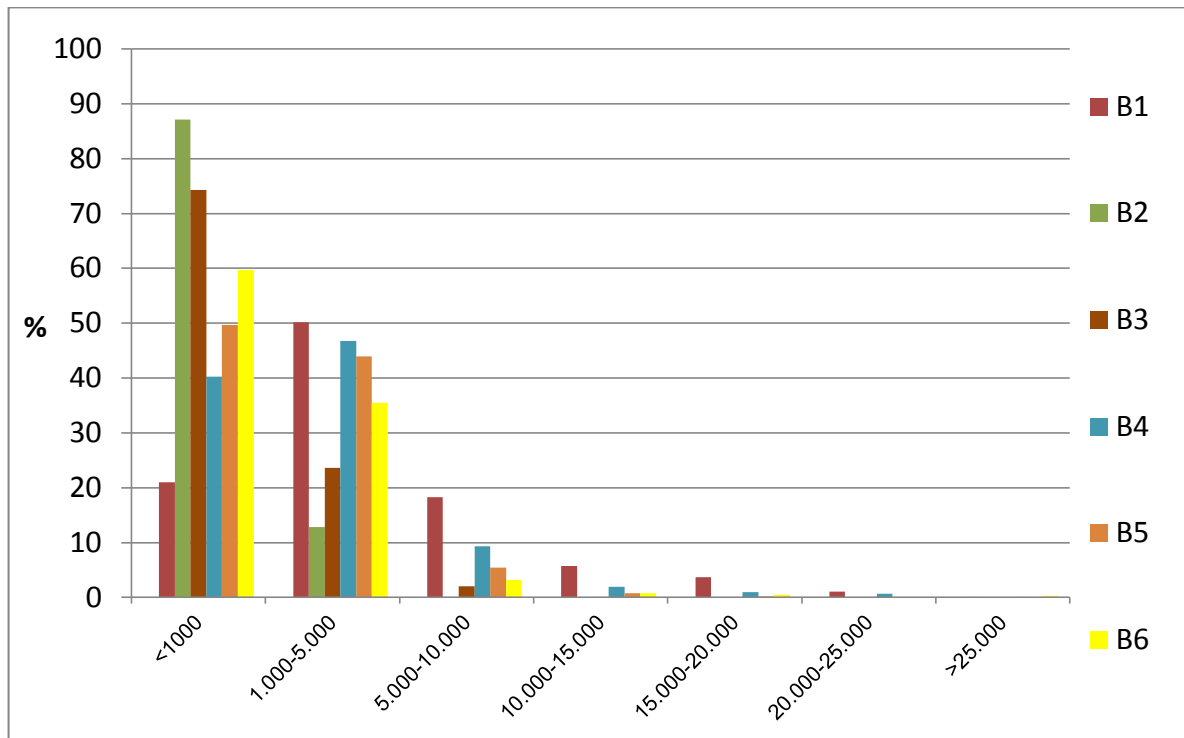
**Tabela 5** - Classificação das áreas com PNE > 1000 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em %.

	Mg ha-1 ano-1	B1	B2	B3	B4	B5	B6
<b>Classificação 1*</b>	<b>&lt;1000</b>	20,97	87,12	74,3	40,28	49,72	59,69
	<b>1000-5000</b>	50,2	12,79	23,58	46,74	43,93	35,47
	<b>5000-10000</b>	18,29	0,09	2,05	9,3	5,44	3,21
<b>Classificação 2**</b>	<b>10000-15000</b>	5,75	0	0,07	1,96	0,78	0,81
	<b>15000-20000</b>	3,64	0	0	1	0,14	0,47
	<b>20000-25000</b>	1,04	0	0	0,66	0	0,06
	<b>&gt;25000</b>	0,1	0	0	0,06	0	0,29
<b>TOTAL</b>		100	100	100	100	100	100

\*-Classificação segundo Lagrotti (2000), \*\*- Classificação adotada pelo autor.

Baseado nesta nova classificação foi possível identificar a distribuição das áreas que estavam na classe de PNE muito alta, notando que houve concentração significativa de áreas para as seis microbacias, que são em ordem decrescente: 1.000 – 5.000, 5.000 – 10.000 e 10.000 – 15.000 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Observa-se que B1, B4 e B5 apresentam mais áreas na nova classificação do que na classificação adotada segundo Lagrotti (2000), fator preocupante, já que se trata de até cinco

vezes mais perda de solo em potencial, do que a classe mencionada como a mais alta conforme a classificação do autor (Figura 8).



**Figura 8** - Distribuição das áreas das microbacias nas classificações de PNE, segundo Lagrotti (2000) e a nova classificação.

Ressalta-se que estimativa do PNE não leva em consideração a cobertura vegetal, e serve como instrumento de proteção contra a erosão hídrica. Sendo assim, os solos expostos nessa região acarretariam em grandes perdas, e todo o solo desprendido no processo erosivo poderia ir para as calhas de drenagem da microbacia, chegando a rios, lagos e outros meios hídricos, implicando em assoreamento e contaminação pelos dejetos arrastados junto com a enxurrada (RUTHES, 2012).

Entretanto, a microbacia B2, no município de Santo Antônio da Platina apresentou os melhores resultados, com 41,42% de sua área na classe de PNE muito baixo, 25,85% baixo, 12,82% moderado e apenas 7,02% alto e 12,88% na classificação muito alta. Provavelmente seja resultado da combinação da erodibilidade dos Argissolos, Latossolos e Nitossolos que é baixa, conferindo certa resistência a erosão nessa região.

### **3.4. Conclusões**

A utilização do SIG foi eficiente para a obtenção do PNE, sendo possível diagnosticar as áreas com maior predisposição física à erosão. Constatou-se que as características dos solos e relevo, demonstram a fragilidade dessa região que é área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, e que a exposição do solo pode implicar em altas perdas de solo e consequentes impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento**. 2000, Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/Trabalhos/mariza.pdf>> Acesso em: 15 de agosto, 2013.

ARAGÃO, R. et al. Mapeamento do potencial de erosão laminar do Rio Japaratuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 731-740, 2011.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Icone, 2010. 360 p.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15, set, 2013.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina : IAPAR, 2000. CD.

DECHEN, S. C. F. et al. Manejo de solos tropicais no brasil. **XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**. Santa Maria: IAC. 2004. p. 25-30.

EMBRAPA: LARACH, J. O. I.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A.P.; HOCHMULER, D.P.; FALOSO P.J.; RAUEN, M. J. **Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA, 1984. 408 p.

LAGROTTI, C.A.A. **Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP: estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim**. 2000. 115 f. Tese (Doutorado em Planejamento Agroambiental) - FEAGRI/UNICAMP, Campinas, 2000.

MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; EDEIROS, L.R. Fator de erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1335-1340, 2002.

MARQUES, J.J.G.M. **Estimativas e comparações dos fatores das chuvas e erodibilidades dos solos com horizonte B textural no Brasil**. 1996. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

MIGUEL, P. et al. Solo e dinâmica de ocupação das terras em áreas do rebordo do planalto do rio grande do sul. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.17, n.4-4, p.447-455, 2011.

MOTA, P. E. F. da. O recurso natural do solo. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 7, n. 80, p. 3-7, 1981.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 01, n. 56, 2004.

REIS, L.C. **Revisão do código florestal brasileiro: impactos no município de bandeirantes – PR**. 2011. 163 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

RUTHES, J.M. et al. Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR. Curitiba: **Revista Brasileira de Geografia e física**, Rio de Janeiro, v. 05, p.1099-1109, 2012.

SANTOS, H.G.dos. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação dos solos**. 3 ed. rev. ampli. Brasília: EMBRAPA, 2013, 353p.

WALTRICK, P.C. **Erosividade de chuvas no paraná: Atualiza o, influência do “El Ni o” e “La Ni a” e estimativa para cenários climáticos futuros**. 2010. 107 f. Disserta o (Mestrado em Ciências do solo) - UFPR, Curitiba, 2010.

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

#### 4 - ARTIGO B

ANDRADE, Daniel. Campanelli. **Conflito de uso do solo em área de recarga do Aquífero Guarani**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

##### **Resumo**

A falta de conhecimento sobre a aptidão agrícola das terras, assim como a ausência do planejamento para a implantação das culturas, tem causado impactos negativos ao meio ambiente. O objetivo do presente estudo foi analisar o conflito de uso dos solos em seis microbacias na área de recarga do Aquífero Guarani. A metodologia utilizada partiu da determinação do uso atual do solo e da aptidão agrícola das terras, que foram cruzadas utilizando técnicas de geoprocessamento e lógica booleana para a criação de mapas. Foram encontradas situações preocupantes em três microbacias que apresentaram superutilização em relação à aptidão agrícola. Constatou-se também que na maior parte da área estudada a utilização das terras está abaixo de seu potencial agrícola (subutilizadas), caracterizando sustentabilidade da utilização dos recursos naturais, particularmente dos solos. Porém essa subutilização subentende desconhecimento das técnicas de produção agrícola, concomitante ao uso de práticas agrícolas inadequadas, o que pode gerar degradação ambiental das áreas de recarga, estas que são vitais para a qualidade das águas contidas no Aquífero Guarani.

**Palavras Chaves:** uso atual do solo, aptidão agrícola, conflito de uso do solo.

ANDRADE, Daniel. Campanelli. **Conflict of land use in the recharge area of the Guarani aquifer**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Teresinha Esteves da Silveira Reis.

### **Abstract**

The lack of knowledge about the agricultural aptitude of grounds, and also the absence of planning to the cultivation's implantation, has caused negative impacts to the environment. The aim of this essay was to analyze the conflict of the use in six watersheds in the recharging area of Guarani Aquifer. The methodology used came from the determination of the current use of the soil and the agricultural aptitude of grounds, which were crossed using techniques of geoprocessing and Boolean logic for the creation of the maps. It was found worrying situations in three watersheds, which presented overutilization in relation to the agricultural aptitude. Also confirmed is the fact that in the major part of the studied area, the utilization of the grounds is below its agricultural potential (underutilized), featuring sustainability of the natural sources utilization, particularly the soils. Although this underutilization implies ignorance of the agricultural production's techniques, concomitant with the use of inadequate agricultural practices, which might generate environmental degradation in the recharging areas, which are vital for the quality of the waters held in Guarani Aquifer.

**Key words:** Current land use, land suitability, land use conflict.

## 4.1. Introdução

As condições atuais dos atributos do meio físico são, parcialmente, resultados das diferentes formas do uso e ocupação do solo pela sociedade, nas quais as ações do homem interferiram na evolução natural desses componentes (ROMÃO e SOUZA, 2011).

O produtor rural moderno além de se preocupar com o aumento de sua produção também deve se preocupar com o meio ambiente, principalmente com o solo e a manutenção para sustentabilidade produtiva. Surge um conceito de produção rural em que a variável ambiental passa a ser parte do cotidiano (HAWKEN et al., 2002).

Segundo a FAO (1976), é compreendido como avaliação de terra, o processo para estimar o seu valor e comportamento quando usada para fins específicos. Para tanto, existem vários métodos de avaliação, de acordo com os objetivos a que se destinam as terras. Assim, pode-se avaliar quanto as suas características fisiográficas ou pode-se ter uma classificação para um fim definido, como por exemplo, em relação ao potencial erosivo, às reservas minerais, à aptidão agrícola, ou à capacidade de uso (ASSAD e SANO, 1998).

Uma das etapas básicas na exploração do solo de forma conservacionista, evitando impactos ambientais, é a classificação da aptidão agrícola das terras. Essa aptidão é baseada nas características, como relevo, tipo de solo, clima, entre outras e serve para dividir uma área em glebas, de acordo com as melhores aptidões. Um dos principais métodos de avaliação do potencial agrícola de uso das terras é o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAT), desenvolvido por Ramalho Filho e Beek (1995).

Os impactos ambientais causados pelo uso inadequado do solo trazem consequências para a qualidade das águas dos rios, inclusive reservas subterrâneas (ARCOVA e CICCIO, 1999). Esta qualidade é o resultado das influências do clima, geologia, fisiografia, solos e vegetação da bacia hidrográfica e, principalmente, das atividades antrópicas, pois o uso do solo de maneira inadequada pode afetar as características físicas, químicas e biológicas da água nele contida.

Para se fazer a classificação da aptidão agrícola de terras é fundamental o uso de sistemas de informações geográficas (SIG), pois se trata de um trabalho que

se feito de forma manual pode ser muito subjetivo. Com o uso das geotecnologias, fomenta-se o banco de dados com as variáveis necessárias, e que são cruzadas de acordo com as equações e programações necessárias para a geração do mapa de aptidão, evitando que haja tal subjetividade no produto final (MIGUEL et al. 2011).

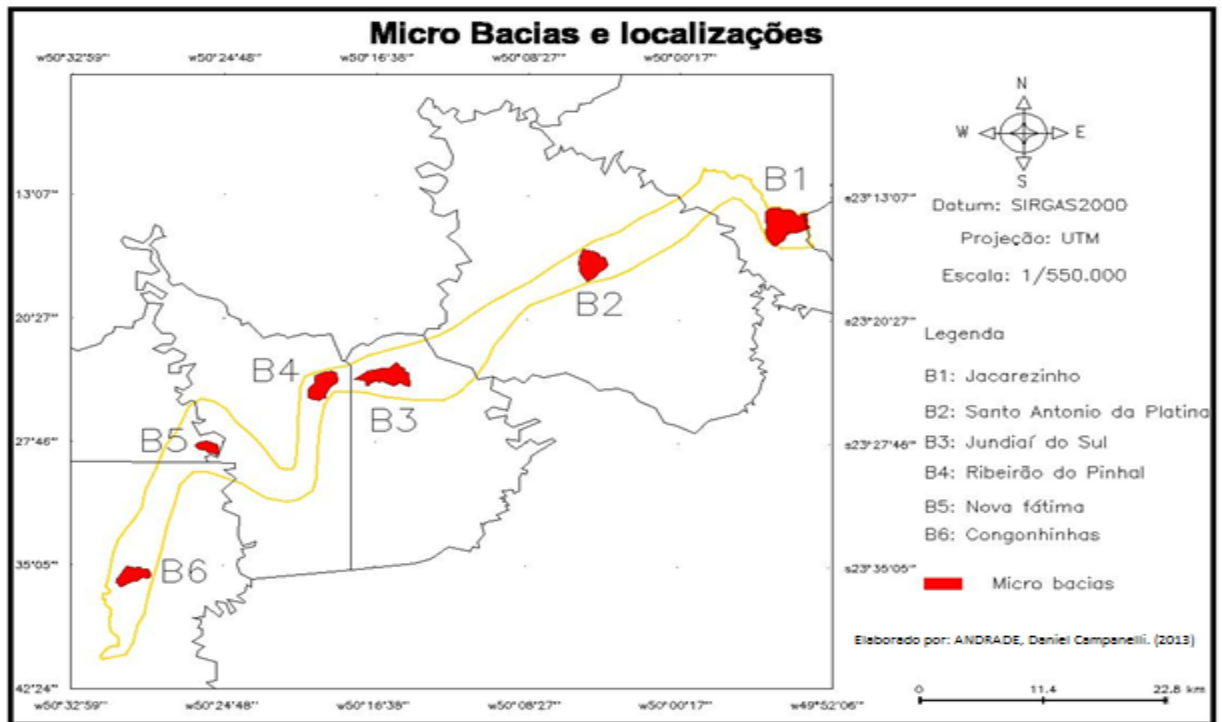
Outra etapa fundamental no processo de avaliação do conflito de uso do solo e adequação a sustentabilidade, é o levantamento do uso e ocupação atual, que é a interpretação, seja a campo ou por outros meios, como fotografias aéreas ou imagens de satélite, obtendo a informação de qual cobertura existe implantada no local de estudo naquele momento (WEISS et al., 2013).

O objetivo do estudo foi realizar com o uso atual e a aptidão agrícola das terras um mapa de conflito de uso do solo nas microbacias da área de recarga do Sistema aquífero Guarani.

## **4.2. Material e métodos**

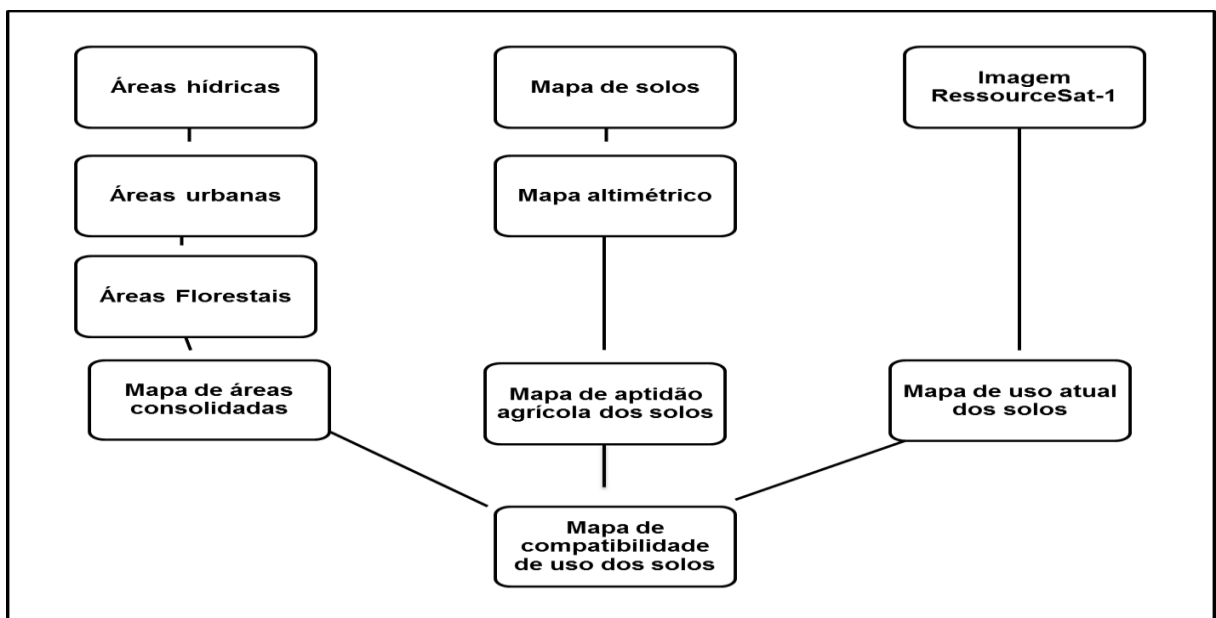
O estudo está localizado na área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, entre as coordenadas 24° 00' 28" S, 51° 00' 01" W e 22° 53' 03" S, 49° 29' 19" W, na região do Norte Pioneiro do Paraná, abrange parte dos municípios de Jacarezinho, Santo Antônio da Platina, Jundiá do Sul, Ribeirão do Pinhal, Nova Fátima e Congonhinhas. Cujas a área total de recarga é de 36.524,84 hectares (Figura 3). O clima da região é classificado como Cfa (subtropical) com verões quentes e chuvosos e baixa frequência de geadas. A região apresenta precipitação média anual em torno de 1600 a 1800 mm e umidade relativa do ar entre 75 e 80% (CAVIGLIONE et al., 2010).

Foram selecionadas seis microbacias, uma por município, procurando propiciar áreas amostrais em todas as partes da região de estudo, que somadas possuem área de 3.397,79 hectares, identificadas pelas seguintes abreviações: B1 (Jacarezinho), B2 (Santo Antônio da Platina), B3 (Jundiá do Sul), B4 (Ribeirão do Pinhal), a B5 (Nova Fátima) e B6 (Congonhinhas) (Figura 9).



**Figura 9** - Distribuição das microbacias ao longo da área de recarga do SAG.

A análise do conflito de uso e o diagnóstico do uso atual das terras foram realizados por meio da produção e sobreposição de diferentes planos de informação (PI), conforme o organograma na figura 10, resultando na informação de compatibilidade de uso dos solos.



**Figura 10** - Organograma do método de construção e cruzamento dos diferentes planos de informações utilizados no trabalho.

Inicialmente, foi levantado o uso atual das terras, gerado a partir da classificação supervisionada de imagem do sensor LISS3 (ResourceSat-1), bandas 3, 4 e 5, na composição falsa cor R(5) G(4) B(3), do ano de 2013. Foi utilizado o classificador estatístico Battacharya, disponível no software Spring – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, versão 5.2.6, desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que classifica por regiões, medindo a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais.

Foram pré-estabelecidas cinco classes de uso, sendo elas: floresta (nativa), lavoura (culturas anuais, perenes e semi-perenes), pastagem (pastagens plantadas e naturais), água (rios, riachos, córregos e lagos) e urbano (aglomerados de construções).

Posteriormente foi gerado o mapa de aptidão agrícola das terras, utilizando-se de informações contidas no levantamento semi-detalhado dos solos do Estado do Paraná (LARACH et al., 1984). O mapa de solos foi digitalizado e sua legenda atualizada conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Adotou-se a metodologia preconizada por Ramalho Filho & Beek (1995), em que são mensurados os seguintes fatores de limitação: deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio (excesso de água), susceptibilidade a erosão e impedimento à mecanização, avaliados conforme o grau de limitação como nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte.

O grau de limitação extremamente forte, utilizado por Ramalho Filho & Beek (1995), foi reunido junto à classificação para o grau de limitação muito forte, de modo que houvesse sempre cinco graus de limitação possíveis para cada um dos fatores de limitação.

As classes de aptidão foram definidas como: boa, regular, restrita e inapta, para cada tipo de uso, sendo os usos identificados por algarismos romanos de 1 a 6, em que 1, 2 e 3 significa respectivamente, bom regular e restrito para lavoura, 4 evidencia aptidão para pastagens plantadas, 5 pastagens naturais e/ou silvicultura e 6 resume-se a áreas sem aptidão agrícola, destinadas a preservação da fauna e da flora (RAMALHO FILHO E BEEK, 1995). Com relação ao nível de manejo, foi

adotado apenas o nível B, manejo intermediário, que é a prática agrícola comumente mais utilizada na região do estudo.

O mapa de conflitos de uso das terras foi gerado a partir dos cruzamentos dos mapas de aptidão agrícola das terras e o mapa do uso atual do solo, não incluindo as áreas hídras, áreas urbanas e áreas florestais, que foram consideradas como áreas consolidadas, conforme o organograma da figura 10.

O cruzamento dos PI foi realizado por meio de lógica booleana, sendo adotadas as seguintes classes de aptidão: adequado, superutilizado e subutilizado. A classe adequada se deu quando o uso atual do solo foi igual à aptidão agrícola, subutilizada quando o uso atual do solo era menos intensivo que o indicado na aptidão agrícola e superutilizado quando o uso atual do solo era mais intensivo do que a aptidão agrícola indicada para a área (Tabela 6).

**Tabela 6** - Relação entre a aptidão agrícola das terras, uso atual do solo e suas respectivas compatibilidades de uso do solo.

<b>Aptidão agrícola</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>Conflito de uso</b>
1B, 2b, 3(b)	lavoura	adequado
4P, 4p	lavoura	inadequado (superutilizado)
1B, 2b, 3(b)	pastagem	subutilizado
4P, 4p	pastagem	adequado
1B, 2b, 3(b), 4P, 4p	silvicultura	subutilizado

Aptidão agrícola: 1B – bom para lavoura, 2b – regular para lavoura, 3(b) – restrito para lavoura, 4P – bom pastagem, 4p – regular pastagem.

### 4.3. Resultados e discussão

Foram observadas todas as classes predeterminadas de uso do solo (lavoura, pastagem, floresta, silvicultura, urbano e água), destacou-se a cobertura de pastagens (Tabela 7), seguido da classe lavoura, sendo que a soma dessas duas classes ultrapassaram 50% da área em toda a área de estudo, chegando a 95% na microbacia B3 de Jundiá do Sul. A única microbacia que apresentou cobertura com silvicultura foi a de Congonhinhas (B5), com apenas 4,31% de abrangência. A microbacia B2, apresentou uso urbano, o município de Santo Antônio da platina, com 210,64 hectares de urbanização, correspondente a 35% do total da área. Com relação à cobertura por floresta nativa, varia de 1,09% na microbacia B6, em Congonhinhas, até 40,39% na B4 em Ribeirão do Pinhal. A microbacia com área

expressiva com cobertura por lâmina d'água foi a B5, apresentando duas represas que somadas, possuem área de 4,4 hectares, equivalente a 2,19% de área.

**Tabela 7 - Uso atual do solo e respectiva área de abrangência (%).**

Micro bacia	B1		B2		B3		B4		B5		B6	
	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%
uso/área												
<b>Floresta*</b>	182,88	18,15	67,44	11,46	34,36	4,99	217,08	40,39	41,24	20,55	4,08	1,04
<b>Urbano*</b>			210,64	35,79								
<b>Água*</b>									4,40	2,19		
<b>Pastagem</b>	593,98	58,94	195,66	33,24	479,54	69,61	175,56	32,66	28,04	13,97	326,91	83,04
<b>Lavoura</b>	230,86	22,91	114,85	19,51	175,02	25,40	144,86	26,95	126,99	63,28	45,72	11,61
<b>Silvicultura</b>											16,98	4,31
<b>Total</b>	1007,72	100,00	588,59	100,00	688,92	100,00	537,50	100,00	200,67	100,00	376,71	100,00

\* - Áreas consolidadas.

Não foi possível realizar o levantamento das áreas destinadas à preservação permanente (APP), preservadas ou a recompor, ao longo dos cursos d'água, para obtenção do mapa de conflito de uso, visto que o novo Código Florestal, Lei 12.561 de 25 de maio de 2012, vincula suas larguras ao tamanho da propriedade, de acordo com o número de módulos fiscais que a compõem.

O novo Código Florestal preconiza que a soma das áreas de preservação permanente não deve exceder 10 ou 20% da área, nos imóveis com até quatro módulos fiscais (pequena propriedade) e os isenta da reserva legal, fatores que impossibilitaram gerar o mapa das áreas de preservação permanente (APP) e de reserva legal (RL).

Porém, como no novo código florestal é vedada a supressão de qualquer área com cobertura florestal nativa para a conversão a outros usos, estas áreas foram consideradas como áreas consolidadas, não sendo avaliadas no estudo de compatibilidade de uso. De igual modo, as áreas cobertas por água e os perímetros urbanos também não foram avaliadas.

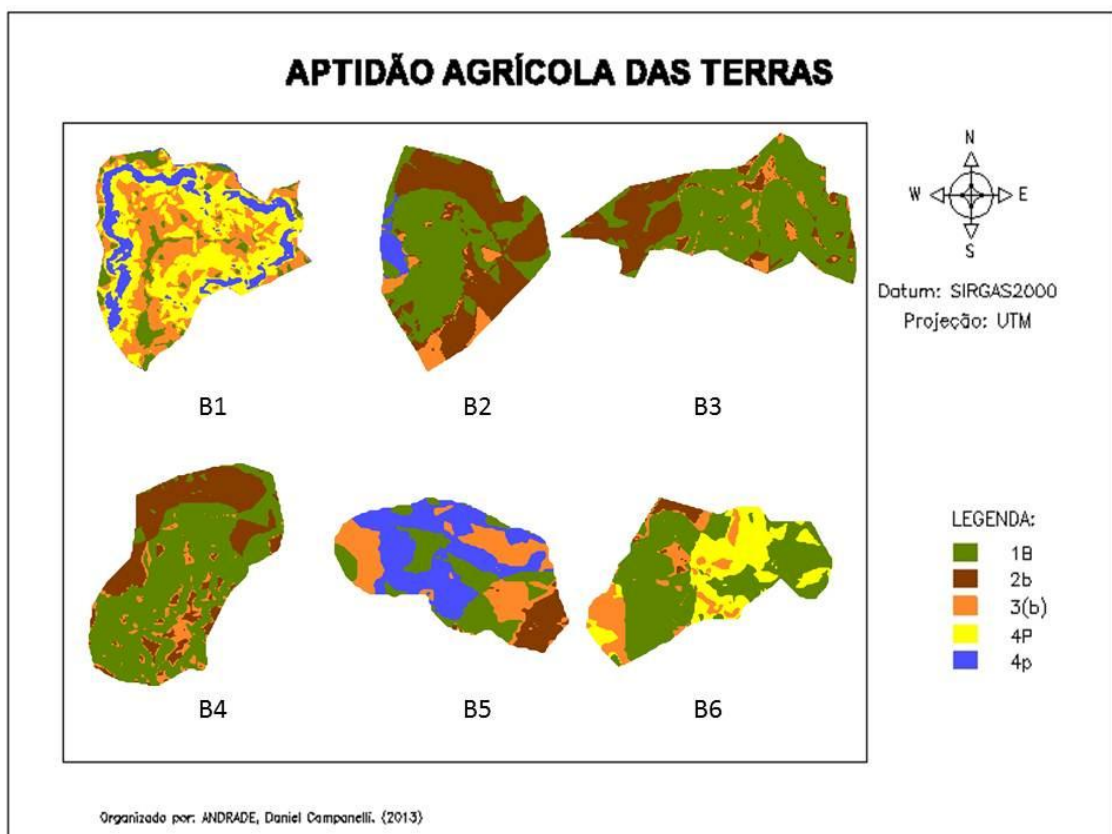
Tendo em vista a aptidão agrícola das terras (Tabela 8), observou-se duas microbacias com 100% de sua área apta para lavoura (B3 e B4) em alguma das classes de restrição (1B - boa, 2b - regular e 3(b) - restrita) e uma terceira microbacia com mais de 96% de aptidão para lavoura (B2). A área com menor aptidão para lavouras foi localizada em B1, que apresentou 43,96% de seu território com tal aptidão.

**Tabela 8 - Aptidão agrícola das terras em percentual de área.**

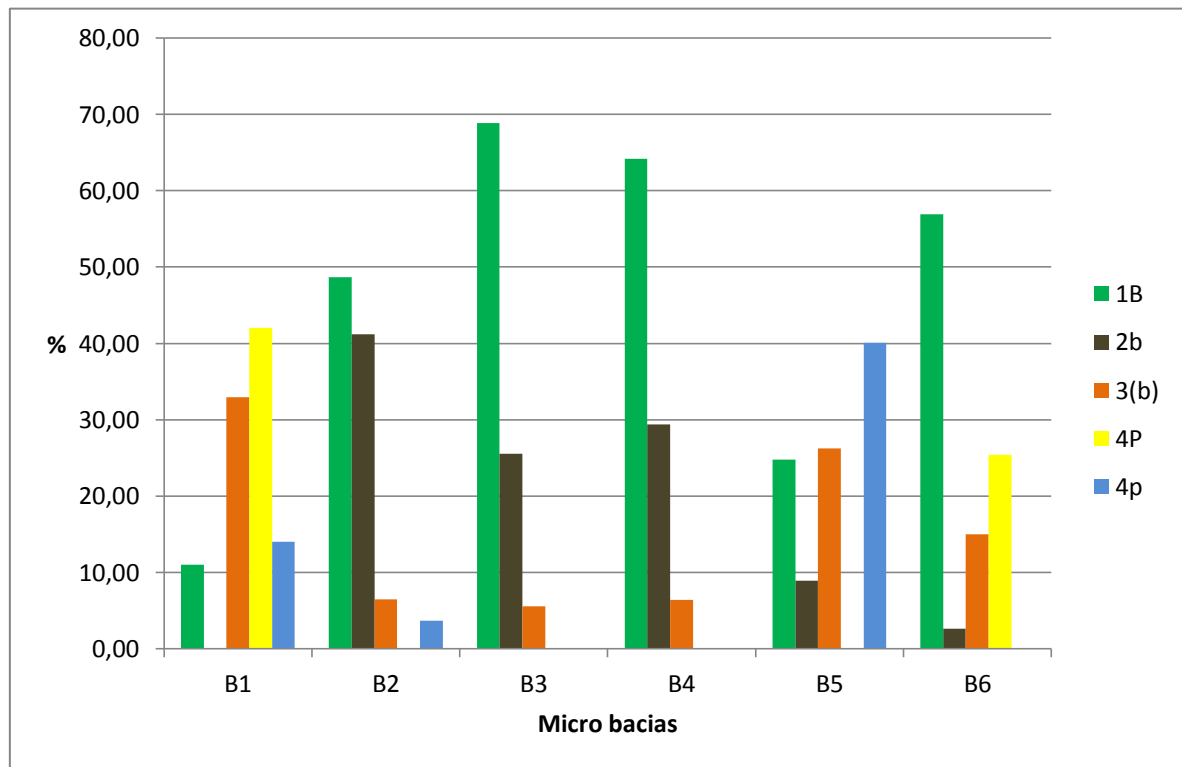
<b>Aptidão Agrícola das terras</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>
<b>1B</b>	11,02	48,66	68,87	64,18	24,80	56,90
<b>2b</b>	0	41,20	25,55	29,42	8,91	2,66
<b>3(b)</b>	32,94	6,46	5,58	6,40	26,22	15,03
<b>4P</b>	42,04	0	0	0	0	25,41
<b>4p</b>	14,00	3,69	0	0	40,07	0
<b>Total</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Aptidão: 1B- boa para lavoura, 2b - regular para lavoura, 3(b) - restrita para lavoura, 4P - boa para pastagem e 4p - regular para pastagem.

Também foi encontrada aptidão para pastagem, estas áreas foram notadas em encostas com declives mais acentuados, fator que agrava o impedimento à mecanização e susceptibilidade a erosão, implicando na necessidade da implantação de culturas menos intensivas, que possam vir a amenizar alguns problemas ambientais, como a erosão. A microbacia B1, ( Jacarezinho), foi a que apresentou maior porção de área apta a pastagens, com 56,04% de seu território, seguido da B5 (Nova Fátima) com cerca de 40%. A microbacia B6 apresentou cerca de um quarto de sua área e B2 com pouco mais de 3% (Figura 11).

**Figura 11 - Mapa de aptidão agrícola das terras.**

A classe que mais se destacou dentre as classes de aptidão agrícola das terras, foi a boa para lavoura (1B), classe sem restrições, na qual se pode instalar as culturas mais intensivas e conseqüentemente de maior rendimento produtivo e financeiro. Essa classe foi mais abrangente em quatro das seis microbacias: B3 com 68,7%, B4 com 64,87%, B6 com 56,9% e B2 com 48,66% da área total, mostrando um bom panorama para o plantio de dois ciclos de culturas por ano, como por exemplo, soja e milho, cenário comumente encontrado na região (Figura 12).



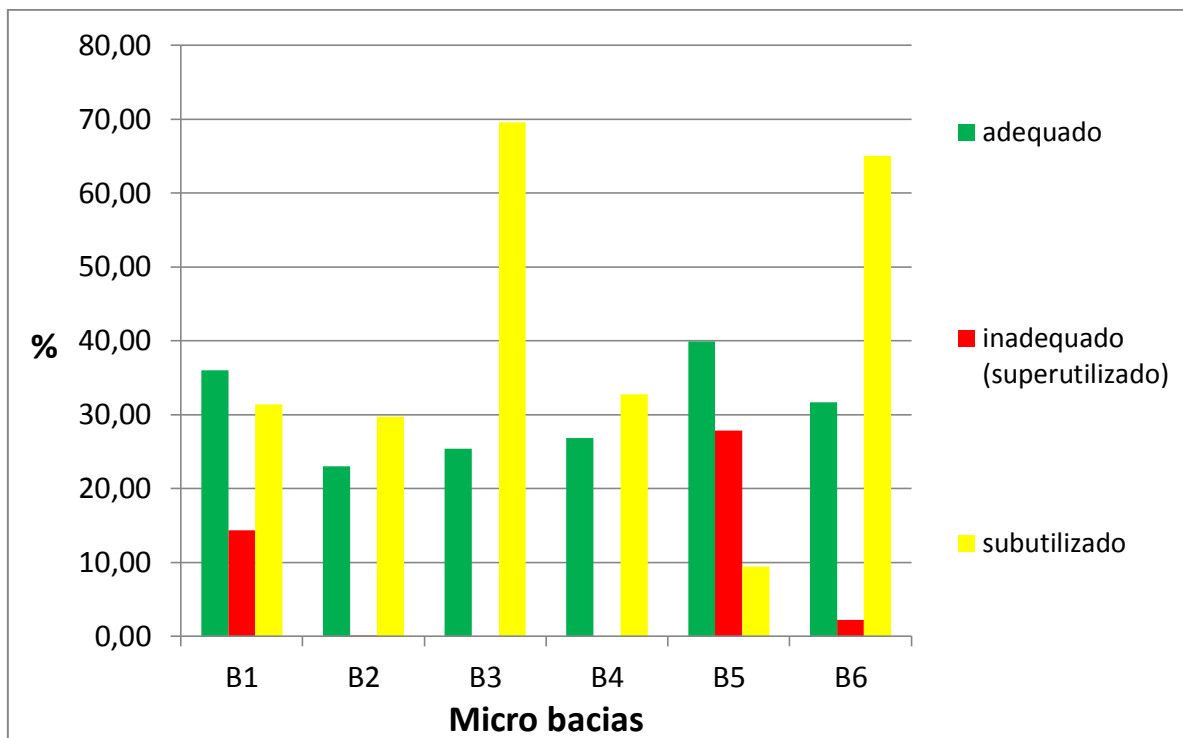
**Figura 12** - Percentual de área para cada classe de aptidão agrícola das terras.

A partir do cruzamento dos PIs: uso atual do solo e aptidão agrícola do solo, obteve-se o mapa de conflito de uso do solo, mostrando a distribuição dessas classes na tabela 9.

**Tabela 9** - Conflito de uso do solo em percentual de áreas.

Conflito de uso	B1	B2	B3	B4	B5	B6
adequado	36,01	22,97	25,42	26,82	39,89	31,69
inadequado (superutilizado)	14,32	0,08	0,00	0,00	27,88	2,20
subutilizado	31,40	29,71	69,59	32,76	9,42	65,07

Com base nos resultados nota-se que as incompatibilidades de uso do solo foram apresentadas em B5, com 27,88% de áreas com uso inadequado, em seguida aparece B1, com 14,31%, B6 com 2,2% e inexpressivos 0,08% em B2, (Figura 13). Estas áreas apresentaram solo com uso atual mais intensivo do que o recomendado na aptidão agrícola, configurando superutilização. Fato que pode ao longo do tempo, acarretar em efeitos negativos para a produção e manutenção da sustentabilidade ambiental dessas áreas. Essas áreas que apresentam problemas são geralmente ocupadas por lavoura em áreas com aptidão em alguma das classes para pastagens (POELKING, 2007).



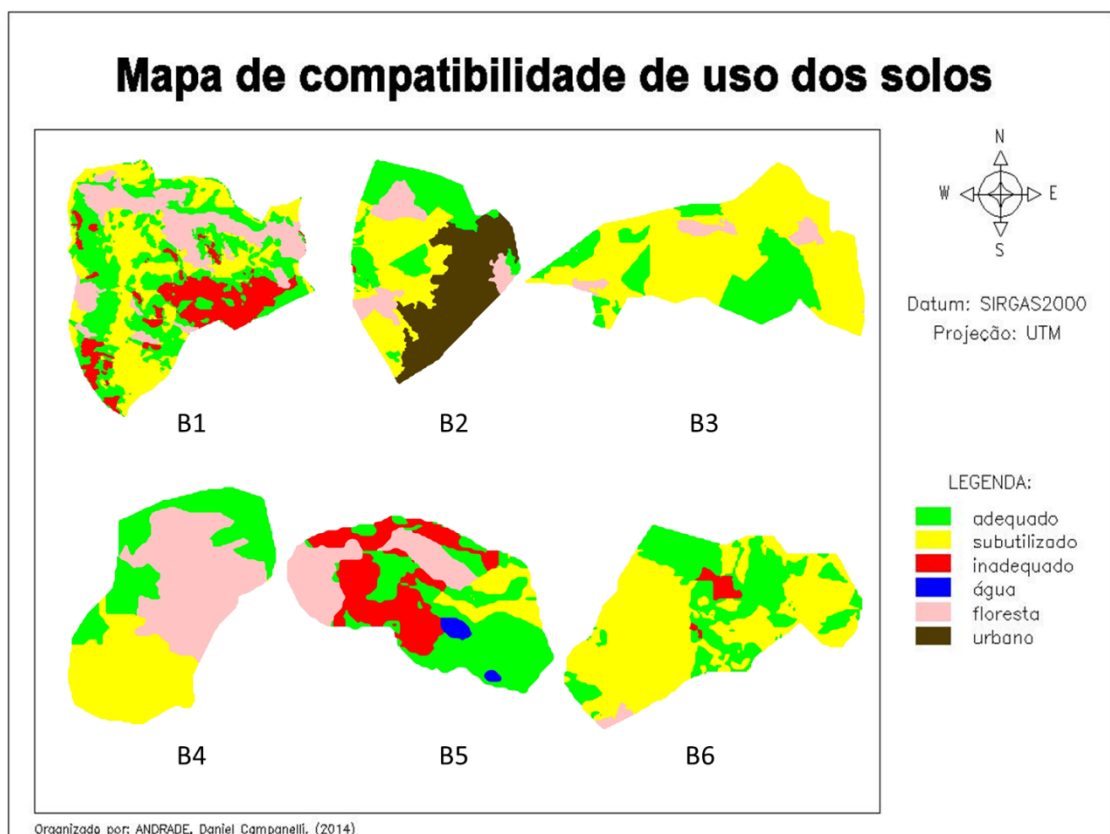
**Figura 13** - Distribuição das áreas de acordo com a compatibilidade de uso do solo.

Com relação à subutilização, a microbacia B3 (Jundiá do Sul), apresentou maior percentual de área subutilizada, com 69,59% do seu território apresentando uso menos intensivo do que o recomendado na aptidão agrícola, seguido de B6 com 65,07%. As microbacias B1, B2 e B4 apresentaram cerca de um terço de seus territórios subutilizado e B5 apresentou menos de 10% de suas áreas com subutilização. O fator subutilização ocorreu na maioria dos casos devido à presença de terras aptas em alguma classe para lavoura com uso atual menos intensivo, como pastagem ou até mesmo silvicultura, fator que não compromete o meio

ambiente, pois o uso é de menor intensidade do que o suportado de acordo com a declividade e as características físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA e BACCIC, 2010).

Em um panorama geral, a situação mais preocupante foi encontrada na microbacia B5, (Nova Fátima), que apresentou 27,88% de suas áreas na classe de compatibilidade inadequado (superutilizado), presumindo que apresenta uso do solo mais intensivo do que o recomendado na aptidão agrícola das terras. Fato que pode gerar ao longo do tempo degradação e impactos ambientais sérios como erosões e perda da camada superficial produtiva do solo (Figura 14).

Outro agravante, é que por se tratar de uma área com declividade acentuada e solos pouco profundos, agrotóxicos podem percolar no perfil do solo, chegando ao Sistema Aquífero Guarani, contaminando as águas subterrâneas, (MACHADO et al. 2003; RHEINHEIMER et al., 2003).



**Figura 14 - Mapa de compatibilidade de uso do solo.**

#### 4.4. Conclusões

A microbacia do município de Nova Fátima (B5) apresentou a situação mais crítica com quase 30% de suas terras sendo superutilizadas, ou seja, com usos mais intensivos do que o meio ambiente local pode suportar. Levando-se em consideração o tamanho de cada microbacia, a B1 de de Jacarezinho, também apresenta um cenário desfavorável com mais de 144 hectares apresentando uso inadequado, somado a outros 316 hectares subutilizados. Ainda com relação à subutilização das terras a microbacia B3 (Jundiá do Sul) foi a que apresentou a maior porção de áreas subutilizadas (69%).

A utilização de técnicas de geoprocessamento e principalmente a ferramenta de análise LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) permitiram a obtenção dos mapas de conflito de uso do solo, expressando de maneira não subjetiva os dados desejados.

## REFERÊNCIAS

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 5, n. 6, p. 125-34, 1999.

BENNEMA, J.; BEEK, K. J. CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1965. 50 p.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina : IAPAR, 2000. CD.

FAO. **A Framework for land evaluation**. Roma: Food and Agriculture organization of the united nations, 1976. 72p.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. **Capitalismo natural**. São Paulo: Cultrix, 2002. 358p.

LARACH, J. O. I. et al. **Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA, 1984. 408 p.

MACHADO, S. L. de O. et al. Lavoura arrozeira e recursos hídricos. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.97–106, 2003.

MIGUEL, P. et al. Solo e dinâmica de ocupação das terras em áreas do rebordo do planalto do rio grande do sul. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.17, n.4-4, p.447-455, 2011.

POELKING, E. L. **Aptidão, evolução e conflitos de uso das terras no município de Itaara, RS**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2007.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.

RHEINHEIMER, D. dos S. et al. Impactos das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.85–96, 2003.

ROMÃO, A. C. B. C.; SOUZA, M. L. D. Análise do uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão São Tomé, noroeste do Paraná (1985 e 2008). **Raíega**, Curitiba, n. 21, p. 337-364, 2011.

WEISS, C. V. da C. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens de satélite do sensor TM/Landsat 5 no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **ANAIS XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

## 5 - CONCLUSÕES GERAIS

Com os resultados obtidos no primeiro estudo foi possível constatar que se trata de uma região com certa fragilidade e susceptível a erosões.

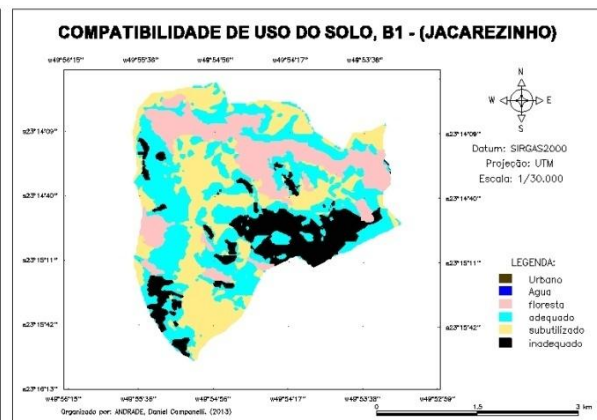
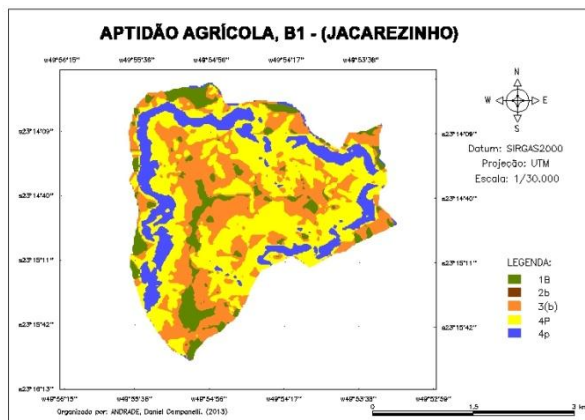
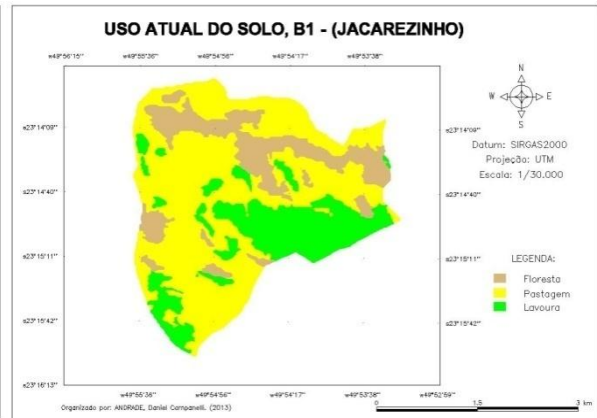
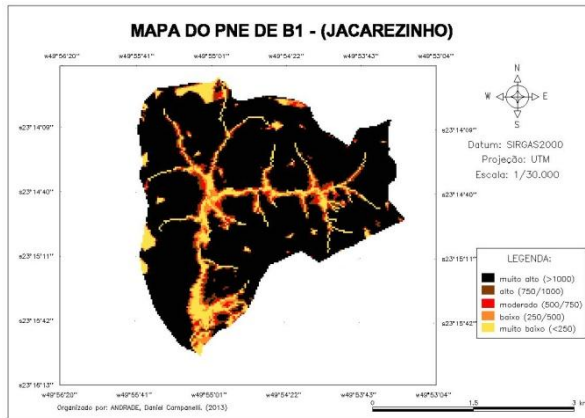
O segundo estudo permitiu concluir que, de fato, está ocorrendo uso inadequado do solo em relação à aptidão agrícola das terras.

A compilação dos resultados mostrou que a falta de planejamento para a implantação das lavouras, e os usos em não conformidade com a aptidão agrícola, principalmente os casos de superutilização estão tornando a região susceptível à degradação do solo, conseqüentemente implicando em possíveis contaminações do Aquífero Guarani.

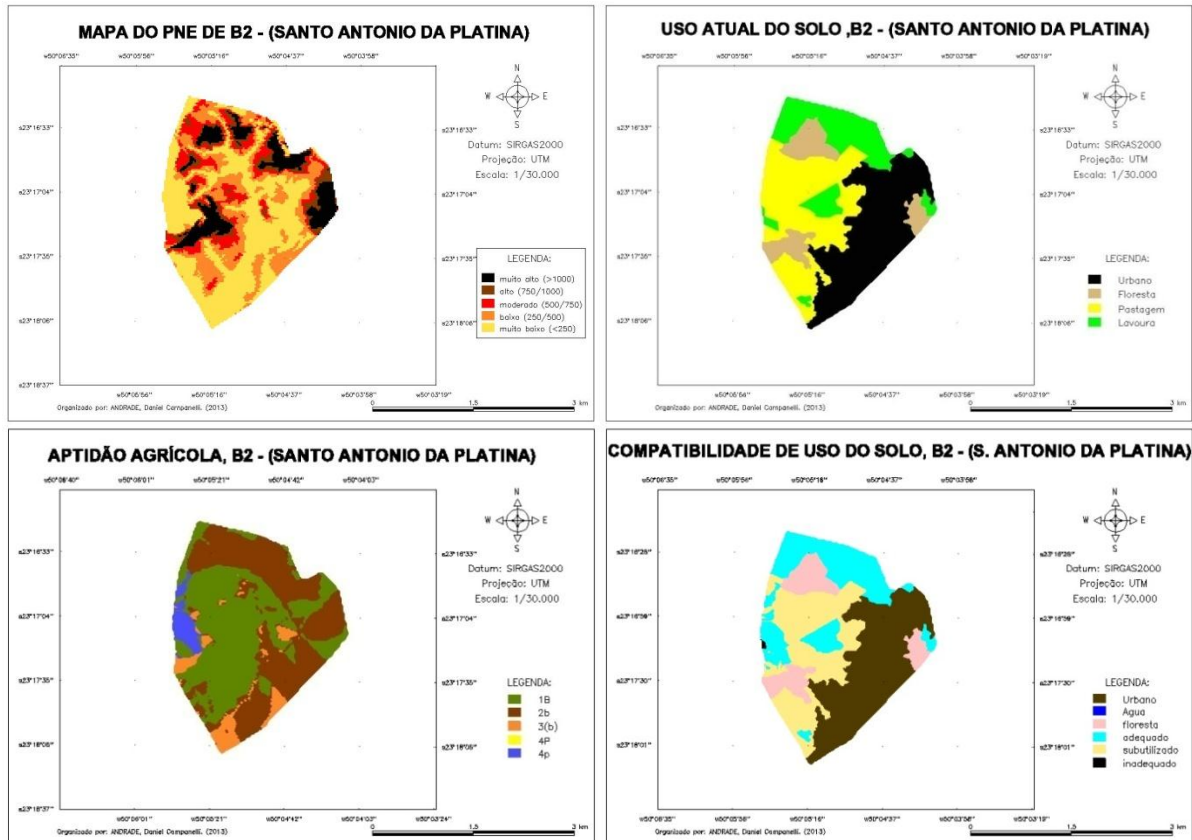
Recomenda-se que planos de conservação do solos e eliminação dos conflitos de uso sejam adotados em toda a área de recarga do aquífero Guarani para a mitigação das desconformidades existentes e a manutenção da sustentabilidade ambiental.

## **APÊNDICES**

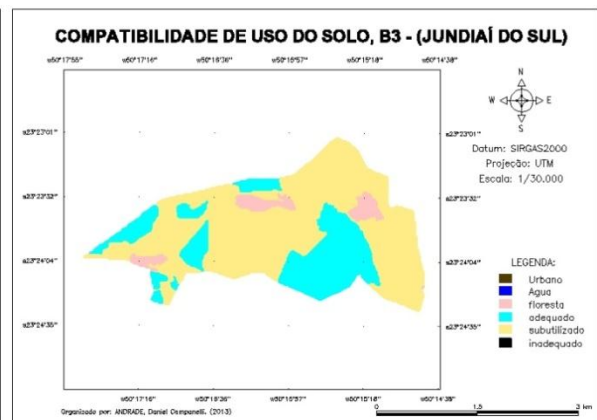
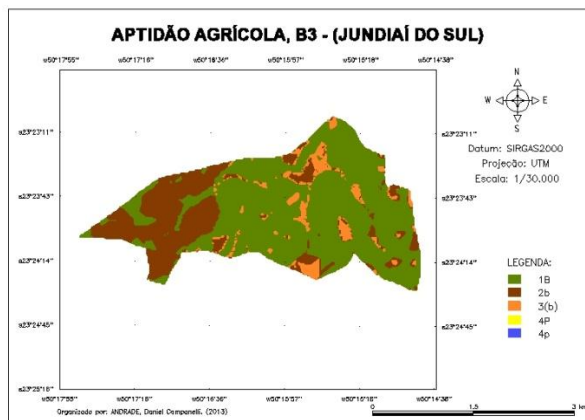
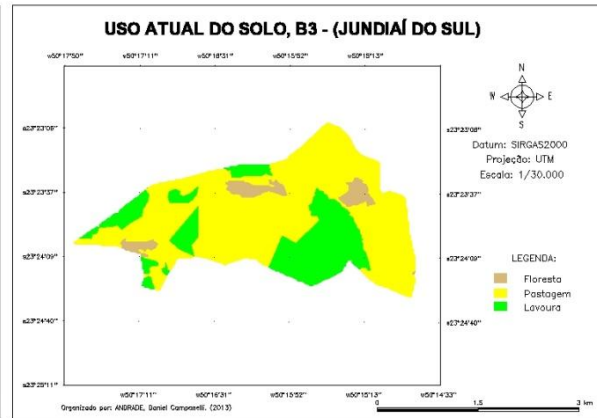
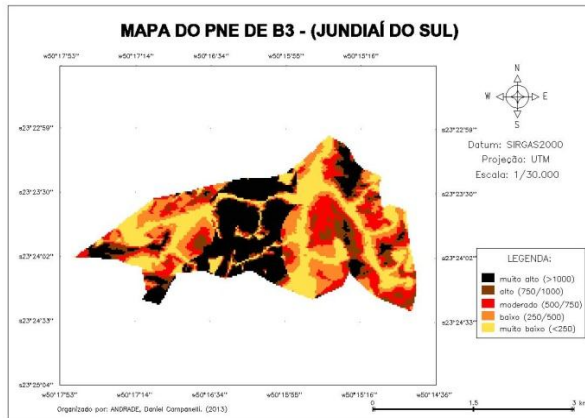
**Apêndice A** - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B1 (Jacarezinho).



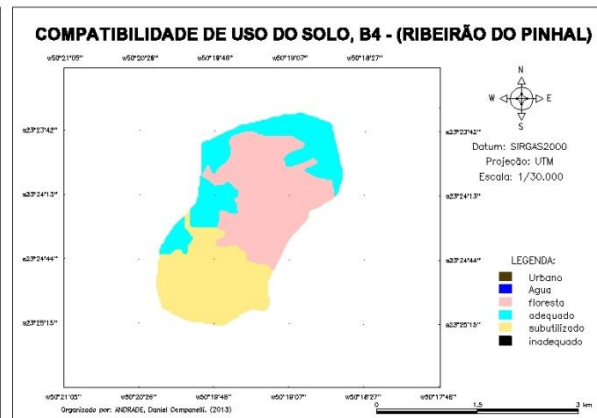
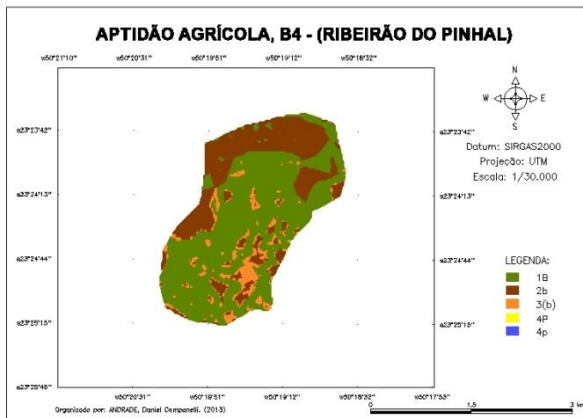
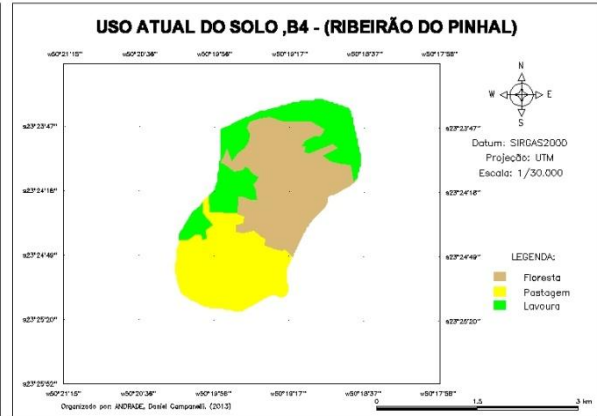
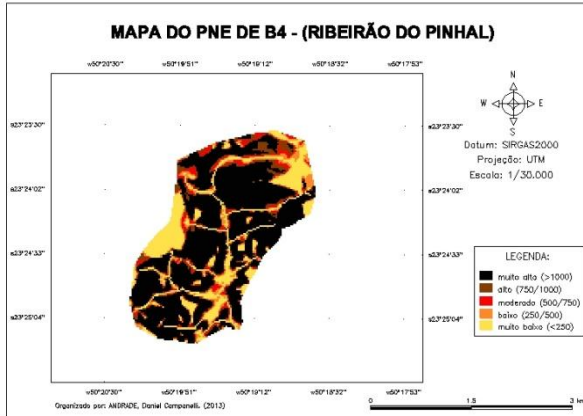
**Apêndice B** - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B2 (Santo Antonio da Platina).



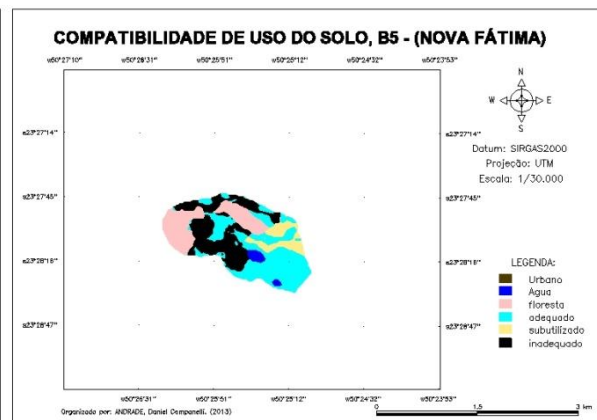
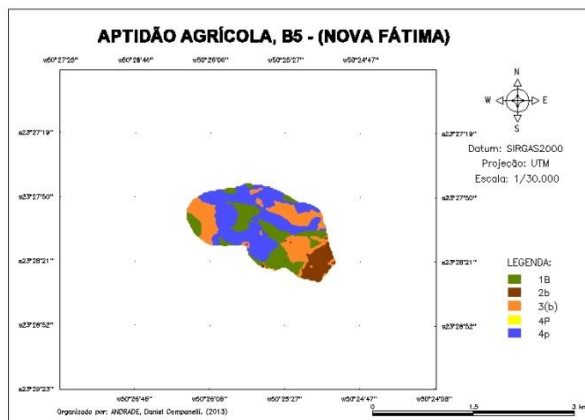
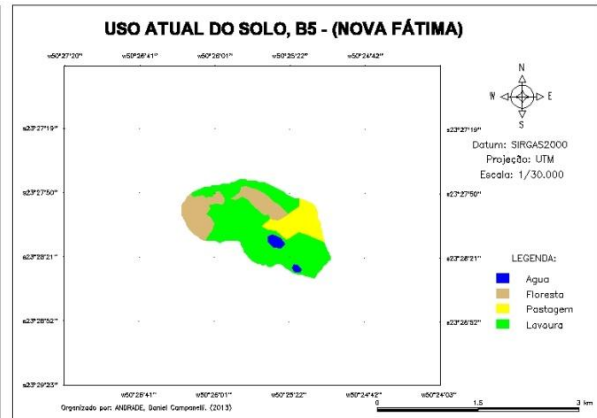
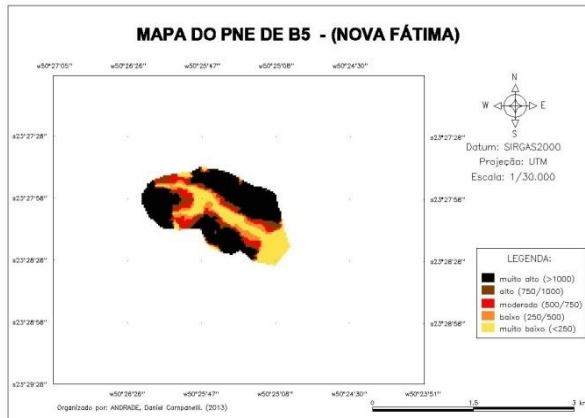
**Apêndice C** - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B3 (Jundiáí do Sul).



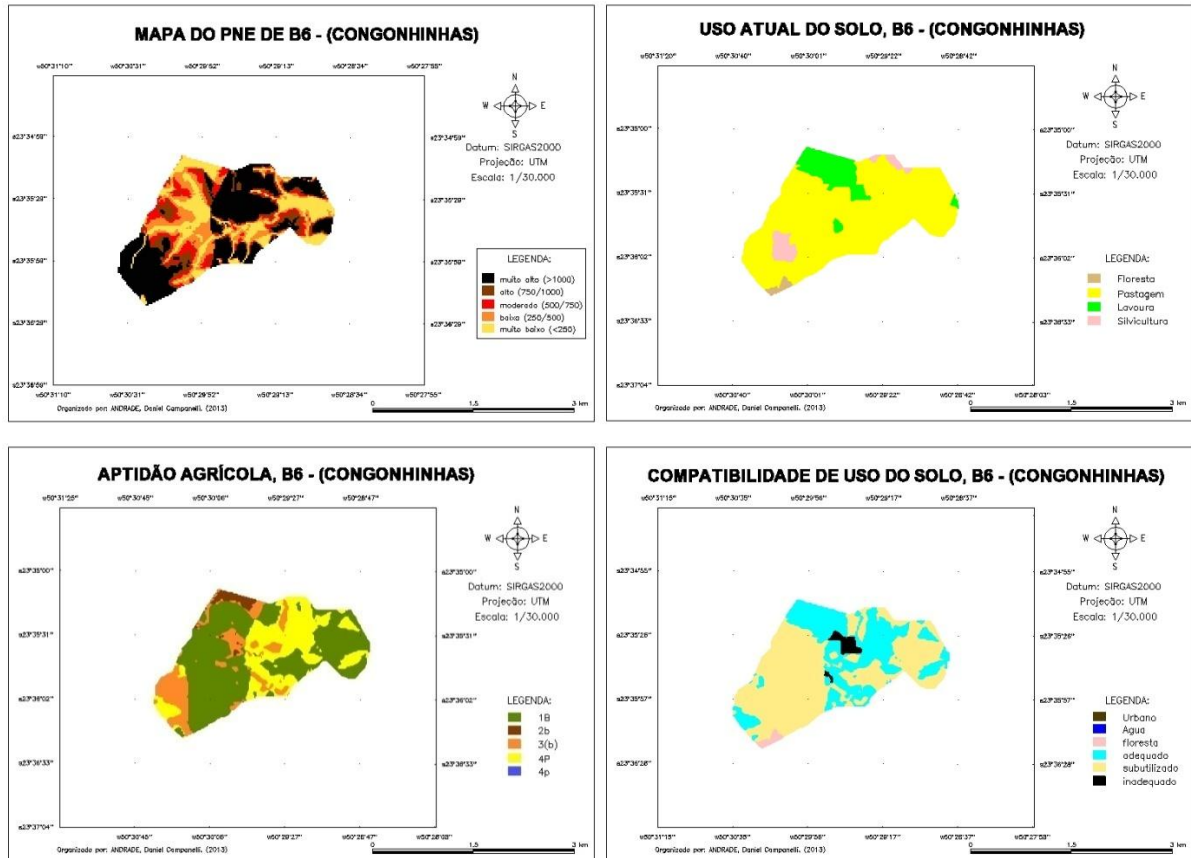
**Apêndice D** - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B4 (Ribeirão do Pinhal).



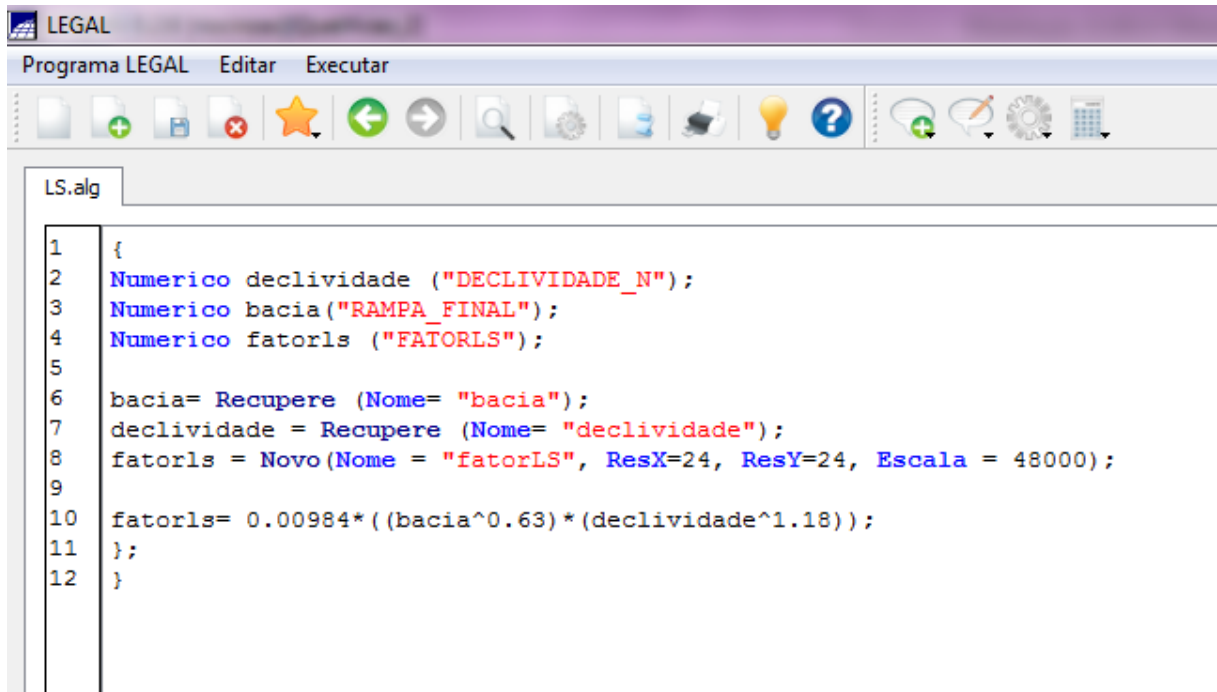
**Apêndice E** - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B5 (Nova Fátima).



**Apêndice F** - Mapa do potencial natural de erosão (PNE), mapa de uso atual do solo, mapa de aptidão agrícola das terras e mapa de conflito de uso do solo da microbacia B6 (Congonhinhas).

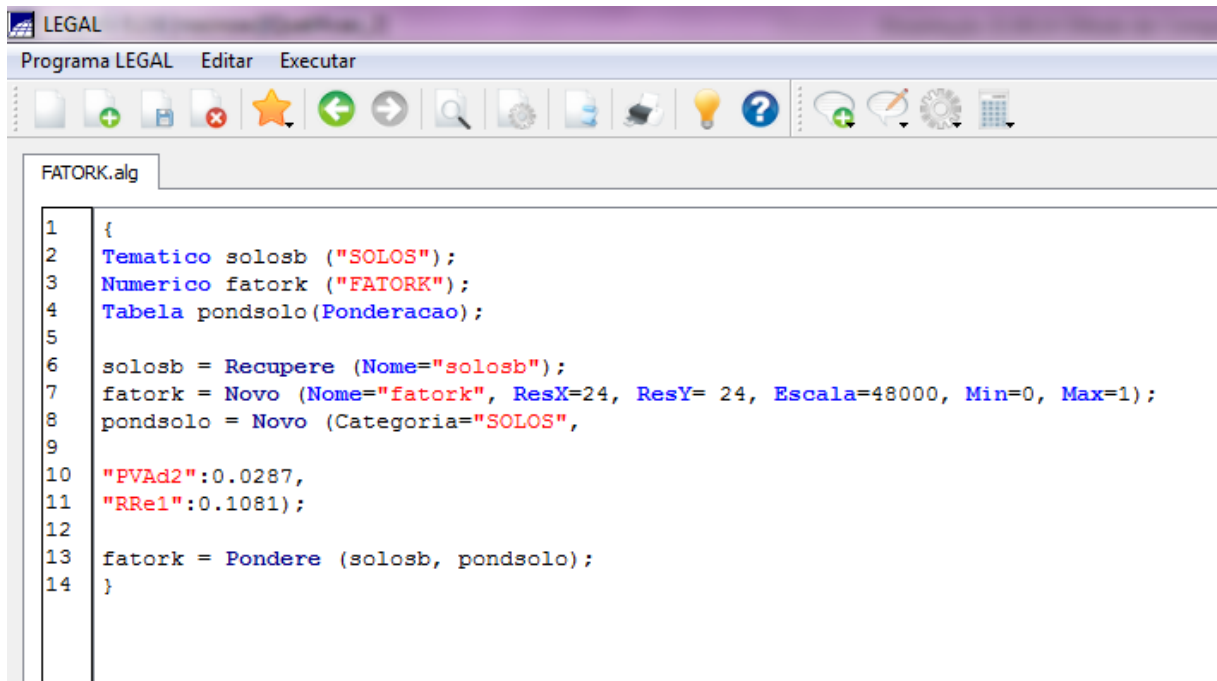


## Apêndice G - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI fator LS.



The image shows a screenshot of the LEGAL programming environment. The window title is "LEGAL". The menu bar includes "Programa LEGAL", "Editar", and "Executar". The toolbar contains various icons for file operations, navigation, and execution. The main editor area shows a script named "LS.alg" with the following code:

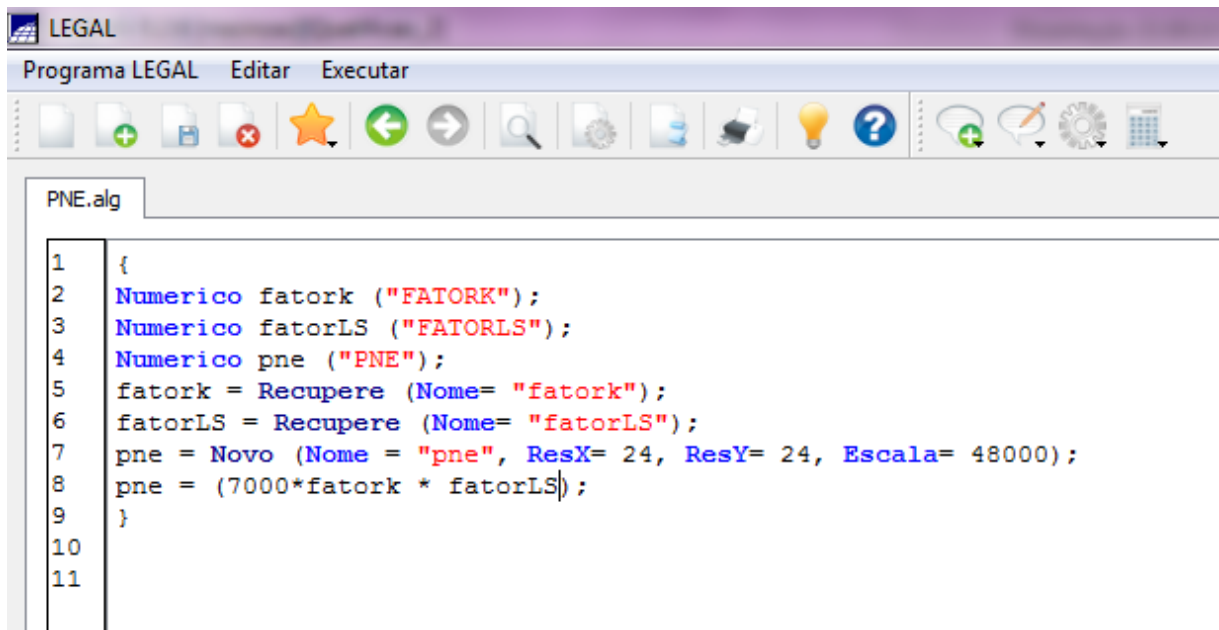
```
1 {
2  Numerico declividade ("DECLIVIDADE_N");
3  Numerico bacia("RAMPA_FINAL");
4  Numerico fatorls ("FATORLS");
5
6  bacia= Recupere (Nome= "bacia");
7  declividade = Recupere (Nome= "declividade");
8  fatorls = Novo(Nome = "fatorLS", ResX=24, ResY=24, Escala = 48000);
9
10 fatorls= 0.00984*((bacia^0.63)*(declividade^1.18));
11 };
12 }
```

**Apêndice H** - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI fator K.

The image shows a screenshot of the LEGAL programming environment. The window title is "LEGAL". The menu bar includes "Programa LEGAL", "Editar", and "Executar". The toolbar contains various icons for file operations, navigation, and execution. The main editor area displays the code for "FATORK.alg" with line numbers 1 through 14. The code defines a program structure with variables and functions.

```
1 {
2   Tematico solosb ("SOLOS");
3   Numerico fatork ("FATORK");
4   Tabela pondsolo (Ponderacao);
5
6   solosb = Recupere (Nome="solosb");
7   fatork = Novo (Nome="fatork", ResX=24, ResY= 24, Escala=48000, Min=0, Max=1);
8   pondsolo = Novo (Categoria="SOLOS",
9
10  "PVAd2":0.0287,
11  "RRe1":0.1081);
12
13  fatork = Pondere (solosb, pondsolo);
14 }
```

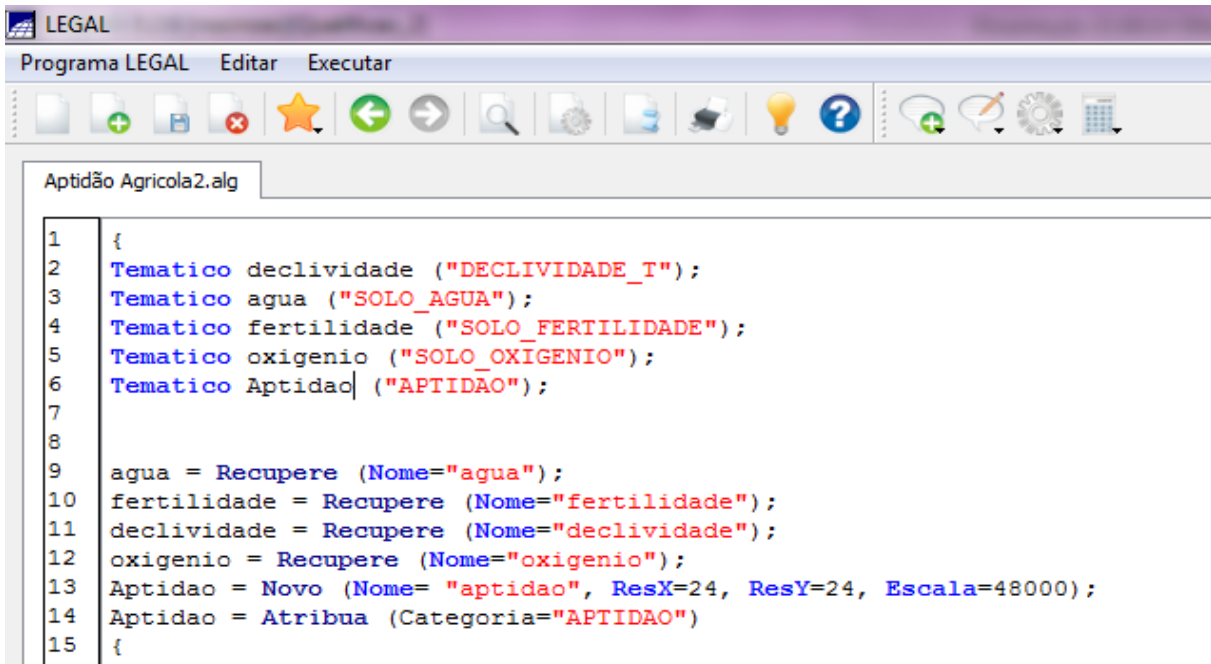
**Apêndice I** - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI do Potencial natural de erosão (PNE).



The image shows a screenshot of the LEGAL programming environment. The window title is "LEGAL". The menu bar includes "Programa LEGAL", "Editar", and "Executar". The toolbar contains various icons for file operations, navigation, and execution. The main editor area shows a file named "PNE.alg" with the following code:

```
1 {
2   Numerico fatork ("FATORK");
3   Numerico fatorLS ("FATORLS");
4   Numerico pne ("PNE");
5   fatork = Recupere (Nome= "fatork");
6   fatorLS = Recupere (Nome= "fatorLS");
7   pne = Novo (Nome = "pne", ResX= 24, ResY= 24, Escala= 48000);
8   pne = (7000*fatork * fatorLS);
9 }
10
11
```

**Apêndice J** - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI de Aptidão agrícola das terras (SAAT), parte 1.



The image shows a screenshot of the LEGAL software interface. The window title is 'LEGAL'. The menu bar includes 'Programa LEGAL', 'Editar', and 'Executar'. The toolbar contains various icons for file operations, navigation, and execution. The main area displays a code editor for the file 'Aptidão Agricola2.alg'. The code is as follows:

```
1 {
2   Tematico declividade ("DECLIVIDADE_T");
3   Tematico agua ("SOLO_AGUA");
4   Tematico fertilidade ("SOLO_FERTILIDADE");
5   Tematico oxigenio ("SOLO_OXIGENIO");
6   Tematico Aptidao ("APTIDÃO");
7
8
9   agua = Recupere (Nome="agua");
10  fertilidade = Recupere (Nome="fertilidade");
11  declividade = Recupere (Nome="declividade");
12  oxigenio = Recupere (Nome="oxigenio");
13  Aptidao = Novo (Nome= "aptidao", ResX=24, ResY=24, Escala=48000);
14  Aptidao = Atribua (Categoria="APTIDAO")
15  {
```

## Apêndice K - Modelo de programação LEGAL utilizado para a criação do PI de Aptidão agrícola das terras (SAAT), parte 2.

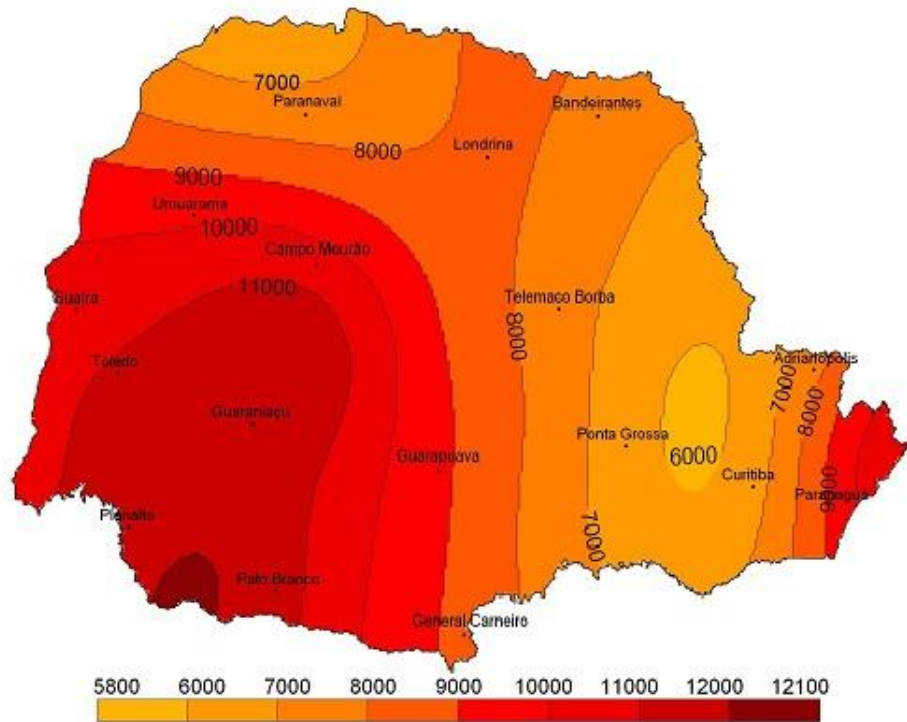
```

16
17 "1B": ((fertilidade=="Ligeiro" | (agua=="Ligeiro" | (oxigenio=="Ligeiro" | (oxigenio=="Ligeiro" | (declividade=="Nulo" | declividade=="Ligeiro"))),
18 "2b": ((fertilidade=="Ligeiro" | (agua=="Moderado" | (oxigenio=="Ligeiro" | (oxigenio=="Moderado" | (declividade=="Ligeiro"))),
19 "3(b)": ((fertilidade=="Ligeiro" | fertilidade=="Moderado" | (agua=="Moderado" | (oxigenio=="Moderado" | (declividade=="Moderado1" | declividade=="Moderado2"))),
20
21 "4P": ((fertilidade=="Moderado" | (agua=="Moderado" | (declividade=="Moderado1" | declividade=="Moderado2" | declividade=="Forte"))),
22 "4p": ((fertilidade=="Moderado" | (agua=="Moderado" && (declividade=="Forte"))),
23 "4(p)": ((declividade=="Muitoforte1")),
24
25 "5S": ((fertilidade=="Moderado" && (agua=="Moderado" && (oxigenio=="Ligeiro" && (declividade=="Forte"))),
26 "5s": ((agua=="Moderado" && (oxigenio=="Ligeiro" && (declividade=="Forte"))),
27 "5(s)": ((fertilidade=="Moderado" && (oxigenio=="Ligeiro" | (oxigenio=="Moderado" && (declividade=="Muitoforte1"))),
28
29 "5N": ((fertilidade=="Moderado" | (agua=="Moderado" | (oxigenio=="Moderado" | (declividade=="Forte"))),
30 "5n": ((agua=="Moderado" | (declividade=="Forte"))),
31 "5(n)": ((agua=="Moderado" | (declividade=="Forte"))),
32
33 "6": (declividade=="Muitoforte2"),
34 "6": (declividade=="Muitoforte3")
35 };
36 }

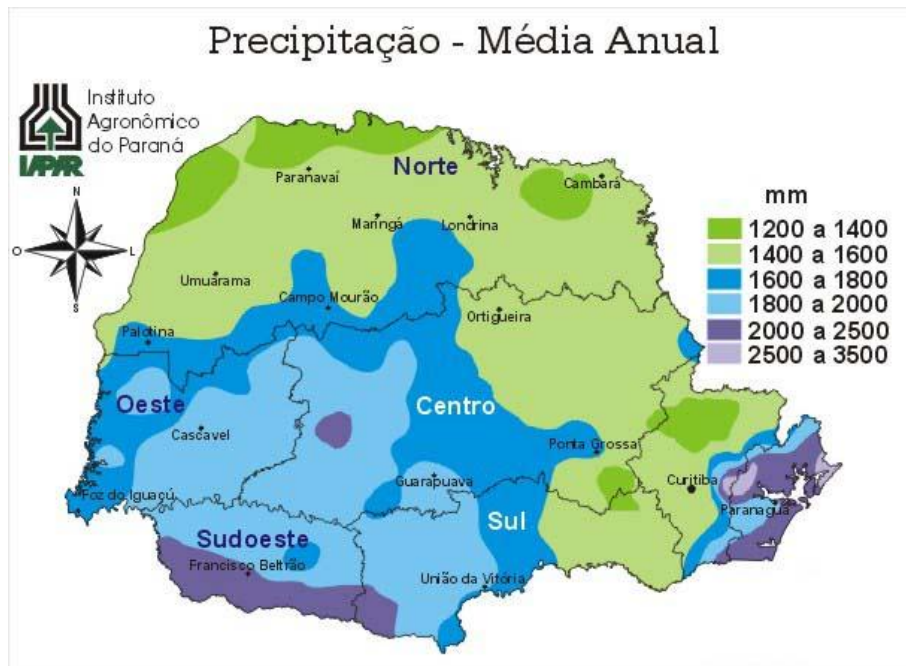
```

## **ANEXOS**

**Anexo A** - Mapa de erosividade (Fator R) do Estado do Paraná, de acordo com estudo de Waltrick (2010).



**Anexo B** - Mapa de precipitação média anual do Estado do Paraná, segundo o Instituto Agrônomo do Paraná (CAVIGLIONE et al., 2000).



**Anexo C** - Mapa de umidade relativa média anual do Estado do Paraná, segundo o Instituto Agrônômico do Paraná (CAVIGLIONE et al., 2000).

