



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E  
AMBIENTAL

- MESTRADO -

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO GRAMAME CONSIDERANDO OS CENÁRIOS ATUAL E POTENCIAL**

por

**Andréa Karla Gouveia Cavalcanti**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba  
para obtenção do grau de Mestre

**João Pessoa - Paraíba**

**Maio- 2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E  
AMBIENTAL

- MESTRADO -

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO GRAMAME CONSIDERANDO OS CENÁRIOS ATUAL E POTENCIAL**

Dissertação submetida ao Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia  
Urbana e Ambiental da Universidade  
Federal da Paraíba, como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de  
Mestre

**Andréa Karla Gouveia Cavalcanti**

**Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva**


**João Pessoa - Paraíba**

**Maio - 2014**


***"INVESTIGAÇÃO SOBRE O USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
GRAMAME CONSIDERANDO OS CENÁRIOS ATUAL E POTENCIAL"***

**ANDRÉA KARLA GOUVEIA CAVALCANTI**  
Dissertação aprovada em 16 de maio de 2014.

**Período Letivo: 2014.1**

  
**Prof. Dr. TARCISO CABRAL DA SILVA- UFPB**  
(Orientador)

  
**Prof. Dr. HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA- UFPB**  
(Membro Interno)

  
**Prof. Dr. JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO - UFCG**  
(Membro Externo)

  
**Prof. Dr. CARLOS LAMARQUE GUIMARÃES- IFPB**  
(Membro Externo)

**João Pessoa/PB**  
**2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me permitido a vida e tudo o que tenho atualmente.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais e irmãos, pois, sem o apoio, ajuda e a simples presença deles em minha vida eu nada seria e nada teria alcançado.

Ao Prof. Dr. Tarciso Cabral pela orientação e todo o conhecimento por ele me repassado, assim como pela sua dedicação e paciência ao me instruir desde que fui aluna de iniciação científica.

Aos professores do PPGEUA-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, por todo o conhecimento adquirido ao longo dos dois anos do mestrado.

Aos amigos do mestrado, em especial a Eliamin Rosendo e Emanuela Falcão, pela convivência e companheirismo em diversos trabalhos ao longo das disciplinas do mestrado, assim como pelo apoio em momentos difíceis na elaboração dessa dissertação.

Agradeço em especial a André Pires pela convivência, companheirismo e auxílio desde os primórdios dessa dissertação, tanto na parte técnica como emocional, sempre me apoiando em todos os momentos na confecção desse trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos para a realização do Mestrado

## RESUMO

Com o crescimento econômico acelerado que tem ocorrido nas últimas décadas nos países em desenvolvimento como o Brasil, há uma busca cada vez mais intensa por áreas que possam ser empregadas em atividades agrícolas, pecuárias e industriais. A ocupação dessas áreas de maneira inadequada é uma das principais causas de processos como a degradação dos solos, pois, em geral, não é estudada a aptidão das terras antes de destinar um uso para as mesmas. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo investigar sobre o uso do solo na bacia hidrográfica do rio Gramame, a montante do reservatório Gramame-Mamuaba, apontando conflitos, e gerando informações para o planejamento por meio da aplicação da metodologia de determinação da propensão ao risco à perda de solo e da definição dos usos potenciais com base no cálculo do coeficiente de rugosidade para pequenas bacias, além de classificar os conflitos identificados. Os resultados encontrados apontaram que o cenário potencial de uso das terras obtido para a área de estudo provoca uma maior perda de solo do que o uso do solo encontrado atualmente na bacia hidrográfica analisada. Foi observado também que a ausência de conflito de uso do solo foi predominante na área de estudo, estando presente em 47,13% das áreas. Os conflitos considerados positivos foram assim classificados em 34,56% da área da bacia hidrográfica. A situação em que o uso do solo atual é mais adequado do que o sugerido, conforme os critérios do coeficiente de rugosidade, caracterizando conflitos negativos, ocorreu em apenas 18,31% do total.

**PALAVRAS-CHAVE:** uso do solo, propensão ao risco à perda de solo, inadequações de uso do solo.

## **ABSTRACT**

The economic growth that has been occurred in the world, especially in countries like Brazil, there was an increasingly intense search for areas occupied with agricultural, livestock and industrial activities. The occupation of these areas inappropriates is a leading cause of processes such as soil degradation, since, in general, the ability of the land is not studied before the process of allocation a use for them. Thus, this study aimed to investigate the land use in the watershed of Gramame river, upstream of the reservoir Gramame - Mamuaba, pointing conflicts, and generating information for planning by applying the methodology to determine the propensity to risk the soil loss and the definition of potential uses based on the calculation of roughness coefficient for hydrographic basins and the classification of the identified conflicts. The results indicate that the potential usage scenario of land obtained for the study area causes a greater soil loss from the land use currently found in the catchment area. It was also observed that the absence of conflicts or inadequacies was predominant in the study area was present in 47,13% of the area. The conflicts considered positives was classifieds in while 18,31% of the watershed. The situation where the use of the current soil is more appropriate than suggested according to the coefficient of roughness, featuring negative conflicts occurred only 18,31% of the total.

**KEYWORDS:** land use, soil loss, conflicts of land use.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Área de estudo .....	33
Figura 02 - Perfis longitudinais dos rios Gramame e Mamuaba.....	37
Figura 03 - Fluxograma da metodologia adotada .....	40
Figura 04 - Pequenas bacias hidrográficas delimitadas na área de estudo .....	52
Figura 05 - Carta geológica da bacia hidrográfica estudada.....	54
Figura 06 - Carta Geomorfológica da bacia hidrográfica estudada.....	55
Figura 07 - Carta pedológica da bacia hidrográfica estudada.....	56
Figura 08 - Uso do solo e cobertura vegetal atual .....	57
Figura 09 - Lavoura de cana-de-açúcar. Localização: 07°15'6,4"S; 35°0'5"O .....	58
Figura 10 - Lavoura de cana-de-açúcar. Localização: 07°21'24,1"S; 35°8'3"O .....	59
Figura 11 - Vegetação rasteira. Localização: 07°20'45,8"S; 35°5'16,2"O.....	59
Figura 12: - Área de mata isolada. Localização: 07°21'24,1"S; 35°8'3"O .....	60
Figura 13 - Exemplo de mata ciliar. Localização: 07°21'06,3"S; 35°1'30".....	60
Figura 14 - Bambu. Localização: 07°9'28,9"S; 35°7'4"O .....	61
Figura 15 - Lavoura de abacaxi. Localização: 07°23'42,3"S; 35°8'2"O .....	61
Figura 16 - Área Urbana. Localização: 07°23'42,3"S; 35°8'2"O .....	62
Figura 17 - Extração de areia. Localização: 07°20'32,7"S; 35°4'2"O.....	62
Figura 18 - Eucalipto. Localização: 07°20'32,7"S; 35°4'2"O .....	63
Figura 19 - Uso potencial da terra obtido do conceito do coeficiente de rugosidade....	64
Figura 20: Intensidade pluviométrica na bacia hidrográfica estudada.....	65
Figura 21 - Risco à perda de solo para o tema Geologia .....	66
Figura 22 - Risco à perda de solo para o tema geomorfologia .....	67
Figura 23 - Risco à perda de solo para o tema pedológico .....	69
Figura 24 - Risco à perda de solo para o tema climatológico .....	70
Figura 25 - Risco à perda de solo para o uso e ocupação do solo atual .....	71
Figura 26 - Risco à perda de solo para o uso potencial do solo.....	72
Figura 27 - Risco à perda de solo para o cenário atual .....	73
Figura 28 - Risco à perda de solo para o cenário potencial .....	75
Figura 29 - Diferença entre o cenário atual e o potencial .....	77
Figura 30 - Inadequações do uso do solo .....	79
Figura 31: Classes dos conflitos ou inadequações encontrados.....	80
Figura 32 - Porcentagem das classes de conflito por bacia hidrográfica .....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Categorias morfodinâmicas.....	24
Quadro 02 - Unidades de risco à perda de solo .....	25
Quadro 03 - Classificação dos usos potenciais.....	28
Quadro 04 - Características dos sensores OLI e TIRS do LandSat 8.....	31
Quadro 05 - Expressões para os índices morfométricos.....	41
Quadro 06 - Classificação quanto à geologia.....	44
Quadro 07 - Classificação quanto à amplitude altimétrica .....	45
Quadro 08 - Classificação quanto à declividade .....	46
Quadro 09 - Classificação quanto à amplitude do interflúvio.....	46
Quadro 10 - Classificação quanto à pedologia.....	47
Quadro 11 - Classificação quanto ao uso do solo .....	47
Quadro 12 - Classificação quanto ao uso potencial .....	48
Quadro 13 - Classificação quanto à intensidade pluviométrica.....	48
Quadro 14 - Pesos adotados para os usos .....	50
Quadro 15 - Classes de conflito .....	50
Quadro 16 - Caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas.....	53
Quadro 17 - Distribuição percentual das unidades geológicas .....	54
Quadro 18 - Distribuição percentual das classes de solo.....	57
Quadro 19 - Distribuição percentual das áreas das classes de uso do solo ....	58
Quadro 20 - Intensidade Pluviométrica na bacia hidrográfica estudada .....	65
Quadro 21 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema geologia .....	66
Quadro 22 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema geomorfológico.....	68
Quadro 23 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema pedológico .....	69
Quadro 24 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema climatológico ...	70
Quadro 25 - Propensão ao risco à perda de solo para o uso e ocupação do solo atual .....	72
Quadro 26 - Propensão ao risco à perda de solo para o uso e ocupação do solo potencial.....	73
Quadro 27 - Propensão ao risco à perda de solo para cenário considerando o uso atual.....	74
Quadro 28 - Propensão ao risco à perda de solo para cenário considerando o uso potencial .....	76
Quadro 29 - Diferença entre o cenário Atual e o Potencial para o risco à perda de solo.....	77
Quadro 30 - Cenário Atual X Cenário Potencial.....	78
Quadro 31 - Porcentagem de área por classe de conflito para a bacia hidrográfica estudada.....	79
Quadro 32 - Porcentagem de área por classe de conflito e adequação.....	81
Quadro 33 - Porcentagem de área por classe de conflitos e adequações nas bacias hidrográficas .....	82

Quadro 34 – Porcentagem total de área por classe de conflito e adequações na  
bacia hidrográfica estudada ..... 82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - Análise dos Processos Hierárquicos

APP - Área de Preservação Permanente

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

CR - Coeficiente de Rugosidade

ECVAM - Mapa de Avaliação dos Valores da Conservação Ambiental

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FR - Frequência de Rádio

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LR - Regressão Logística

LSI - Índice de Sustentabilidade da Terra

MARA - Mapeamento de Risco Ambiental

MDE - Modelo Digital de Elevação

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NSEI - Nash–Sutcliffe Efficiency Index

OLI - Operacional Terra Imager

PNE - Potencial Natural de Erosão

RUSLE - Equação Universal de Perda de Solo Revisada

SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais.

SERHMACT/PB - Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia.

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TIRS - Thermal Infrared Sensor

USGS – United States Geological Survey

UTB's - Unidades Territoriais Básicas

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico

## **SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Objetivo.....</b>	<b>13</b>
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	13
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Conceito de Risco.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Propensão ao risco à perda de solo.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 METODOLOGIAS DE ANÁLISES DE RISCO À PERDA DE SOLO.	16
2.2.2 CONCEITO DE PAISAGEM .....	21
2.2.3 RISCO PAUTADO NA ANÁLISE DA PAISAGEM.....	23
2.2.4 RISCO À PERDA DE SOLO .....	23
<b>2.3 Planejamento ambiental aplicado à bacia hidrográfica.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 USO POTENCIAL DA TERRA.....	27
2.3.2 CONFLITOS RELATIVOS AOS USOS DO SOLO .....	28
2.3.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	29
2.3.4 SENSORIAMENTO REMOTO NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	30
<b>3 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Aspectos físicos.....</b>	<b>33</b>
3.1.1 GEOLOGIA .....	33
3.1.2 GEOMORFOLOGIA.....	35
3.1.3 PEDOLOGIA.....	35
3.1.3 CLIMA.....	36
<b>3.2 Aspectos hidrológicos .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3 Aspectos socioeconômicos.....</b>	<b>37</b>
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Homogeneização e tratamento dos dados .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 Delimitação e caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Definição do Uso Potencial.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Álgebra de mapas .....</b>	<b>42</b>

<b>4.5 Elaboração dos Mapas Temáticos Básicos .....</b>	<b>42</b>
4.5.1 GEOLOGIA.....	42
4.5.2 GEOMORFOLOGIA.....	42
4.5.3 PEDOLOGIA.....	43
4.5.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	43
4.5.5 USO POTENCIAL DA TERRA.....	43
4.5.6 CLIMATOLOGIA .....	44
<b>4.6 Elaboração dos Mapas de Risco .....</b>	<b>44</b>
4.6.1 RISCO AO TEMA GEOLOGIA.....	44
4.6.2 RISCO AO TEMA GEOMORFOLOGIA .....	44
4.6.3 RISCO AO TEMA PEDOLOGIA .....	46
4.6.4 RISCO PARA O TEMA USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	47
4.6.5 RISCO PARA O USO POTENCIAL DA TERRA .....	48
4.6.6 RISCO AO TEMA CLIMATOLOGIA.....	48
4.6.7 RISCO À PERDA DE SOLO .....	48
4.6.8 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE RISCO À PERDA DE SOLO .....	49
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Delimitação e caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Geologia da bacia hidrográfica do rio Gramame .....</b>	<b>53</b>
<b>5.3 Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Gramame .....</b>	<b>55</b>
<b>5.4 Pedologia da bacia hidrográfica do rio Gramame.....</b>	<b>56</b>
<b>5.5 Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame.....</b>	<b>57</b>
5.5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ATUAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	57
5.5.2 USO POTENCIAL DO SOLO .....	63
<b>5.6 Intensidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Gramame...</b>	<b>64</b>
<b>5.7 Risco à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Gramame.....</b>	<b>65</b>
5.7.1 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA GEOLOGIA.....	65
5.7.2 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA GEOMORFOLOGIA ..	67
5.7.3 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA PEDOLOGIA .....	68
5.7.4 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA CLIMATOLOGIA.....	70
5.7.5 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA USO DO SOLO ATUAL .....	71
5.7.6 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O USO DO SOLO POTENCIAL	72

5.7.7 RISCO À PERDA DE SOLO DO CENÁRIO ATUAL.....	73
5.7.8 RISCO NATURAL À PERDA DE SOLO DO CENÁRIO POTENCIAL .....	74
<b>5.8 Análise dos Cenários de Risco.....</b>	<b>76</b>
<b>5.9 Inadequações do uso do solo.....</b>	<b>78</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE A Carta Geológica.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE B - Carta de Risco ao tema Geologia .....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE C - Carta da amplitude do interflúvio .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE D- Carta de Amplitude Altimétrica.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE E - Carta de Declividade .....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE F - Carta Geomorfológica.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE G - Carta de Risco ao tema Geomorfologia.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE H - Carta Pedológica.....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE I - Carta de Risco ao tema Pedologia .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE J - Carta de Uso e Ocupação do Solo .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE K - Carta de Risco ao tema Uso e Ocupação do Solo .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE L - Carta de Uso Potencial da Terra .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE M - Carta de Risco ao Uso Potencial da Terra.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE N - Carta Climatológica .....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE P - Carta de Risco à Perda de Solo: Cenário Atual .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE Q - Carta de Risco à Perda de Solo: CenárioPotencial.....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE R - Carta de Risco à Perda de Solo: DiferençaCenário Atual x Cenário Potencial .....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE S – Inadequações de uso do solo .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE T – Classes de conflitos encontrados.....</b>	<b>111</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso do solo tem sido alvo de diversos estudos devido ao crescimento econômico ocorrente no Brasil, o qual promove uma busca cada vez mais intensa por áreas que possam ser empregadas em atividades agrícolas, pecuárias e industriais.

A ocupação das terras de maneira inadequada, onde dificilmente são respeitadas as características do solo, da região que se pretende utilizar e as aptidões de cada local, associadas às técnicas inapropriadas de manejo do uso do solo, acelera os processos relacionados à degradação ambiental.

As degradações dos solos podem causar a redução de sua fertilidade, a extinção da microfauna, além de contribuírem para as mudanças climáticas em menores escalas e atuarem em processos relacionados à desertificação. Com relação aos aspectos ambientais das bacias hidrográficas, essa ação é mais preocupante, pois, causa problemas como, secas, enchentes e erosões, podendo afetar a qualidade dos recursos hídricos.

A zona costeira do litoral sul do estado da Paraíba apresenta paisagens diversificadas e caracteriza-se pela presença de elementos naturais e artificiais que lhe atribuem grande fragilidade. A bacia hidrográfica do rio Gramame se encaixa nesse contexto geográfico e econômico, possuindo como seus principais usos o abastecimento de água e a agricultura, sendo essa última a principal atividade econômica ocorrente na região, a qual é centrada na cultura de cana-de-açúcar, seguida pela lavoura do abacaxi. Atualmente, essa área de captação é responsável por cerca de 70% do abastecimento hídrico da região metropolitana de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, abrangendo total ou parcialmente os municípios do Conde, Bayeux, Cabedelo, Pedras de Fogo e Santa Rita. Tendo por base as funcionalidades supracitadas da mesma, pressupõe-se a importância desta na região em que está localizada, principalmente a área contida no alto curso do rio, a montante do reservatório fluvial Gramame-Mamuaba, contribuinte para o suprimento hídrico dos locais acima mencionados.

Esta bacia hidrográfica vem sendo um fator de preocupação para os pesquisadores e ambientalistas, em geral, em função das transformações

impostas no meio físico pelo setor econômico, acarretando em problemas relacionados à perda de solo. Dessa forma, o planejamento do uso do solo pode servir como um instrumento capaz de prevenir essas situações.

A importância do planejamento da ocupação do uso do solo em bacias hidrográficas foi ressaltada por Bezerra (2013) relativamente à preocupação de manter a capacidade de produção hídrica, evitar a perda da qualidade da água dos rios por acúmulo de sedimentos e buscar a constância dos valores médios das vazões de base dos cursos d'água perenes.

As características morfométricas de uma bacia hidrográfica, quando associadas a particularidades do solo e relevo permitem a definição do potencial de seu uso, especialmente por meio do parâmetro nomeado por Coeficiente de Rugosidade, que direciona o uso potencial das terras rurais, quanto às suas características para atividades de agricultura, pecuária, silvicultura com reflorestamento ou para preservação permanente (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2002, p. 113).

O mapeamento das áreas de riscos à perda de solo pode ser utilizado para a proteção e conservação dos recursos naturais. Dessa forma, Crepani et al. (2001) escrevem sobre a necessidade do uso de um modelo de propensão à perda de solo com o conhecimento de informações fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Climatologia permitindo assim um retrato fiel do comportamento de cada região frente às alterações impostas em sua ocupação.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), tornam possível a análise do uso do solo em bacias hidrográficas fazendo com que, metodologias eficientes para a análise de risco à perda do solo como a de Crepani et al. (2001) ou a de orientação para o planejamento do uso do solo com base no coeficiente de rugosidade definido por Sicco-Smit (1978) sejam facilmente aplicáveis.

Nesse sentido, essa pesquisa refere-se a uma investigação sobre o uso do solo a montante do reservatório Gramame-Mamuaba, em que se procurou apontar conflitos ou inadequações, e gerar uma base de informações para o planejamento por meio da aplicação da metodologia de determinação da propensão ao risco à perda de solo proposta por Crepani et al. (2001) e da

definição dos usos potenciais com base no cálculo do coeficiente de rugosidade para pequenas bacias, além da classificação dos conflitos identificados com a utilização da metodologia adaptada de Valle Junior (2008).

## **1.1 Objetivo**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Investigar sobre o uso do solo em pequenas bacias hidrográficas situadas a montante do reservatório Gramame-Mamuaba, apontando conflitos ou inadequações de uso do solo.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Gerar informações para o planejamento do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Gramame a montante da seção de captação para o abastecimento d'água;
- Determinar a propensão ao risco à perda de solo com base na metodologia aplicada;
- Definir os usos potenciais do solo com base no cálculo do coeficiente de rugosidade para pequenas bacias;
- Classificar os conflitos de uso do solo nas pequenas bacias do rio Gramame nas áreas enfocadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conceito de Risco

A Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNISDR, 2009) afirma que o termo risco tem conotações distintas. Na linguagem popular foca-se em seu conceito a probabilidade ou a possibilidade de algo ocorrer, enquanto no contexto técnico se dá mais importância às consequências, em termos de possibilidade de perdas, demonstrando assim que não se compartilham as mesmas percepções sobre o seu significado.

Segundo Arboleda (2008), o risco é a probabilidade de perdas futuras e se constitui como a interação entre dois fatores básicos, a ameaça e a vulnerabilidade.

A UNISDR (2009) também apresenta um conceito para risco que corrobora com o apresentado por Arboleda (2008), onde o risco é a probabilidade de que se produza um evento e suas consequências negativas.

De acordo com Castro et al. (2005), o risco refere-se à probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constante se não determinados, e à maneira como estes processos afetam a vida humana.

Peixoto (2008) distingue os riscos em algumas categorias, a saber: risco aceitável ou tolerável, natural, tecnológico, social, de desastre e ambiental. Risco aceitável é aquele que pode ser suportado pelo indivíduo e natural pode ser associado ao comportamento dinâmico dos sistemas naturais. Já o tecnológico está diretamente ligado a ocorrência de eventos prejudiciais a vida em decorrência de decisões de investimentos na estrutura produtiva. Tem-se ainda o risco social que se associa aos fatores que contribuem para a degradação das condições de vida de um ser humano, enquanto que os riscos de desastres decorrem de desastres naturais.

Por fim, risco ambiental pode ser definido, segundo Egler (1996), nos limites entre duas concepções distintas de avaliação dos recursos naturais. De um lado a visão ricardiana de rentabilidade, onde o aproveitamento dos recursos está limitado apenas pela renda marginal na pior terra, expresso no patamar mínimo de lucro que compense o investimento produtivo, e por outro,

a visão de sustentabilidade, onde as restrições ao uso indiscriminado dos recursos naturais devem ser definidas pela sua capacidade de suporte e de renovação.

A vulnerabilidade é definida como a susceptibilidade ou a predisposição intrínseca de um elemento ou de um sistema, de ser afetado gravemente. É o fator interno do risco, dado que esta situação depende da atividade humana (ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE, 2004, p.1). Dessa forma, Silva (2012) afirma que a valoração do risco inclui a avaliação da vulnerabilidade e a predição do impacto, levando em consideração as margens que definem um risco aceitável em determinada comunidade.

## **2.2 Propensão ao risco à perda de solo**

Araújo et al. (2010), em uma abordagem holística, considera uma unidade de terra tanto quanto um componente vertical que abrange desde os aspectos climáticos até os aquíferos localizados nos substratos mais profundos, como também inclui elementos horizontais de uso da terra e hidrológicos.

Sob uma visão mais específica do conceito de solo, esse é um recurso básico e fundamental para a vida terrestre e geralmente mal avaliado. Somente 11% da área mundial não apresenta limitações para uso agrícola; em 28% o clima é muito seco, em 10% é muito úmido; em 23% o solo apresenta desequilíbrios químicos críticos e em 22% é muito raso; os 6% restantes estão permanentemente congelados (FAO, 1980 apud ARAÚJO et al. 2010).

A erosão é a forma mais prejudicial de degradação do solo. Além de reduzir sua capacidade produtiva para as culturas, ela pode causar sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água (COGO et al., 2003, p. 743). Conforme Carvalho et al. (2009), esse processo envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, de acordo com o local de ocorrência.

A forma mais comum de erosão é a perda da camada superficial do solo pela ação da água e/ou do vento. O deslocamento de partículas da camada superior pela ação do vento é mais comum nos climas árido e semiárido do que sob condições mais úmidas (ARAÚJO et al., 2010).

Quando a erosão ocorre de uma maneira acelerada, ela pode, de acordo com Valle Junior (2008), provocar prejuízos tanto para a agropecuária quanto para o meio ambiente, promovendo o assoreamento, a poluição e a eutrofização das águas superficiais, com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Segundo Wischmeier e Smith (1978 apud Silva et al. 2009), os solos apresentam uma tolerância quanto às perdas, acima do qual não podem manter sua capacidade produtiva. Considera-se que esse limite não foi ultrapassado quando ainda há a possibilidade de formação e renovação dos solos.

Entre os fatores que influenciam a perda de solo podem ser citadas, as chuvas, a infiltração, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Crepani et al. (2001) afirmam que em estudos que visam quantificar o risco à perda de solo deve-se estudar a gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, assim como o tipo de cobertura vegetal. Para isso os autores se utilizam de informações provenientes da Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Climatologia.

Segundo Crepani et al. (2001), a Geologia contribui para as análises quando à perda de solo no que se refere a evolução geológica do ambiente e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Já a Geomorfologia caracteriza a estabilidade do ambiente, por meio de informações que a compõe como declividade, altimetria e amplitude de interflúvio. Os estudos pedológicos são úteis quanto à maturidade dos solos. A cobertura vegetal se mostra relevante quanto à capacidade de proteção do solo e, por fim, tem-se o plano de informação climatológico que determina um maior risco quanto maior for sua intensidade pluviométrica.

### 2.2.1 METODOLOGIAS DE ANÁLISES DE RISCO À PERDA DE SOLO

Devido a crescente necessidade de entender e modelar os processos referentes à perda de solo, diversas metodologias estão sendo desenvolvidas com o fim de estudar os seus fatores influentes. Pereira (2009) afirma que os planos de conservação de solos em áreas de alta erosão necessitam de mapas

de risco da ocorrência do fenômeno, que são criados a partir de modelos de erosão.

Tem-se como exemplo de modelos de previsão de perdas de solos, Valle Junior (2008) que identificou as áreas propensas à erosão laminar na bacia do rio Uberaba com base na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), a qual exprime a ação dos principais fatores influenciadores das perdas de solo pela erosão hídrica, diagnosticando, também, o uso potencial das terras a partir do coeficiente de rugosidade. Os resultados encontrados ao se utilizar a metodologia da EUPS convergiram para a espacialização das áreas de risco ambiental enquanto que a metodologia do Coeficiente de Rugosidade (CR) revela os conflitos ambientais quanto ao uso potencial da bacia.

Cogo et al. (2003) avaliaram as perdas de solo e água causadas por erosão hídrica, sob chuva natural, em diversos métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade na região das Missões, Rio Grande do Sul. Os métodos de preparo foram o convencional, o preparo reduzido e a semeadura direta. Já as classes de declividade foram 0-0,04 m/m, 0,04-0,08 m/m e 0,08-0,12 m/m, com gradientes médios de, respectivamente, 0,035; 0,065 e 0,095 m/m. Quanto aos níveis de fertilidade do solo utilizou-se o solo com fertilidade atual e com a mesma corrigida. Observou-se que as perdas de solo por erosão hídrica foram as mais elevadas no preparo convencional. Já com relação à declividade, o aumento da perda de solo ocasionado pelo acréscimo dos valores das classes foi mais evidente no preparo convencional. Foi encontrado para o tipo de solo em estudo um índice de erodibilidade reduzido e concluiu-se também que o período do ano com o maior potencial de erosão hídrica foi o compreendido entre janeiro e março.

Carvalho et al. (2009) se propuseram a avaliar o efeito da erosividade da chuva e dos padrões de precipitação associados a diferentes tipos de preparo e cobertura do solo na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo. A área de estudo escolhida foi o campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Agrobiologia, localizado no município de Seropédica, RJ. O experimento foi conduzido utilizando-se parcelas experimentais de perda de solo com os tratamentos do preparo

convencional do solo em nível e semeadura de mucuna cinza, crotalária, e milho; preparo convencional do solo no sentido do declive e semeadura de milho no mesmo sentido e preparo convencional do solo no sentido do declive. Realizaram-se as coletas de enxurradas sempre após cada evento de chuva capaz de proporcionar escoamento superficial. Para determinação da massa de solo presente nos sedimentos, as amostras foram acondicionadas em estufa de circulação forçada a 60 °C, até que se atingisse massa constante. As perdas totais de solo foram determinadas somando-se a massa de solo presente na suspensão, extrapolada para o volume total escoado, com a massa de solo do sedimento. Observou-se que as perdas de solo foram mais influenciadas pelo emprego dos diferentes tratamentos do que pelas perdas de água.

Santos e Sobreira (2008) analisaram a propensão natural de terrenos aos processos erosivos, tendo como base os métodos sugeridos por Crepani et al. (1996; 2001) e Ross (1992; 1994; 2000). A área de estudo escolhida pelos autores compreende os córregos Carioca, do Bação e do Ribeirão do Carioca.

As duas metodologias aplicadas propõem uma avaliação dos terrenos segundo a análise integrada dos aspectos do meio físico. No entanto, Crepani et al. (1996; 2001) indicam uma análise do risco à perda de solo a partir da identificação de Unidades Territoriais Básicas (UTB's). Já no modelo indicado por Ross (1992; 1994; 2000) a análise da fragilidade pode ser feita a partir de duas formas de abordagem, onde, em trabalhos de escala média utiliza-se os Índices de Dissecação do Relevo e nos estudos em escalas de maior detalhe utiliza-se como base as classes de declividade dos terrenos. Concluiu-se, por fim, que a hierarquização da área segundo o grau de fragilidade ou risco aos processos erosivos constituíram-se em ferramentas orientativas na definição de planos de recuperação, planejamento e zoneamento ambiental das bacias hidrográficas estudadas.

Pereira (2009) empregou em seu trabalho o modelo proposto por Ross (1994) de fragilidade à perda de solo e o modelo de Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) (RENARD et al., 1991), com a finalidade de comparar os dois modelos e promover a discussão sobre suas eficácias objetivando contribuir no ordenamento e planejamento territorial. O autor

utilizou como área de estudo a microbacia hidrográfica do ribeirão de Imaruí, Imaruí/SC. O autor concluiu que por meio da união de alguns fatores do meio físico é possível obter uma primeira visão geral do potencial natural aos processos erosivos e da fragilidade na área de estudo, assim como, ao acrescentar o fator antrópico foi possível determinar o risco da ocorrência de erosão e outras fragilidades.

Oliveira et al. (2007) aplicaram o modelo EUPS (Equação Universal da Perda de Solo) integrado ao *software* de SIG IDRISI em uma seção do alto curso da bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, à montante da cidade de Iracemápolis, (SP). Os autores objetivaram elaborar cartas sínteses relativas ao Potencial Natural de Erosão (PNE), o risco de erosão e a de erosão em relação ao uso das terras. Observou-se, pelos dados apresentados, que não há valores altos de expectativa de erosão, no entanto, os processos erosivos ocorrem em praticamente toda a área. Com esse trabalho foi possível obter uma visão geral do potencial natural aos processos erosivos contido na área de estudo e, com o acréscimo de fatores antrópicos, como o uso da terra, também foi possível determinar o risco da ocorrência de erosão presente. Por fim, também foi possível validar a importância das tecnologias de sensoriamento para as conexões dos fragmentos da realidade.

Freitas et al. (2007) identificaram as áreas com maior potencial de erosão natural segundo o modelo de Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), utilizando como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Preto. Por meio da técnica do cruzamento de imagens de satélites com as áreas potenciais de erosão foi possível observar que essas regiões com altos riscos erosivos estão ocupadas por atividades agropecuárias. Os autores concluíram que essa metodologia permitiu auxiliar no diagnóstico ambiental, estabelecendo estratégias para o planejamento do uso da terra e desenvolvimento sustentável.

Cunha et al. (2011) compararam duas metodologias da análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados tendo por base dois modelos um com apoio nos índices de dissecação do relevo e, o outro, nas classes de declividade. O presente trabalho foi executado na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP). Na comparação das diferenças apresentadas entre

os dois modelos, foram investigadas as influências das variáveis de pedogênese e morfogênese, as quais foram analisadas e comparadas entre si com um critério de importância relativa que indicou a intensidade da fragilidade utilizando-se das inferências geográficas Fuzzy – AHP. Com relação aos dois modelos estudados, observou-se que o modelo de dissecação do relevo apresentou sensibilidade mais elevada à restrição na consideração das variáveis determinantes. Quanto a análise da influência das variáveis, verificou-se que o uso do solo e relevo são as variáveis mais importantes quando se deseja minimizar impactos sobre a aceleração dos processos erosivos em bacias hidrográficas.

Um modelo numérico para o cálculo de taxas de erosão foi desenvolvido e foi nomeado por WATEM/SEDEM. Este modelo utiliza a RUSLE (Equação Universal da Perda de Solo Revisada) e prediz o transporte de sedimentos para os canais de rios usando uma equação da capacidade de transporte distribuída espacialmente. Dessa forma, Shi et al. (2012) objetivaram calibrar o modelo WATEM/SEDEM com dados de campo nos canais próximos ao exutório da bacia, assim como, validar o modelo com dados de campo independentes e avaliar os impactos de um manejo integrado em pequenas bacias. O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do rio Wangjiaqiao, localizada em Zigui County na província de Hubei na China. Os valores do escoamento na bacia e os dados de concentração de sedimento foram coletados entre 1989 e 2005 e obtidos por meio da evaporação de amostras por meio de um aquecimento induzido. Os dados de chuva foram provenientes do mesmo intervalo e obtidos de estações meteorológicas localizadas na área de estudo. Observou-se que se as práticas do manejo integrado de bacias hidrográficas fossem implementadas, os riscos de erosão reduziram significativamente assim como o acúmulo de sedimentos. Contudo, o efeito produzido ainda foi menor que o esperado. Com relação ao modelo WATEM/SEDEM foi possível verificar que ele permitiu a análise da distribuição espacial nas diferentes unidades de terra.

Bagarello et al. (2011) objetivaram desenvolver um modelo preditivo de perda de solo que incluísse um relacionamento entre a concentração de sedimento e variáveis hidrológicas como, o escoamento, a pluviometria e

índices de erosão como a USLE/RUSLE. Os dados foram coletados na região central e na parte meridional da Itália para então proceder-se com a criação dos modelos. Levando em consideração a variedade de condições experimentais em termos de precipitação, solo e inclinação, houve um acordo satisfatório entre os dados medidos e previstos. Os dados previstos também foram avaliados por meio do índice *Nash–Sutcliffe Efficiency Index*(NSEI). Todos os modelos desenvolvidos tiveram os valores calculados do índice próximos a um, o que indica que o modelo é responsável por todas as discrepâncias entre os valores observados e preditos. Esses resultados demonstraram a exatidão dos números estimados e a validade do modelo desenvolvido, assim como a importância de todas as variáveis na estimativa da perda de solo.

Park et al. (2011) analisaram quantitativamente mudanças em valores de perda de solo por meio de séries temporais nos últimos vinte anos usando a RUSLE. A área de estudo escolhida para o trabalho foram todas as áreas contidas na Coreia do Sul, exceto algumas ilhas como Jeju Island, UlleungIsland, e Dokdo. Foi observado também o crescimento urbano e prevista a perda de solo no ano de 2020. Para a análise do crescimento das cidades, um mapa contendo um Índice de Sustentabilidade da Terra (LSI) foi desenvolvido. O LSI foi criado considerando o Mapa de Avaliação dos Valores da Conservação Ambiental (ECVAM) e métodos como a Frequência de Rádio (FR), a Regressão Logística (LR) e a Análise dos Processos Hierárquicos (AHP). O LSI é um mapa de probabilidade que analisa o crescimento urbano que considera o meio urbano, bem como o que não considera e é o fator do uso e cobertura do solo utilizado na RUSLE. Por fim, a quantidade de perda de solo foi estimada no período entre 1985-2005 considerando três cenários com um tempo de recorrência de 10, 50 e 100 anos. Os autores concluíram que ao considerar o uso do ECVAM, a perda de solo foi maior do que sem utilizá-lo.

## 2.2.2 CONCEITO DE PAISAGEM

Os estudos de paisagem eram, inicialmente, muito focados no que se pode nomear de paisagem natural. Com o tempo, esses estudos incorporaram os dados da transformação humana do ambiente no tempo, com a

individualização das paisagens culturais face às paisagens naturais, sem nunca perder de vista as interligações mútuas (SALGUEIRO, 2001, p.41).

Para Barsch (apud LANG e BLASCHKE, 2009, p.93), uma paisagem é um grupo de compartimentos paisagísticos em uma determinada condição, cujas relações entre si são mais estreitas do que em seu entorno. Segundo o próprio, o ecossistema da paisagem é considerado espacialmente como um recorte na esfera da paisagem.

Bertrand (2004) afirma que a paisagem é, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. O mesmo autor salienta que é preciso analisar a paisagem como um todo, incluindo todas as implicações antrópicas contidas na mesma, devido as fortes alterações provocadas pelos homens nas paisagens.

Conforme Florenzano (2008), a homogeneidade de uma unidade de paisagem depende de suas características físicas e culturais, bem como dessa hierarquia e de sua escala de observação.

Sendo assim, o estudo dessa paisagem exige um enfoque, do qual se pretende fazer uma avaliação definindo o conjunto dos elementos envolvidos, a escala a ser considerada e a temporalidade na paisagem (SCHIER, 2003, p.80). Segundo Lang e Blaschke (2009), as paisagens apresentam determinadas funções que estão associadas a processos naturais elementares, essas funções são sempre direcionadas para uma finalidade e representam a dimensão do objetivo dos processos que ocorrem em uma paisagem. No entanto, na maioria das vezes a orientação para uma finalidade não se resume a apenas uma função, por onde se tem a múltipla funcionalidade de paisagens.

Florenzano (2009) descreve que o caminho para uma análise integrada das informações em uma unidade de paisagem que possibilite expressar a sua variabilidade interna, seja em sua composição, arranjo ou função espacial é facilitada por meio do SIG. O mesmo autor cita em sua obra exemplos de trabalhos produzidos por outros pesquisadores que possuem, entre outros objetivos, desenvolver sistemas de mapeamento integrado tendo por unidade

de estudo as paisagens, os quais vêm sendo utilizados na elaboração de zoneamentos ambientais, como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

### 2.2.3 RISCO PAUTADO NA ANÁLISE DA PAISAGEM

Crepani et al. (2001) adotam como base de estudo para o cálculo do risco à perda de solo as unidades territoriais básicas (UTB) as quais podem ser subdivididas em unidades de paisagem natural e polígonos de intervenção antrópica. Uma unidade territorial básica exprime o conceito geográfico de zonalidade por meio de atributos ambientais que permitem diferenciá-la de outras unidades vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais (LUCENA, 1998, p. 90).

As unidades de paisagem natural são definidas de acordo com Crepani et al. (2001) como unidades territoriais básicas que contêm uma área do terreno onde podem ser observados eventos e interações que representam um elo entre a Geografia e a Ecologia, enquanto que os polígonos de intervenção antrópica são representantes nas imagens demonstrando as intervenções provocadas pela ação do homem em cada unidade de paisagem natural.

### 2.2.4 RISCO À PERDA DE SOLO

A metodologia para a propensão ao risco à perda de solo foi desenvolvida por Crepani et al. (2001) a partir do conceito de Ecodinâmica (TRICART, 1977). Silveira et al. (2005) afirmam que o conceito de Ecodinâmica para Tricart indica um modelo de avaliação integrado das unidades territoriais, com base no balanço pedogênese/morfogênese, propiciando sua classificação quanto aos graus de instabilidade. A Ecodinâmica assume que as trocas de energia e matéria na natureza se processam em relações de equilíbrio dinâmico. Assim, as áreas em que prevalecem os processos morfogenéticos são entendidas como instáveis, enquanto que aquelas nas quais predomina a pedogênese são consideradas estáveis, sob a perspectiva da ecodinâmica; já quando há equilíbrio entre os dois processos, a área é considerada de

estabilidade intermediária. As características de cada classe podem ser observadas no Quadro 01.

Quadro 01 - Categorias morfodinâmicas

Categorias morfodinâmicas	Características
Estáveis	a) cobertura vegetal densa; b) dissecação moderada e c) ausência de manifestações vulcânicas
Estabilidade intermediária	a) balanço entre as unidades morfogenéticas e pedogenéticas
Instáveis	a) condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas; b) relevo com vigorosa dissecação; c) presença de solos rasos; d) inexistência de cobertura vegetal densa; e) planícies e fundos de vales sujeitos a inundação e f) geodinâmica interna intensa

Fonte: Tricart (1977) e Crepani et al. (1998) apud Pereira (2009).

Segundo Bezerra (2013), o estudo do risco à perda do solo proposto por Crepani et al. (2001) se propõe a mensurar em que grau os processos naturais de perda de solo ameaçam a relação homem-meio ambiente. Os planos de informação necessários à metodologia permitem a quantificação empírica do grau de risco à perda de solo ao qual a unidade de paisagem natural está submetida. A escala de valores varia de 1,0 a 3,0 com cores entre azul e vermelho, em um total de 21 unidades de paisagem (Quadro 02).

Quadro 02 - Unidades de risco à perda de solo

Unidade de Paisagem	Média			Propensão ao risco	Grau de Saturação			
					Vermelho	Verde	Azul	Cores
U1	↑ INSTABILIDADE ↓	3,0	Instável		255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		2,7			255	153	0	
U5		2,6	Moderadamente Instável		255	204	0	
U6		2,5			255	255	0	
U7		2,4			204	255	0	
U8		2,3	Medianamente Estável/Instável		153	255	0	
U9		2,2			102	255	0	
U10		2,1			51	255	0	
U11		2,0			0	255	0	
U12		1,9	Moderadamente Estável		0	255	51	
U13		1,8			0	255	102	
U14		1,7			0	255	153	
U15		1,6			0	255	204	
U16		1,5	Estável		0	255	255	
U17		1,4			0	204	255	
U18		1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Fonte: adaptado de Crepani et al.(2001).

Aos valores 1,0, 2,0 e 3,0 correspondem, respectivamente, os graus de risco estáveis, medianamente estáveis e instáveis. Após a associação do grau de risco à perda de solo a cada plano de informação temática, efetua-se a média aritmética entre os planos de informação para a obtenção do mapa de risco final (Equação 01).

$$Rs = \frac{G+R+S+Vg+C}{5} \quad (01)$$

Onde:

$Rs$  = Risco;

$G$  = Risco para o tema Geologia;

$R$  = Risco para o tema Geomorfologia;

$S$  = Risco para o tema Solos;

$Vg$  = Risco para o tema vegetação (Uso e ocupação do solo);

$C$  = Risco para o tema Clima

### 2.3 A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento

Barrella (2001 apud Teodoro et al., 2007) conceitua uma bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

Segundo Araújo et al. (2010), as bacias hidrográficas também são caracterizadas por transportarem água e sedimentos, ao longo dos seus canais. Além disso, os autores supracitados relatam que existem elevações que são denominadas interflúvios, que dividem sub-bacias hidrográficas. As sub-bacias e as microbacias são vocábulos inclusos na hidrologia, onde a primeira é definida por Teodoro et al. (2007) como uma área de drenagem dos tributários do curso d'água principal e, a microbacia distingue-se por ter uma área reduzida da sub-bacia, não havendo consenso sobre qual seria sua área máxima, variando entre 0,1 km<sup>2</sup> a 200 km<sup>2</sup>.

Para Villela e Matos (1975), as bacias hidrográficas se destacam pela simplicidade oferecida no balanço hídrico, sendo, por isso, utilizada em diversos estudos hidrológicos.

Baseado nessa perspectiva, Araújo Junior et al. (2002) afirmam que a microbacia é uma unidade física ideal para estudos e planejamento integrado de recursos naturais e renováveis, por ser uma unidade ecológica com contornos naturais e constituir-se num ecossistema que precisa ser planejado de maneira racional.

Magalhães Jr. (2011) afirma que a importância da gestão da bacia hidrográfica decorre do sinergismo inerente ao funcionamento das mesmas, nas quais há uma complexa interação entre as partes e o todo. O autor também alerta que, apesar da valorização dessas áreas de captação como unidades de gestão, deve-se haver um bom senso na escolha da unidade espacial de estudo.

### 2.3.1 USO POTENCIAL DA TERRA

Como uma maneira de auxílio para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas é de grande utilidade o conhecimento das potencialidades de cada região contida nas áreas de captações. Dessa forma, o número de rugosidade, definido por Sicco-Smit (1978), aparece como uma alternativa para a identificação dos usos mais aconselháveis a serem aplicados em cada bacia hidrográfica, tendo em vista que o mesmo direciona o uso das terras rurais.

Esse coeficiente também indica o quanto uma área é propensa à erosão. Assim, esse índice pode direcionar o uso potencial da terra, pois quanto maior a rugosidade, dependendo do uso e ocupação adotados, maior será a propensão à erosão da área Silva et al. (2010 apud COSTA et al, 2013, p.5).

O cálculo desse coeficiente se faz por meio do produto entre a densidade de drenagem e a declividade média (Equação 02).

$$CR = Dd \times H \quad (02)$$

Onde:

$CR$  = Coeficiente de Rugosidade

$Dd$  = densidade de drenagem;

$H$  = declividade média da bacia hidrográfica

A definição dos usos potenciais é encontrada por intermédio do cálculo da amplitude, que é a diferença entre o maior e o menor valor do número de rugosidade. A amplitude é então dividida por um valor equivalente a quatro com o intuito de classificar os resultados na mesma quantidade de classes, cada uma contendo um uso, que pode ser agricultura, pastagem, pastagem/florestamento e florestamento (Quadro 03).

Quadro 03 - Classificação dos usos potenciais

Classes	Usos potenciais
A	Agricultura
B	Pastagem
C	Pastagem/Florestamento
D	Florestamento

Fonte: Sicco-Smit (1978)

Segundo esse método, as bacias hidrográficas com os menores valores do número de rugosidade terão indicações de uso para a agricultura, enquanto que o florestamento será indicado para as que obterem os maiores valores do índice.

### 2.3.2 CONFLITOS RELATIVOS AOS USOS DO SOLO

A escassez das terras férteis e recursos hídricos são alguns fatores que requerem a existência de documentos que permitam orientar a ocupação do território de forma harmoniosa com a vocação natural do ecossistema (FREITAS et al., 2007, p. 432). Quando essa vocação não é respeitada assume-se que há uma inadequação quanto ao uso do solo.

Oliveira et al. (2007) citam uma série de problemas decorrentes da inadequação do uso da terra que se resumem em: perda de solo pelo arraste de partículas; redução da produção e da produtividade agrícolas; assoreamento dos cursos d'água e contaminação das águas por agrotóxicos e produtos químicos, que são carregados juntamente com as partículas de solo.

Segundo Pedron et al. (2006), a falta de conhecimento da aptidão de uso da terra e do planejamento adequado da sua utilização tem sido fato frequente ocasionando impactos negativos ao meio ambiente. Os autores determinaram no município de São João do Polêsine (RS) a aptidão de uso, uso atual e os conflitos de uso da terra por intermédio da integração de diferentes planos de informações como solos, relevo, hidrografia, aptidão agrícola, uso das terras e áreas de preservação permanente. Observaram que o município apresentou 51,5% da área com uso conforme sua aptidão, 18,7% subutilizado e 27,9% com inadequação de uso.

Araújo Júnior et al. (2002) afirmam que o coeficiente de rugosidade direciona o uso potencial das terras rurais, quanto às suas características, para

atividades de agricultura, pecuária, silvicultura com reflorestamento ou para preservação permanente. Quanto maior for esse valor, maior será o perigo de erosão e de suas danosas e contínuas consequências (ROCHA, 1991).

Segundo Mello Filho (1992 apud Sampaio et al., 2010), os conflitos de uso da terra podem acontecer em duas situações: quando o tipo de uso da terra contraria a destinação recomendada a partir do coeficiente de rugosidade (CR), ou quando o uso da terra, mesmo que coincida com o indicado pelo coeficiente de rugosidade, subestime o potencial da terra, com baixa produtividade, por técnicas inadequadas, ineficientes ou condenáveis. Por outro lado, podem acontecer situações onde embora a recomendação seja de um uso produtivo, a área diagnosticada se encontre florestada, em particular, considerada Área de Preservação Permanente (APP), como o caso da Mata Atlântica.

Valle Junior (2008) avaliou os padrões morfométricos de microbacias hidrográficas de 1ª a 6ª ordem de magnitude, como indicadores no uso potencial do solo, de acordo com a metodologia do coeficiente de rugosidade que, aliado ao uso atual, permitiu a identificação das áreas de conflito ou inadequação. Logo após, o autor propôs uma classificação dos conflitos observados, por meio da elaboração de pesos para os usos atuais e potenciais, encontrados em uma mesma área, e uma posterior diferença entre ambos. Esse valor resultante indica a classe em que o conflito se enquadra, assim como o grau de deterioração ambiental associado à região, tendo em vista que quanto maior a classe da inadequação, mais distante o uso atual está do que seria a situação ideal, de acordo com o coeficiente de rugosidade.

### 2.3.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

De acordo com Campos et al. (2012), a morfometria é uma ferramenta de grande importância como diagnóstico de propensão à degradação ambiental, delimitação da zona ripária, planejamento e manejo da microbacia. As características geomorfológicas de uma bacia hidrográfica, como, a rede de drenagem, forma, área, relevo e solos, aliadas ao tipo de cobertura vegetal influenciam o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (LIMA

1986, apud VALLE JUNIOR et al., 2013, p. 41). Segundo Silva et al. (2010), essas particularidades de bacias hidrográficas refletem algumas propriedades do terreno, como a infiltração e deflúvio das águas das chuvas e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre.

Para Rocha e Kurtz (2001), os parâmetros morfométricos que mais se relacionam com a degradação ambiental são: comprimento das ravinas, densidade de drenagem, índice de circularidade, índice de forma, declividade média da bacia, coeficiente de rugosidade, sendo este último obtido por meio do produto entre a declividade média e a densidade de drenagem.

#### 2.3.4 SENSORIAMENTO REMOTO NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Mascarenhas et al. (2009) afirmam que o sensoriamento remoto aplicado aos recursos hídricos possibilita o monitoramento do estado de conservação da qualidade da água e dos processos hidrológicos envolvidos, tais como o percurso da água subterrânea e superficial, estimativas de inundação das bacias hidrográficas além do monitoramento de processos erosivos.

Nesse trabalho optou-se por utilizar os produtos imageados pelos sensores do LandSat8. De acordo com a NASA, esse satélite foi lançado no dia 11/02/2013, possuindo dois sensores denominados por *Operacional Terra Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O sensor OLI consiste de nove bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros para as bandas 1 a 7 e 9. O LandSat8 tem como novidades a presença de novas bandas como a ultra-azul (banda um) que é utilizada para estudos costeiros e aerossóis e a banda nove, útil para a detecção de nuvens como as cirros. A OLI ainda contém uma banda 8 (pancromática) com resolução de 15 metros. Têm-se, também, as bandas do infravermelho termal nomeadas por 10 e 11, as quais são úteis na obtenção de temperaturas de superfície mais precisas e são coletadas em 100 metros (Quadro 04).

#### Quadro 04 - Características do sensores OLI e TIRS do LandSat 8

Landsat 8 <i>Operacional Land Imager (OLI)</i>	Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução (metros)
	Band 1 – Ultra-azul	0,43 - 0,45	30
	Band 2 - Azul	0,45 - 0,51	30
	Band 3 - Verde	0,53 - 0,59	30
	Band 4 - Vermelho	0,64 - 0,67	30
	Band 5 – Infravermelho próximo	0,85 - 0,88	30
	Band 6 - SWIR 1	1,57 - 1,65	30
	Band 7 - SWIR 2	2,11 - 2,29	30
	Band 8 - Pancromática	0,50 - 0,68	15
	Band 9 - Cirrus	1,36 - 1,38	30
ThermalInfrared Sensor (TIRS)	Band 10 – Infravermelho Termal (TIRS) 1	10,60 - 11,19	100
	Band 11 - Infravermelho Termal (TIRS) 2	11,50 - 12,51	100

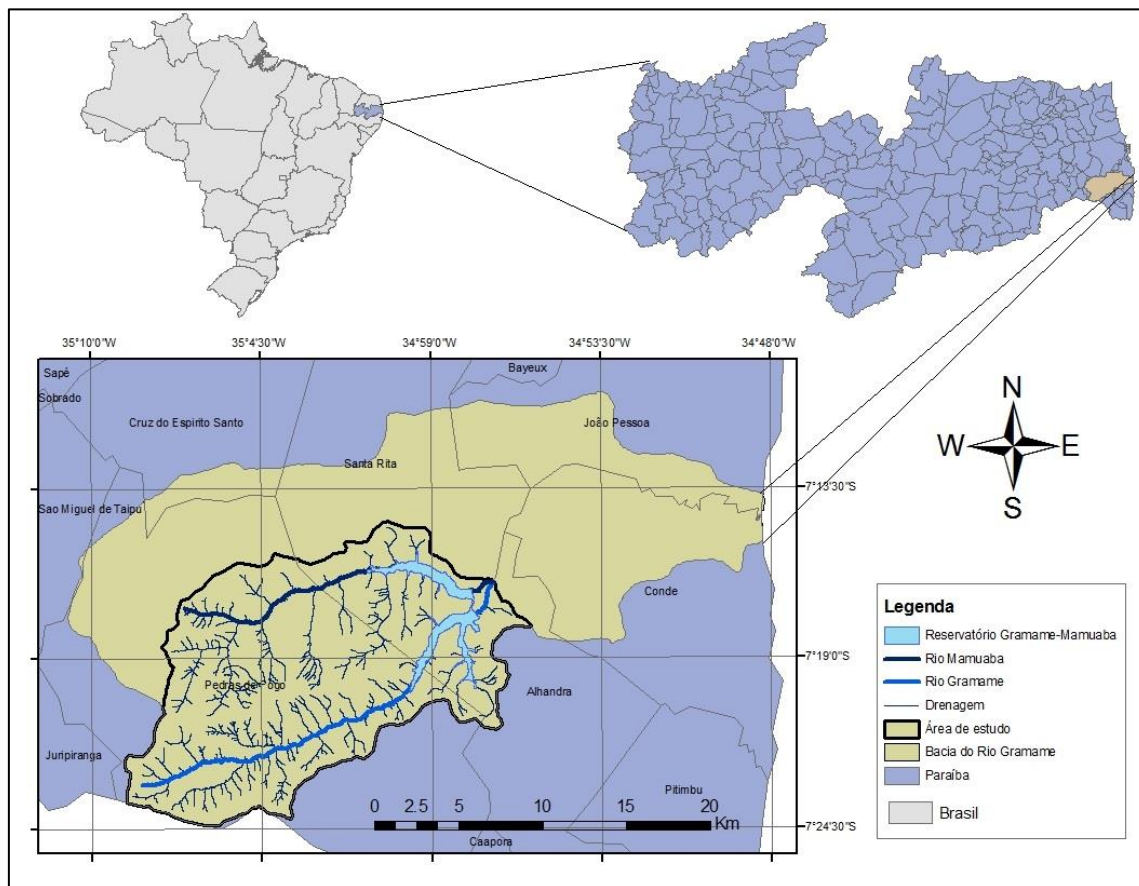
As imagens do TIRS são adquiridas na resolução de 100 metros, mas são redefinidas para 30 metros nos dados entregues.

Fonte: USGS, 2013

### 3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à porção da bacia hidrográfica do rio Gramame a montante da captação das águas do reservatório Gramame-Mamuaba (Figura 01), compreendendo as áreas de drenagem para o alto curso e pequena parte dos médios cursos dos rios Gramame e Mamuaba, perfazendo 254,3 km<sup>2</sup>. Segundo Cabral da Silva et al. (2011), a bacia do rio Gramame é atualmente responsável por cerca de 70% do sistema de abastecimento d'água da chamada Grande João Pessoa, que compreende os municípios de João Pessoa (capital da Paraíba), Cabedelo, Bayeux e parte de Santa Rita, e das sedes dos municípios de Pedras de Fogo e Conde. De acordo com SECTMA (2000), as áreas drenadas pelo rio Gramame são compostas pelos municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo e na sua composição compreende a décima quinta bacia hidrográfica em termos de área no espaço geográfico paraibano.

Figura 01 - Área de estudo



### 3.1 Aspectos físicos

#### 3.1.1 GEOLOGIA

De acordo com a Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais do estado da Paraíba - SEMARH (2000), os terrenos cristalinos da bacia do rio Gramame têm como predominância corpos graníticos e granitóides, alongados e laminados, que aparecem em pontos esparsos a oeste da mesma, predominantemente aos arredores da cidade de Pedras de Fogo e das nascentes dos rios Gramame, Mamuaba e Mumbaba.

Pedrosa (2008) afirma que os terrenos sedimentares da área correspondem às formações do Grupo Paraíba, compostos das formações Beberibe, Gramame e Maria Farinha, juntamente com as extensas exposições terciárias da formação Barreiras e os depósitos quaternários.

Dentre as formações do Grupo Paraíba, apenas as formações Beberibe e Gramame se encontram presentes na área de estudo. De acordo com SEMARH (2000), a formação Beberibe é a primeira da sequência e se assenta direta sobre o embasamento cristalino e apresenta, aproximadamente, 200 m de arenitos conglomeráticos até finos, friáveis, de cor amarela e branca, com cimento argiloso ou ferruginoso, com uma fácies siltosa e até argilosa de cor preta no topo dos arenitos calcíferos. Em seguida, há a formação Gramame que consiste em cerca de 40 metros de sedimentos predominantemente calcários, iniciando com arenitos calcíferos, até calcarenitos, em passagem gradativa para os próprios calcários.

As exposições terciárias da formação Barreiras assentam-se, conforme Pedrosa (2008), aos sedimentos do Grupo Paraíba e se subdivide nas formações Serra do Martins, Guararapes e Macaíba, dentre as quais apenas a primeira não se faz presente no âmbito da bacia hidrográfica do rio Gramame, sendo os sedimentos desse grupo provenientes da ação do intemperismo sobre as rochas cristalinas do Planalto da Borborema,

A formação Guararapes é constituída de acordo com SEMARH (2000) por uma alternância de areias, siltes e argilas variegadas, em camadas horizontais, contendo às vezes, lentes com vegetais fósseis e se localiza ao longo da costa formando os tabuleiros costeiros e falésias e nos vales dos maiores rios da bacia. Enquanto isso, a formação Macaíba é a unidade superior da formação Barreiras e é constituída por areias, às vezes argilosas, localizada, segundo Tinoco e Mabeoone (1971 apud SEMARH, 2000), na região de João Pessoa, e nos vales dos rios Paraíba, Gramame, Miriri e Mamanguape.

Enfim, têm-se os sedimentos quaternários, os quais, segundo SEMARH (2000), compreendem, juntamente com os sedimentos terciários, os depósitos continentais miopliocênicos da formação Barreiras (Terciário) e as aluviões fluviais. Pedrosa (2008) também define esses sedimentos como inconsolidados, de constituição areno-argilosa e de granulação predominantemente fina, com intercalações de fácies grosseiras e até conglomeráticas, de origem flúvio-marinha.

### 3.1.2 GEOMORFOLOGIA

Podem-se observar na área de estudo, segundo Pedrosa (2008), dois principais grupos de feições geomorfológicas: as Planícies Fluviais e os Tabuleiros Litorâneos, regionalmente denominados de Baixos Planaltos Costeiros, os quais são sustentados pela formação Barreiras. A autora ainda afirma que tais feições possuem uma superfície aplainada e suavemente inclinada na direção Oeste-Leste, alcançando em torno de 60 km de leste para oeste, com altitudes que vão aumentando, na mesma direção, variando de 30 – 40 m até 200 m.

Segundo SEMARH (2000), esse Planalto é recortado no sentido Oeste – Leste, por rios quase paralelos entre si, que o separam em compartimentos quadrangulares. Tem-se, ainda, que a erosão dessa feição está relacionada a uma fase regressiva de mar ou soerguimento da borda continental, no Pleistoceno, que teria ocasionado o aprofundamento da drenagem e a retomada de erosão dos rios.

### 3.1.3 PEDOLOGIA

Segundo Lepsch (2002, apud PEDROSA, 2008), os solos de maior ocorrência na região dos tabuleiros do Nordeste do Brasil são os latossolos, presentes nos topos dos tabuleiros, e os argissolos, situados em áreas de relevo pouco mais acidentado, em geral nas encostas de colinas e morros. Ao longo de alguns cursos d'água são encontrados os neossolos flúvicos. Verifica-se, então, que essa distribuição se faz presente na área de estudo.

De acordo com Crepani et al. (2001), os latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade e são considerados solos velhos ou maduros. Os latossolos vermelho-amarelos, presentes na área de estudo, ocorrem em praticamente todo o território brasileiro, entretanto, são pouco expressivos nos estados nordestinos e possuem baixa fertilidade natural (IBGE, 2007, p. 290). Já os argissolos, conforme Crepani et al. (2001), apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados, ocorrendo, geralmente, em topografias um pouco mais

movimentadas. Finalmente, tem-se os neossolos flúvicos que Crepani et al. (2001) considera como solos jovens e pouco desenvolvidos, tendo como característica principal a pequena evolução dos perfis do solo. Segundo o IBGE (2007), os solos do tipo neossolos flúvicos são constituídos por uma sucessão de camadas de natureza aluvionar, sem relação pedogenética entre si e ocorrem de forma dispersa em ambientes, como é o caso de planícies à margem de rios e córregos.

### 3.1.3 CLIMA

De acordo com SEMARH (2000), os movimentos das diversas massas de ar que se cruzam sobre o estado da Paraíba resultam, principalmente, da sua posição geográfica. Esses movimentos levam a um clima do tipo tropical com estação de chuvas curtas, úmido no litoral e no agreste e semiárido no interior. Dessa forma, tendo em vista a localização da bacia hidrográfica do rio Gramame na região litorânea do Estado, verifica-se que o seu clima é do tipo tropical úmido, classificado, segundo Köppen, como As', caracterizado como quente e úmido com chuvas no período de outono/inverno.

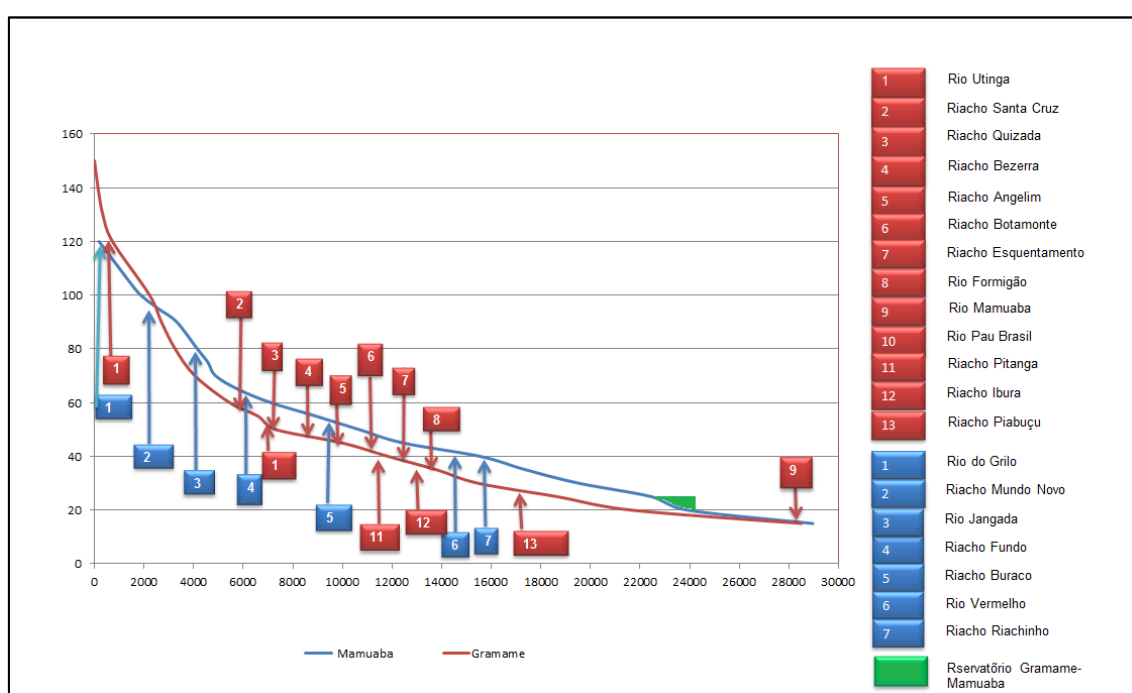
## 3.2 Aspectos hidrológicos

Os principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Gramame, além do principal, o Gramame, são os afluentes Mumbaba, Mamuaba e Água Boa, todos perenes. O principal reservatório fluvial da região litorânea do Estado, o Gramame-Mamuaba, localiza-se na bacia (SEMARH, 2000). Pedrosa (2008) afirma que a sub-bacia hidrográfica do alto e médio Gramame possui uma área de 125,7 km<sup>2</sup> e seus principais afluentes na margem direita são os rios Utinga e Pau-Brasil assim como os riachos Pitanga, Ibura e Piabuçu, enquanto que na margem esquerda o mesmo possui como afluentes os riachos Santa Cruz, da Quizada, do Bezerra, do Angelim, Botamonte, Esquentamento, Formigão e o rio Mamuaba. Já a sub-bacia hidrográfica do rio Mamuaba, de acordo com a autora supracitada, possui uma área equivalente a 128,6 km<sup>2</sup>

apresentando como principais afluentes em sua margem direita os rios do Grilo, Jangada, Buraco e Vermelho e os riachos Mundo Novo, Fundo e Riachinho. No entanto, é observada uma drenagem mais escassa e menos relevante ao longo de sua margem esquerda.

A Figura 02 apresenta os perfis longitudinais dos rios Gramame e Mamuaba e seus principais afluentes ao longo de suas margens esquerda e direita.

Figura 02 - Perfis longitudinais dos rios Gramame e Mamuaba



### 3.3 Aspectos socioeconômicos

A exploração agrícola representa a maior área de ocupação. A atividade da irrigação é significativa, sendo a principal cultura de exploração a cana-de-açúcar. Segundo Pedrosa (2008), a retirada da vegetação nativa na área de estudo vem crescendo para atender às atividades agrícolas como cultivo de abacaxi, coco, mandioca, inhame, cana-de-açúcar, bambu e a construção de vias de acesso.

A atividade industrial também se faz presente no espaço geográfico da bacia, assim como, a mineração que ocorre, principalmente, com a exploração de areia, argila, pedra calcária e água mineral, esta última, contando com três

unidades industriais de engarrafamento. Observa-se também que a cobertura vegetal atual já apresenta um índice elevado de devastação, como consequência da exploração desordenada, voltada para as atividades citadas, além da urbanização crescente no território da bacia hidrográfica.

A população residente na bacia hidrográfica em estudo corresponde praticamente à população do município de Pedras de Fogo, incluindo a sede municipal, já que a ocupação humana nas áreas no município de Santa Rita é mínima. Segundo o censo demográfico de 2010 efetuado pelo IBGE, a população de Pedras de Fogo atingia 27.032 habitantes.

## 4 METODOLOGIA

Os conflitos de uso na bacia hidrográfica do rio Gramame foram identificados por meio da aplicação das metodologias de Crepani et al. (2001) e Valle Junior (2008). Primeiramente, utilizou-se a metodologia de propensão de risco à perda de solo proposta por Crepani et al. (2001) considerando o cenário atual do uso do solo e o potencial.

Para o cálculo do uso do solo potencial foi necessário calcular o coeficiente de rugosidade desenvolvido por Sicco-Smit (1978), o qual, por sua vez, necessitou da delimitação das pequenas bacias hidrográficas contidas na área de estudo, as quais também foram caracterizadas morfometricamente, procedimento que permitiu observar a tendência de cada uma à perda de solo.

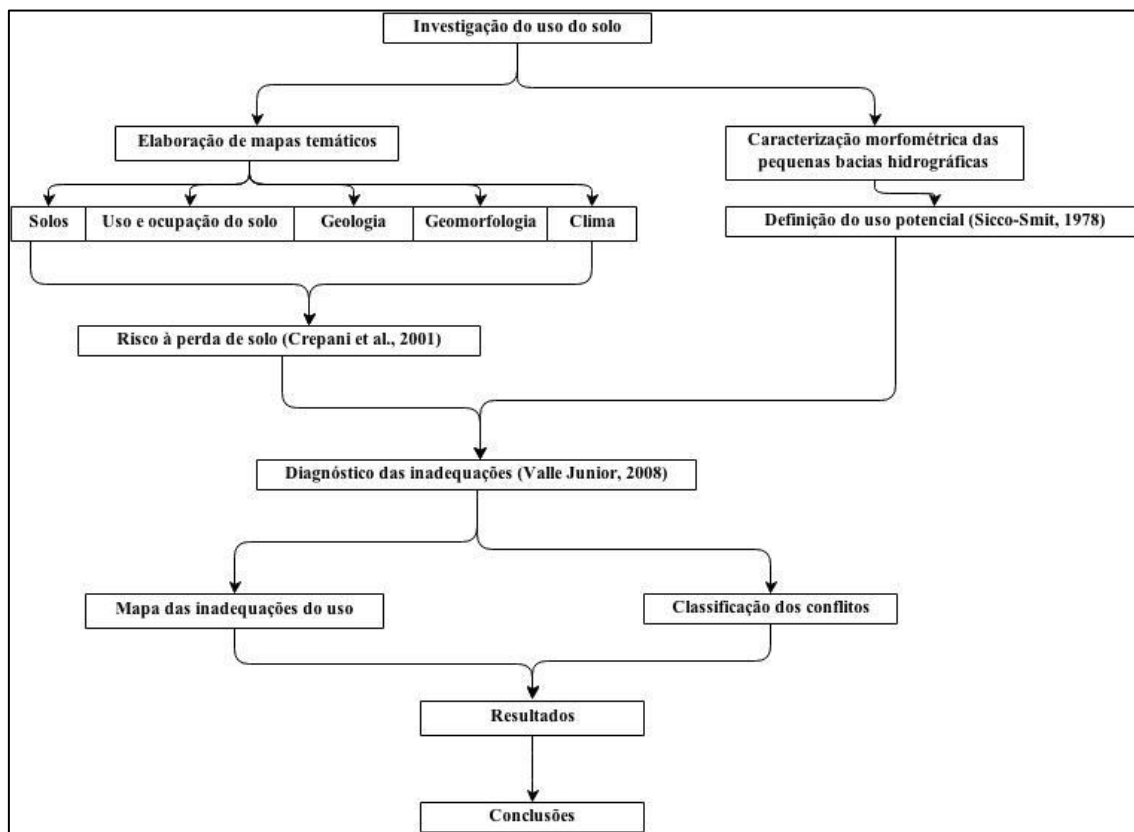
Concomitantemente à definição desses usos, houve o levantamento de dados básicos como solos, clima, vegetação, geomorfologia, geologia e uso e ocupação, úteis à elaboração dos mapas temáticos contribuintes ao cálculo do risco à perda de solo de Crepani et al. (2001).

Com o cruzamento dos mapas produzidos dos dois cenários foi possível analisar qual o uso era mais apropriado para cada localidade tendo por base os fatores influentes ao risco à perda de solo a que o local está submetido.

A investigação do uso teve fim com o apontamento das inadequações do uso do solo presentes na área de estudo, as quais foram indicadas por meio da comparação entre as aptidões do uso da terra, em cada pequena bacia hidrográfica, e o uso atual ao qual a mesma está sujeita baseando-se no método proposto por Valle Junior (2008).

Na última etapa os conflitos indicados foram classificados por intermédio da atribuição de pesos idênticos aos usos atuais e potenciais, seguido por uma diferença entre ambos considerando os mesmos locais. Dessa maneira, quanto maior a diferença encontrada, maior foi o grau do conflito presente na região e, conseqüentemente, maior a degradação associada ao local. O fluxograma da Figura 03 mostra de forma esquemática o procedimento metodológico executado nesta pesquisa.

Figura 03 - Fluxograma da metodologia adotada



#### 4.1 Homogeneização e tratamento dos dados

Os limites das sub-bacias referentes aos rios Gramame e Mamuaba, como também a rede de drenagem e as curvas de nível foram obtidas de Pedrosa (2008) as quais, por sua vez, foram extraídas de cartas topográficas elaboradas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) na escala 1:25.000 com as seguintes nomenclaturas: SB 25-Y-C-III-1-SO (Santa Rita); SB 25-Y-C-II-2-SE (Cruz do Espírito Santo); SB 25-Y-C-III-3-NO (Conde); SB 25-Y-C-II-4-NE (rio Mumbaba); SB 25-Y-C-II-4-NO (São Miguel de Taipu); SB 25-Y-C-II-4-SE (Pedras de Fogo); SB 25-Y-C-II-4-SO (Ferreiros).

A imagem de satélite utilizada para a obtenção do uso e ocupação do solo corresponde ao dia 28/07/2013 e foi imageada pelo sensor OLI presente no satélite LandSat 8 que possui suas imagens disponibilizadas no sítio do *U.S. Geological Survey* na internet.

## 4.2 Delimitação e caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas

As pequenas bacias hidrográficas foram delimitadas com auxílio do *software AutoCAD 2012*, as quais foram caracterizadas morfometricamente observando a tendência de cada área de captação ser afetada por processos erosivos. Foram calculados diversos índices morfométricos, tais como, o coeficiente de compacidade e o de forma, índice de circularidade, densidade hidrográfica e de drenagem, finalizando com o cálculo da declividade cujas fórmulas são apresentadas em seguida (Quadro 05).

Quadro 05 - Expressões para os índices morfométricos

Coeficiente de compacidade $Kc = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	Coeficiente de forma $Kf = \frac{A}{L^2}$
Índice de circularidade $Ic = 12.57 \times \frac{A}{P^2}$	Densidade Hidrográfica $Dh = \frac{N}{A}$
Densidade de drenagem $Dd = \frac{Lt}{A}$	Declividade média $H = \left( \frac{D \times Ltc}{A} \right) \times 100$

Onde: P = perímetro (km); A = área da bacia (km<sup>2</sup>); L = comprimento do rio principal da bacia hidrográfica (km); Lt = comprimento total dos rios (km); D = distância entre as curvas de nível (km); Ltc = comprimento total das curvas de nível (km); N= quantidade total de rios.

## 4.3 Definição do Uso Potencial

A densidade de drenagem e a declividade média são os parâmetros envolvidos no cálculo do coeficiente de rugosidade conforme a Equação 02. Os valores foram obtidos para cada pequena bacia hidrográfica e os usos foram definidos com o cálculo da amplitude, que por sua vez resultou da diferença entre o maior e o menor resultado encontrado e sua posterior divisão pelo número quatro, objetivando a geração de quatro classes, especificadas conforme consta no Quadro 03. Dessa forma, as áreas de captação consideradas mais declivosas e com baixas permeabilidades do solo foram agrupadas classes contendo usos voltados para o florestamento, os quais visam a prevenção da perda de solo e, conseqüentemente, as áreas menos

propícias a perda de solo, de acordo com o método, foram classificadas como próprias para a agricultura.

#### **4.4 Álgebra de mapas**

Neste trabalho, a álgebra de mapas foi utilizada em duas situações, tendo como auxílio o *software* de SIG ArcGis 9.3. Primeiramente, seu uso teve importância no cruzamento entre os planos de informações que continham os dados primários para o cálculo do risco à perda de solo, como geologia, pedologia, geomorfologia, clima e uso do solo, para os dois cenários produzidos, o atual e o potencial. Logo após, foi necessário recorrer à geração do mapa dos conflitos de uso, o qual utilizou como variáveis ambientais o mapa do uso do solo atual e o potencial.

#### **4.5 Elaboração dos Mapas Temáticos Básicos**

##### **4.5.1 GEOLOGIA**

O mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Gramame foi elaborado por meio de dados geológicos em formato *shapefile* disponíveis na Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, Meio Ambiente e Ciência e Tecnologia (SERHMACT/PB).

##### **4.5.2 GEOMORFOLOGIA**

A carta geomorfológica construída para a bacia hidrográfica do rio Gramame foi executada a partir da sobreposição dos dados referentes a amplitude altimétrica, a intensidade de dissecação do relevo pela drenagem e a declividade para a área de estudo.

A carta da amplitude altimétrica foi elaborada com base em curvas de nível digitalizadas por Pedrosa (2008), as quais permitiram a construção do Modelo Digital de Elevação (MDE) que, por sua vez, foi útil ao desenvolvimento da carta supracitada.

Já a intensidade de dissecação foi obtida por meio do cálculo do inverso da densidade de drenagem, sendo adquirido um valor diferente para cada pequena bacia hidrográfica. Por fim, prosseguiu-se com a construção da carta com a declividade, que foi criada com auxílio da opção *slope* contida na ferramenta *Spatial Analyst* encontrada no *ArcGis*.

#### 4.5.3 PEDOLOGIA

A carta pedológica foi desenvolvida por meio de dados pedológicos obtidos da SERHMACT/PB em um levantamento efetuado para o Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Gramame (2000).

#### 4.5.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A carta do uso e ocupação foi desenvolvida a partir de uma imagem adquirida pelo satélite LandSat 8, datada de 28/07/2013.

As imagens foram analisadas no *software Spring 5.2.3* utilizando um método de classificação supervisionada, denominado Battacharya. A imagem então foi classificada em doze classes, a saber: água; mata; cana-de-açúcar; área urbana; rodovias; abacaxi; bambuzal; coqueiral; eucalipto; vegetação rasteira; macaxeira e areial.

Por fim, a imagem classificada foi validada em duas visitas a campo com auxílio de um receptor de sinais do Sistema de Posicionamento Global (GPS) do tipo Garmin Etrex Summit HC, com precisão de 5 a 10m, nos dias 23 e 31 de outubro de 2013.

#### 4.5.5 USO POTENCIAL DA TERRA

A carta para o uso potencial da terra foi elaborada com base no coeficiente de rugosidade calculado anteriormente para cada pequena bacia hidrográfica na etapa de sua definição.

#### 4.5.6 CLIMATOLOGIA

A carta climatológica foi elaborada com base nas informações sobre pluviometria disponíveis no sítio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Os dados estavam disponíveis em formato *shapefile* para todo o estado da Paraíba e continham as isoietas de precipitações anuais que serviu de base para o cálculo da precipitação média mensal utilizando, para isso, a duração do período chuvosos equivalente a seis meses.

### 4.6 Elaboração dos Mapas de Risco

#### 4.6.1 RISCO AO TEMA GEOLOGIA

A associação dos valores de risco ao tema geológico foi feita de acordo com Crepani et al. (2001) analisando o nível de evolução geológica do ambiente, considerando, também as informações sobre o grau de coesão das rochas que compõem a formação, analisando, dessa forma, a resistência das rochas ao intemperismo e à denudação. Dessa forma, as unidades geológicas observadas na área de estudo foram classificadas como pode ser observado no Quadro 06.

Quadro 06 - Classificação quanto à geologia

Unidade Geológica	Litologia	Grau de risco à perda de solo	Unidade de paisagem
Granitóides indiscriminados	Granito, Granodiorito, Monzogranito	1,2	U19
Barreiras	Arenito, Arenito conglomerático, Argilito Arenoso	2,6	U6
Beberibe	Arenito	2,4	U7
Sertânia	Gnaiss, MetaCalcário, Quartzito	1,8	U13
Depósitos Aluvionares	Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico	3,0	U1

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

#### 4.6.2 RISCO AO TEMA GEOMORFOLOGIA

O tema referente à Geomorfologia foi subdividido em outros três planos de informação de acordo com Crepani et al. (2001), a saber: amplitude

altimétrica, índice de dissecação e declividade. Aos valores de amplitude e declividade mais elevados foram associados os maiores valores na escala de risco, tendo em vista que quanto mais alta e declivosa é uma região, maior é a perda de solo a qual a mesma é sujeita, sendo, por isso, considerados locais mais instáveis (Quadros 07 e 08). Já a intensidade de dissecação está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha (CREPANI et al., 2001). Dessa forma, quanto mais impermeáveis são os solos e as rochas, uma maior quantidade de água em superfície é acumulada e conseqüentemente há maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento, gerando assim uma maior capacidade erosiva. Esse plano de informação foi elaborado com base no cálculo da amplitude de interflúvio, que é calculada como sendo o inverso da densidade de drenagem, que foi calculada na etapa da caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas (Quadro 09).

Quadro 07 - Classificação quanto à amplitude altimétrica

Amplitude altimétrica (m)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
<20,0	1,0	U21
20,0 a 29,5	1,1	U20
29,5 a 39,0	1,2	U19
39,0 a 48,5	1,3	U18
48,5 a 58,0	1,4	U17
58,0 a 67,5	1,5	U16
67,5 a 77,0	1,6	U15
77,0 a 84,5	1,7	U14
84,5 a 94,0	1,8	U13
94,0 a 103,5	1,9	U12
103,5 a 113,0	2,0	U11
113,0 a 122,5	2,1	U10
122,5 a 132,0	2,2	U9
132,0 a 141,5	2,3	U8
141,5 a 151,0	2,4	U7
151,0 a 160,5	2,5	U6
160,5 a 170,0	2,6	U5
170,0 a 179,5	2,7	U4
179,5 a 189,0	2,8	U3
189,0 a 200,0	2,9	U2
>200,0	3,0	U1

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

#### Quadro 08 - Classificação quanto à declividade

Declividade (%)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
< 2	1,0	U21
2 a 6	1,5	U16
6 a 20	2,0	U11
20 a 50	2,5	U6

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

#### Quadro 09 - Classificação quanto à amplitude do interflúvio

Amplitude do interflúvio (m)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
1500 a 1750	2,4	U7
1250 a 1500	2,5	U6
1000 a 1250	2,6	U5
750 a 1000	2,7	U4
500 a 750	2,8	U3
250 a 500	2,9	U2

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

O mapa final dos valores de risco para a Geomorfologia resultou da média aritmética das três informações já citadas (Equação 03).

$$R = \frac{(G+A+D)}{3} \quad (03)$$

Onde:

$R$  = risco para o tema geomorfologia

$G$  = risco atribuído ao tema grau de dissecação

$A$  = risco atribuído à amplitude altimétrica

$D$  = risco atribuído à declividade

#### 4.6.3 RISCO AO TEMA PEDOLOGIA

Crepani et al. (2001) estabelecem os graus de risco para o tema pedológico com base na estrutura do solo, no tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e na presença de camadas permeáveis, os quais, segundo os autores, são os principais aspectos influentes na erodibilidade dos solos. Dessa forma, os Latossolos são os tipos mais estáveis por apresentarem características de serem solos bem desenvolvidos e bastante permeáveis. Seguindo a mesma linha de raciocínio, têm-se os solos aluviais considerados como os mais instáveis em virtude de serem mais recentes e pouco desenvolvidos (Quadro 10).

Quadro 10 - Classificação quanto à pedologia

Classe de solo	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Latosolo Vermelho-Amarelo	1,0	U21
Argissolos Vermelhos-Amarelo Espodossolos Hidromórfico	2,0	U11
Neossolos Flúvicos	3,0	U1

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

#### 4.6.4 RISCO PARA O TEMA USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O grau de risco para o tema uso e ocupação do solo é definido por Crepani et al (2001) com base na densidade da cobertura vegetal. Segundo esses autores, altas densidades de vegetação se aproximam da estabilidade, enquanto que as baixas se aproximam da instabilidade. Quando à agricultura, os autores a diferenciam em perene ou anual, atribuindo maiores graus de risco para as culturas anuais.

A classificação dos graus de risco também teve por base a adaptação realizada por Pedrosa (2008) e Bezerra (2013) que adotaram valores de risco para diversas classes de uso do solo, de forma que os usos relacionados à área urbana e a rodovias foram tidos como os mais propensos à perda de solo, conforme demonstra o Quadro 11.

Quadro 11 - Classificação quanto ao uso do solo

Classe de uso e ocupação do solo	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Água	1,0	U21
Mata	1,0	U21
Cultura	3,0	U1
Área urbana	3,0	U1
Rodovias	3,0	U1
Abacaxi	3,0	U1
Bambuzal	1,2	U19
Coqueiral	2,9	U2
Eucalipto	1,0	U21
Vegetação rasteira	2,3	U8
Mandioca	3,0	U1
Areial	3,0	U1

#### 4.6.5 RISCO PARA O USO POTENCIAL DA TERRA

Adotou-se, de acordo com a metodologia aplicada por Bezerra (2013), graus de risco para cada uso potencial encontrado com o coeficiente de rugosidade, conforme exemplifica o Quadro 12.

Quadro 12 - Classificação quanto ao uso potencial

Uso potencial	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Ágricultura	2,9	U2
Pecuária	2,8	U3
Florestamento/Pecuária	1,7	U14
Florestamento	1,0	U21

#### 4.6.6 RISCO AO TEMA CLIMATOLOGIA

A precipitação é um dos aspectos mais influentes com relação à perda de solo. Quanto maiores as intensidades pluviométricas registradas em um dado local, maiores serão os índices de risco à perda de solo associados a essas intensidades (Quadro 13).

Quadro 13 - Classificação quanto à intensidade pluviométrica

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Risco	Unidade de Paisagem
200 a 225	1,7	U14
225 a 250	1,8	U13

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

#### 4.6.7 RISCO À PERDA DE SOLO

O risco à perda de solo foi resultante da média aritmética entre os mapas de risco referentes à geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e uso do solo (Equação 01).

Esses mapas finais de propensão à perda de solo foram desenvolvidos considerando os cenários atual e potencial do uso do solo. A criação desses mapas para as duas situações seguiu o mesmo procedimento, com uma mudança nos mapas de uso incluídos no cálculo, pois, no cenário atual foi utilizado o uso observado presente na área de estudo e o potencial considerou as aptidões de uso da terra.

#### 4.6.8 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE RISCO À PERDA DE SOLO

Após a geração dos mapas de risco à perda de solo para cada cenário subtraiu-se os mesmos de forma a identificar qual cenário causou maior perda de solo na unidade de estudo.

A álgebra de mapas permitiu essa operação com base na Equação 04, descrita abaixo, segundo definida por Bezerra (2013):

$$D_{RS} = RS_{UA} - RS_{UP} \quad (04)$$

Onde:

$D_{RS}$  = diferença entre os riscos à perda de solo para os cenários atual e potencial;

$RS_{UA}$  = risco à perda de solo para o cenário atual;

$RS_{UP}$  = risco à perda de solo para o cenário potencial.

Os resultados possíveis para Equação 04 permitem identificar três situações:

- $D_{RS} = 0$ , as propensões ao risco dos cenários atual e potencial são idênticas.
- $D_{RS} > 0$ , as propensões ao risco do cenário atual são maiores que os do cenário potencial, logo esse é mais propenso às perdas de solo.
- $D_{RS} < 0$ , as propensões ao risco do cenário potencial são maiores que os do cenário atual, logo esse é mais propenso às perdas de solo.

#### 4.6.9 INADEQUAÇÕES DE USO DO SOLO

Após os levantamentos dos dados básicos e da identificação da aptidão dos usos a partir do coeficiente de rugosidade, foram analisadas as inadequações presentes na área de estudo, segundo o procedimento metodológico de Valle Junior (2008). Primeiramente, a análise foi efetuada por meio da comparação entre os usos potenciais e os atuais observados para a área de estudo, sendo estabelecidos pesos idênticos para os mesmos usos. A área urbana e a água foram classificadas com pesos iguais a zero de maneira a evitar conflitos com essas classes, de acordo com o Quadro 14.

Quadro 14 - Pesos adotados para os usos

Classes do Uso potencial e Atual	Peso
Área urbana	0,0
Água	0,0
Agricultura	1,0
Pecuária	2,0
Pecuária/Floresta	3,0
Floresta	4,0

Fonte: adaptado de Valle Junior (2008)

Com base nessa classificação foi possível avaliar o quão a pequena bacia hidrográfica está distante do uso mais adequado para a mesma. Essa análise foi efetuada com base na diferença entre o uso atual e o potencial calculado, gerando, com isso, uma classe de conflito e recomendações a serem adotadas em cada situação, como se pode observar no Quadro 15.

Quadro 15 - Classes de conflito

Classes de conflito	Uso potencial - Uso atual	Recomendação
Classe 1 = Conflito (-3)	Ex: $1 - 4 = -3$	Manter o uso atual
Classe 2 = Conflito (-2)	Ex: $2 - 4 = -2$ $1 - 3 = -2$	Manter o uso atual
Classe 3 = Conflito (-1)	Ex: $3 - 4 = -1$ $2 - 3 = -1$ $1 - 2 = -1$	Manter o uso atual
Classe 4 = Conflito (0)	$1 - 1 = 0$ $2 - 2 = 0$ $3 - 3 = 0$ $4 - 4 = 0$	Ausência de conflitos. Atenção para mudanças passíveis de ocorrer no uso do solo.
Classe 5 = Conflito (1)	Ex: $4,0 - 3,0 = 1,0$ $3,0 - 2,0 = 1,0$ $2,0 - 1,0 = 1,0$	Apresentam riscos ou limitações permanentes severas quando usadas para culturas anuais e pastagens, e o seu uso deve ser orientado por técnicas de conservação do solo.
Classe 6 = Conflito (2)	Ex: $4,0 - 2,0 = 2,0$ $3,0 - 1,0 = 2,0$	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem nativa, reflorestamento ou preservação ambiental.
Classe 7 = Conflito (3)	Ex: $4,0 - 1,0 = 3,0$	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental.

Fonte: adaptado de Valle Junior (2013).

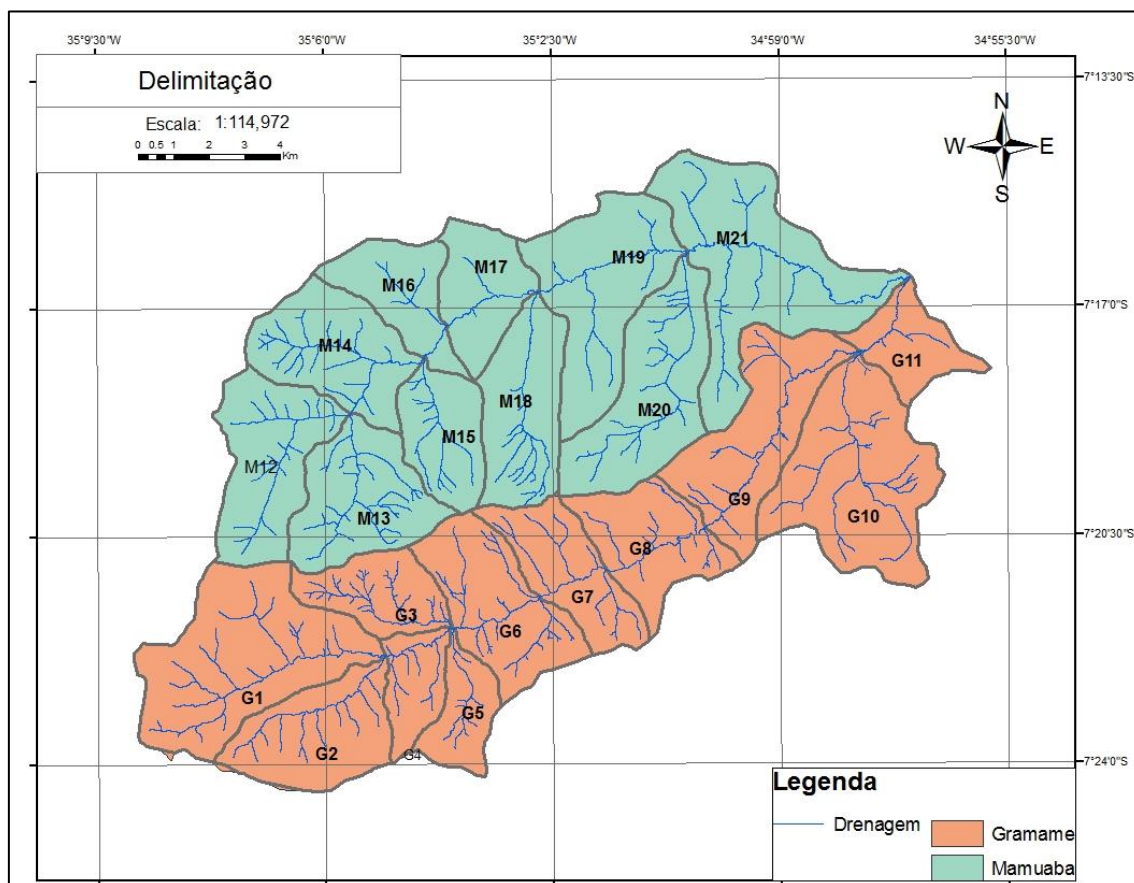
Em seguida, foram elaborados mapas que permitiram visualizar as inadequações do uso do solo em cada unidade de estudo. Logo após, esses mapas foram comparados ao produzido com a diferença de cenários, o que permitiu validá-los, assim como, avaliar quais os melhores usos para a área de estudo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Delimitação e caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas

Esse trabalho teve como passo inicial a delimitação e a caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas contidas na área de estudo. Dessa forma, foram demarcadas 21 áreas de captações, conforme se pode ver na Figura 04, que expõe as mesmas com destaque para as sub-bacias dos rios Gramame e Mamuaba.

Figura 04 - Pequenas bacias hidrográficas delimitadas na área de estudo



Foi necessário caracterizar morfometricamente as áreas de captações tendo em vista que essas características possuem influência sobre a propensão à perda de solo. Tem-se que valores elevados de parâmetros como a densidade de drenagem, o fator de forma e a declividade são indicativos de ambientes mais propícios à perda de solo. De acordo com esses critérios,

observou-se nessa análise preliminar que, as pequenas bacias hidrográficas da área de estudo foram as nomeadas como G3 e G4 e pertencentes a sub-bacia hidrográfica do rio Gramame, conforme se pode ver no Quadro 16.

Quadro 16 - Caracterização morfométrica das pequenas bacias hidrográficas

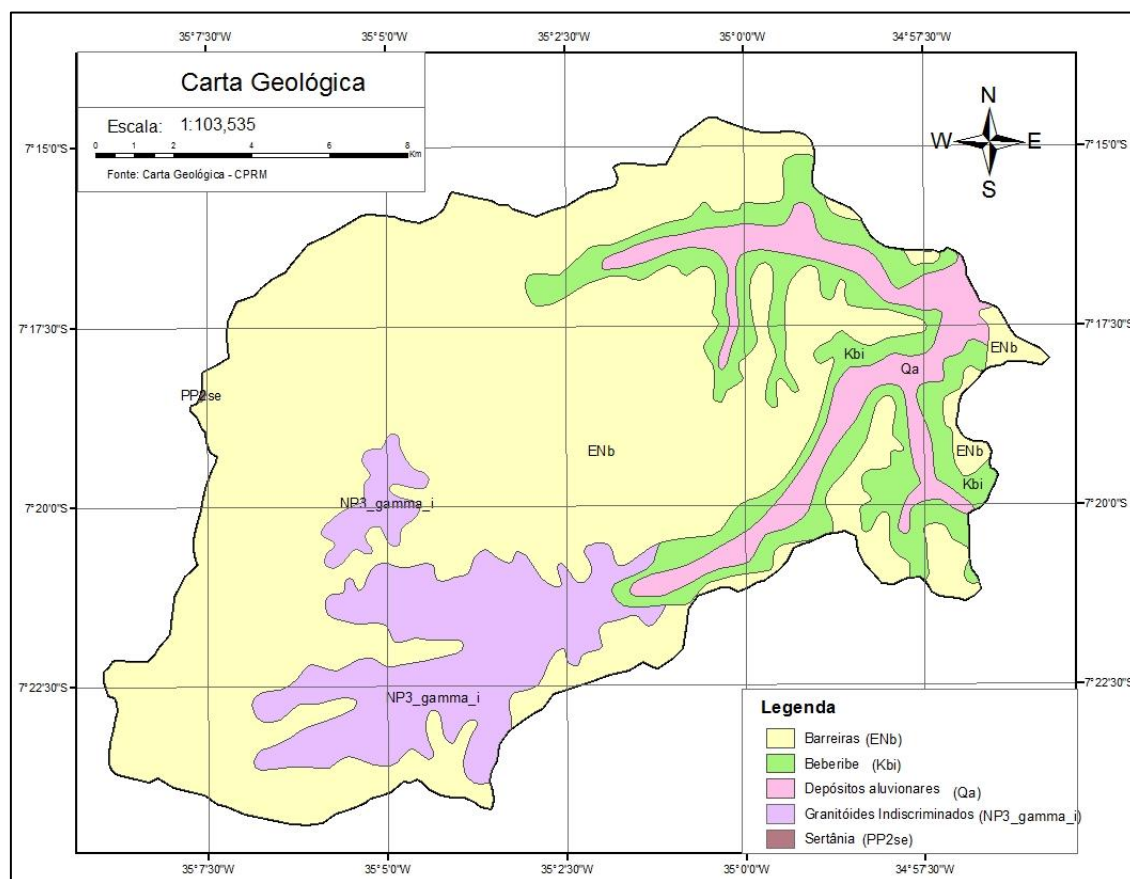
Nome	Área	P	kc	lc	L	Lt	N	Dh	Dd	Kf	H	CR	Hgr
<b>G1</b>	21,82	21,64	1,30	0,59	7,25	26,90	22	1,01	1,23	0,42	7,02	0,087	0,070
<b>G10</b>	20,24	20,79	1,29	0,59	7,78	24,91	18	0,89	1,23	0,33	7,50	0,092	0,075
<b>G11</b>	6,20	12,69	1,43	0,48	3,37	5,77	4	0,65	0,93	0,54	8,60	0,080	0,086
<b>G2</b>	11,71	14,70	1,20	0,68	6,03	15,20	12	1,02	1,30	0,32	7,53	0,098	0,075
<b>G3</b>	7,47	12,40	1,27	0,61	5,04	17,17	27	3,62	2,30	0,29	11,68	0,269	0,117
<b>G4</b>	5,06	10,42	1,30	0,59	2,76	9,36	10	1,98	1,85	0,66	10,99	0,203	0,110
<b>G5</b>	5,29	11,46	1,39	0,51	3,77	7,35	11	2,08	1,39	0,37	9,80	0,136	0,098
<b>G6</b>	12,95	16,40	1,28	0,61	5,80	22,06	28	2,16	1,70	0,39	9,68	0,165	0,097
<b>G7</b>	9,62	15,24	1,38	0,52	4,79	15,34	10	1,04	1,59	0,42	9,52	0,152	0,095
<b>G8</b>	10,28	15,44	1,35	0,54	3,75	14,26	14	1,36	1,39	0,73	6,85	0,095	0,068
<b>G9</b>	14,93	20,41	1,48	0,45	9,11	25,95	15	1,00	1,74	0,18	5,82	0,101	0,058
<b>M12</b>	13,07	17,25	1,34	0,55	5,28	17,61	20	1,53	1,35	0,47	7,59	0,102	0,076
<b>M13</b>	12,61	15,39	1,21	0,67	4,98	20,95	20	1,59	1,66	0,51	9,61	0,160	0,096
<b>M14</b>	12,50	15,24	1,21	0,68	5,11	20,81	22	1,76	1,66	0,48	9,43	0,157	0,094
<b>M15</b>	7,98	11,59	1,15	0,75	4,03	12,42	12	1,50	1,56	0,49	10,23	0,159	0,102
<b>M16</b>	7,88	14,35	1,43	0,48	2,86	6,13	5	0,63	0,78	0,97	7,41	0,058	0,074
<b>M17</b>	8,15	12,43	1,22	0,66	3,34	5,18	3	0,37	0,64	0,73	6,21	0,039	0,062
<b>M18</b>	11,59	15,58	1,28	0,60	6,94	15,51	12	1,04	1,34	0,24	8,52	0,114	0,085
<b>M19</b>	16,60	20,23	1,39	0,51	5,45	14,59	7	0,42	0,88	0,56	5,25	0,046	0,052
<b>M20</b>	15,52	19,02	1,35	0,54	8,57	21,80	19	1,22	1,40	0,21	5,56	0,078	0,056
<b>M21</b>	22,71	28,11	1,65	0,36	9,94	26,73	20	0,88	1,18	0,23	5,06	0,060	0,051

P = perímetro; Kc = coeficiente de compactidade; lc = índice de circularidade ;L = comprimento do rio principal (km);Lt = comprimento total dos rios (km); N = quantidade de rios; Dh = densidade hidrográfica; Dd = densidade de drenagem (km<sup>-1</sup>); Kf = coeficiente de forma; H = declividade média (km/km); CR = coeficiente de rugosidade; Hgr = declividade medida em graus.

## 5.2 Geologia da bacia hidrográfica estudada

As formações geológicas presentes na área de estudo compreendem as formações Barreiras e Beberibe, assim como os Depósitos Aluvionares, Granitóides indiscriminados, e a Formação Sertânia presente em apenas uma pequena porção do terreno (Figura 05).

Figura 05 - Carta geológica da bacia hidrográfica estudada



Essas formações estão distribuídas na área de estudo conforme o Quadro 17 demonstra.

Quadro 17 - Distribuição percentual das unidades geológicas

Unidades Geológicas	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Barreiras	172,52	67,94
Beberibe	30,37	11,93
Granitóides indiscriminados	33,83	13,29
Sertânia	0,15	0,02
Depósitos aluvionares	17,43	6,83

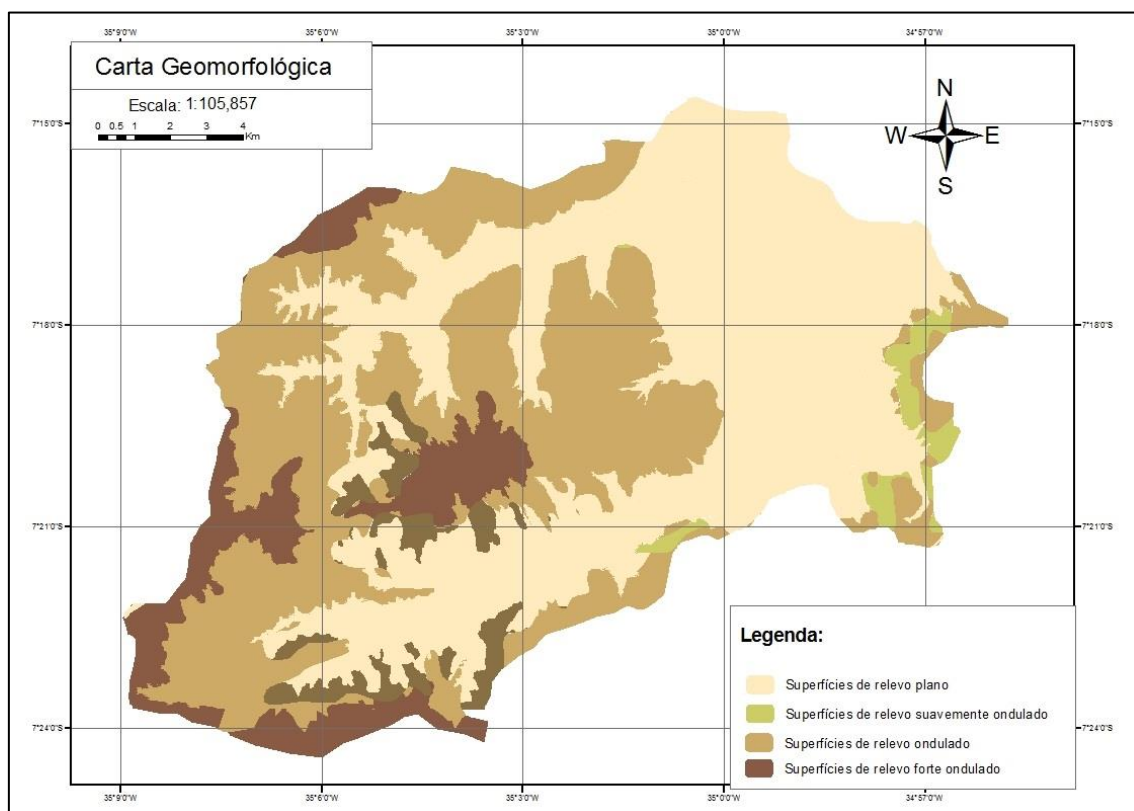
Dessa forma, é possível perceber que a presente área de captação é composta predominante pela formação Barreiras que possui em boa parte de sua composição sedimentos calcários, iniciando com arenitos calcíferos, até calcarenitos, em passagem gradativa para os próprios calcários (SEMARH, 2000). A segunda unidade geológica com maior presença na área de estudo é denominada por Granitóides indiscriminados seguida pela formação Beberibe,

pelos Depósitos aluvionares, aparecendo, em mínima proporção, a formação Sertânia. Sendo assim, 86,71% da área da bacia hidrográfica é composta por terrenos sedimentares compondo, de acordo com a SEMARH (2000), a bacia sedimentar costeira nomeada por Pernambuco – Paraíba.

### 5.3 Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Gramame

A carta geomorfológica foi construída por meio da sobreposição entre os mapas que continham a altimetria, a declividade e a amplitude de interflúvio (Figura 06)

Figura 06 - Carta Geomorfológica da bacia hidrográfica estudada

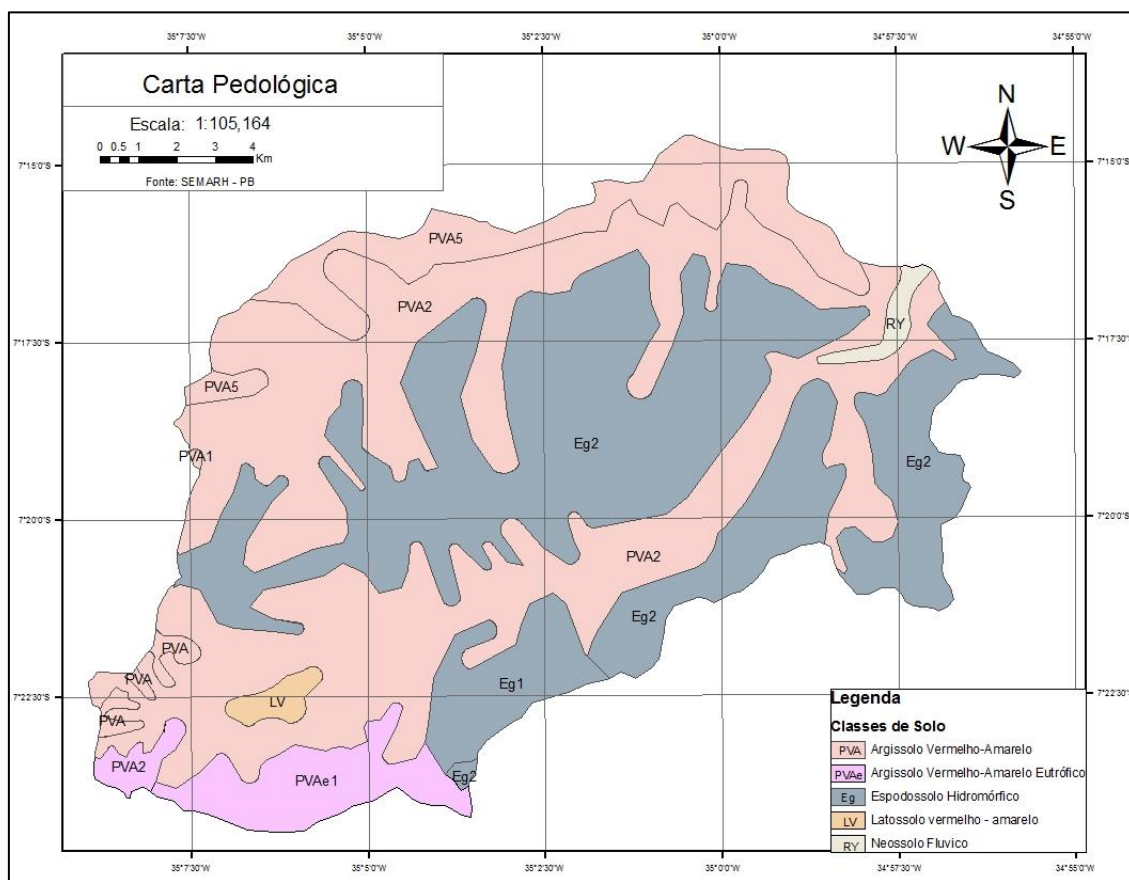


A área é coberta predominantemente por superfícies de relevo plano e ondulado, seguido pelo forte ondulado, que ocorre nos picos mais altos da bacia hidrográfica, e pelo relevo suavemente ondulado que se encontra presente em poucas áreas na bacia hidrográfica.

#### 5.4 Pedologia da bacia hidrográfica do rio Gramame

Os tipos de solos encontrados na área de estudo foram Argissolo Vermelho – Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, Espodossolo Hidromórfico, Latossolo Vermelho Amarelo e Neossolo Flúvico, como pode ser visualizado na Figura 07.

Figura 07 - Carta pedológica da bacia hidrográfica estudada



O principal tipo pedológico encontrado na área de estudo foi o Argissolo Vermelho-Amarelo que é caracterizado, segundo a SEMARH (2000), como um solo com baixa fertilidade natural e são considerados como moderadamente a bem drenados. Em seguida, observa-se a presença do Espodossolo Hidromórfico, que a SEMARH (2000) afirma ser uma classe de solo muito arenosa, profunda e desenvolvida sobre os sedimentos arenosos do Grupo Barreiras. Em menores proporções observa-se a ocorrência de classes

de solo como o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Neossolo Flúvico, conforme é apresentado pelo Quadro 18.

Quadro 18 - Distribuição percentual das classes de solo

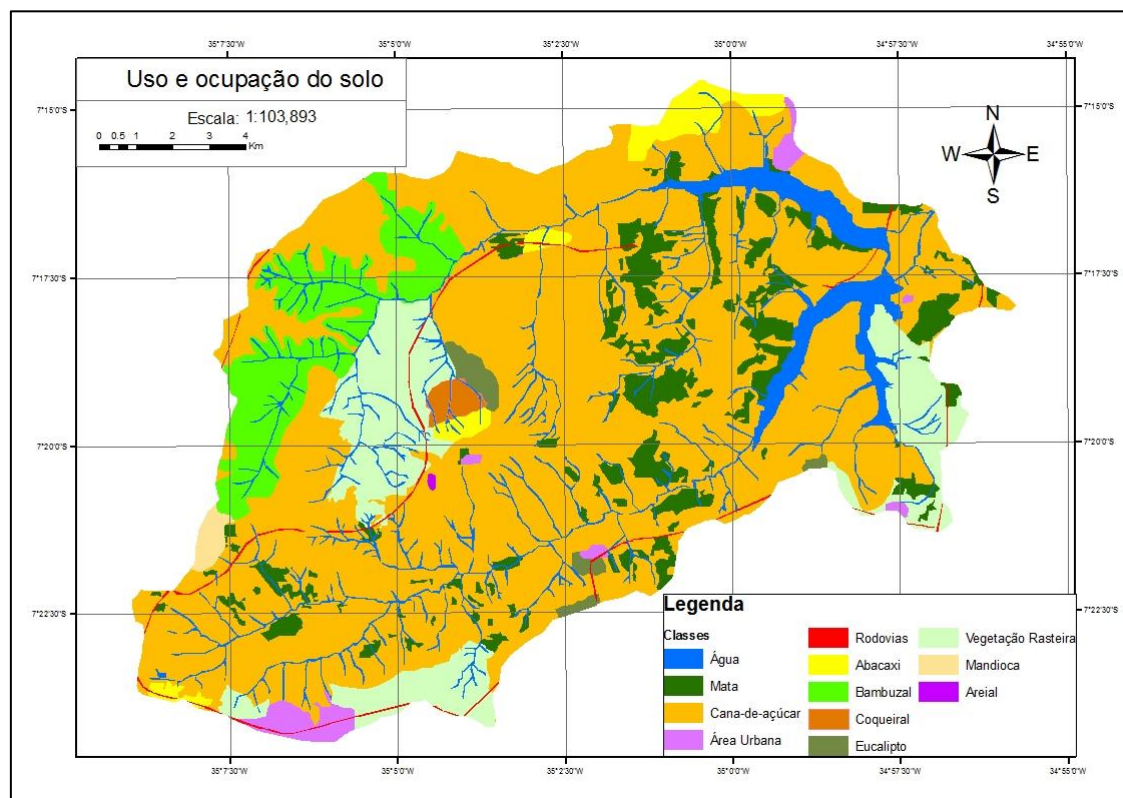
Tipos de solos	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Argissolo Vermelho-Amarelo	130,84	51,432
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	13,57	5,342
Espodossolo Hidromórfico	105,99	41,672
Latossolo Vermelho-Amarelo	1,98	0,792
Neossolo Flúvico	1,92	0,762

## 5.5 Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame

### 5.5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ATUAL

A partir da classificação da imagem obtida pelo satélite LandSat 8 de 28/07/2013 foi possível identificar doze classes na área de estudo (Figura 09).

Figura 08 - Uso do solo e cobertura vegetal atual



A distribuição percentual das áreas das classes contendo os usos do solo observados na bacia hidrográfica do alto e médio curso do rio Gramame pode ser visualizada logo abaixo no Quadro 19.

Quadro 19 - Distribuição percentual das áreas das classes de uso do solo

<b>Classes</b>	<b>Área (km²)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Água	20,12	7,91
Abacaxi	5,24	2,06
Area Urbana	3,46	1,36
Areial	0,09	0,04
Bambuzal	17,22	6,77
Coqueiral	1,27	0,50
Cana-de-açúcar	157,01	61,72
Eucalipto	2,20	0,87
Mandioca	1,15	0,45
Mata	20,06	7,89
Rodovias	1,67	0,66
Vegetação rasteira	24,81	9,76

Percebe-se que a cana-de-açúcar foi o uso predominante nas sub-bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba ocupando 61,72% de sua área. Esse fato foi comprovado no ato das visitas ao campo, como pode ser visto nas Figuras 10 e 11.

Figura 09 - Lavoura de cana-de-açúcar. Localização: 07°15'6,4"S; 35°0'5"O



Figura 10 - Lavoura de cana-de-açúcar. Localização: 07°21'24,1"S; 35°8'3"O



A vegetação rasteira é o segundo tipo de uso mais comum na região ocorrendo em 9,76% da área de captação (Figura 12). Nesse uso estão incluídas as vegetações de porte baixo e as áreas de pasto.

Figura 11 - Vegetação rasteira. Localização: 07°20'45,8"S; 35°5'16,2"O

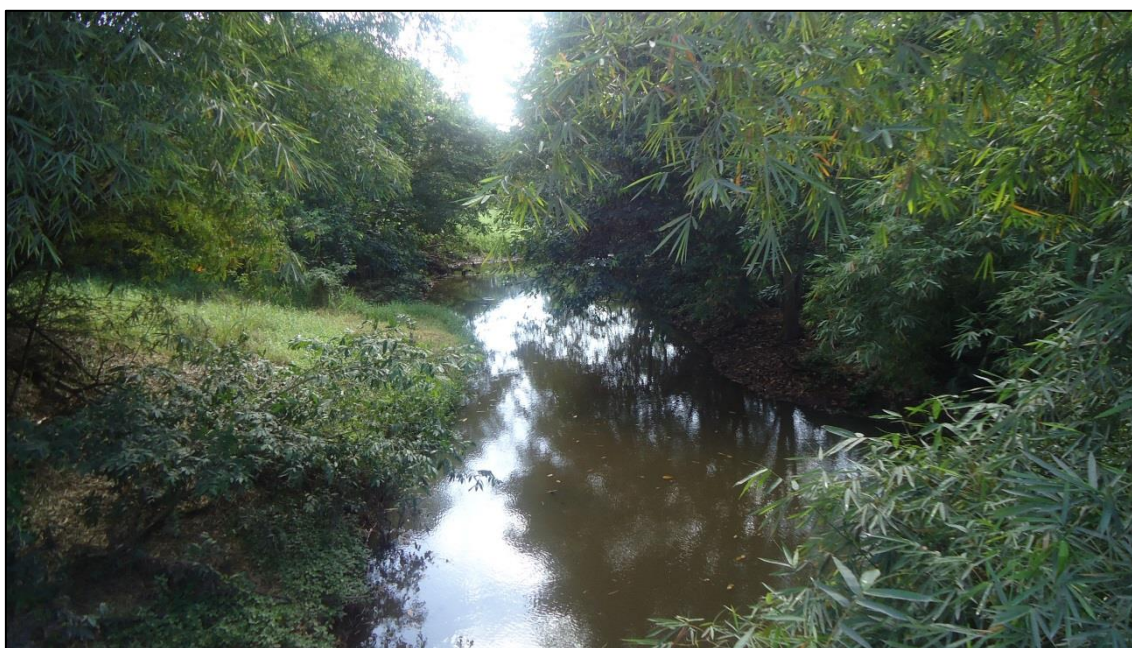


A classe de uso referente à água corresponde a 7,91% da área de estudo, seguida mata que geralmente ocupa as margens de rios, córregos e em alguns locais isolados conforme as Figuras 13 e 14.

Figura 12: - Área de mata isolada. Localização: 07°21'24,1"S; 35°8'3"O



Figura 13 - Exemplo de mata ciliar. Localização: 07°21'06,3"S; 35°1'30



A classe ocupada pelo Bambuzal ocupa uma proporção de 6,77% (Figura 15).

Figura 14 - Bambu. Localização: 07°9'28,9"S; 35°7'4"O



As outras classes de uso do solo na área de estudo foram menos expressivas. Seguem abaixo exemplos das classes de Abacaxi, Área urbana, Areial e Eucalipto (Figuras 16, 17, 18, 19).

Figura 15 - Lavoura de abacaxi. Localização: 07°23'42,3"S; 35°8'2"O



Figura 16 - Área Urbana. Localização: 07°23'42,3"S; 35°8'2"O



Figura 17 - Extração de areia. Localização: 07°20'32,7"S; 35°4'2"O



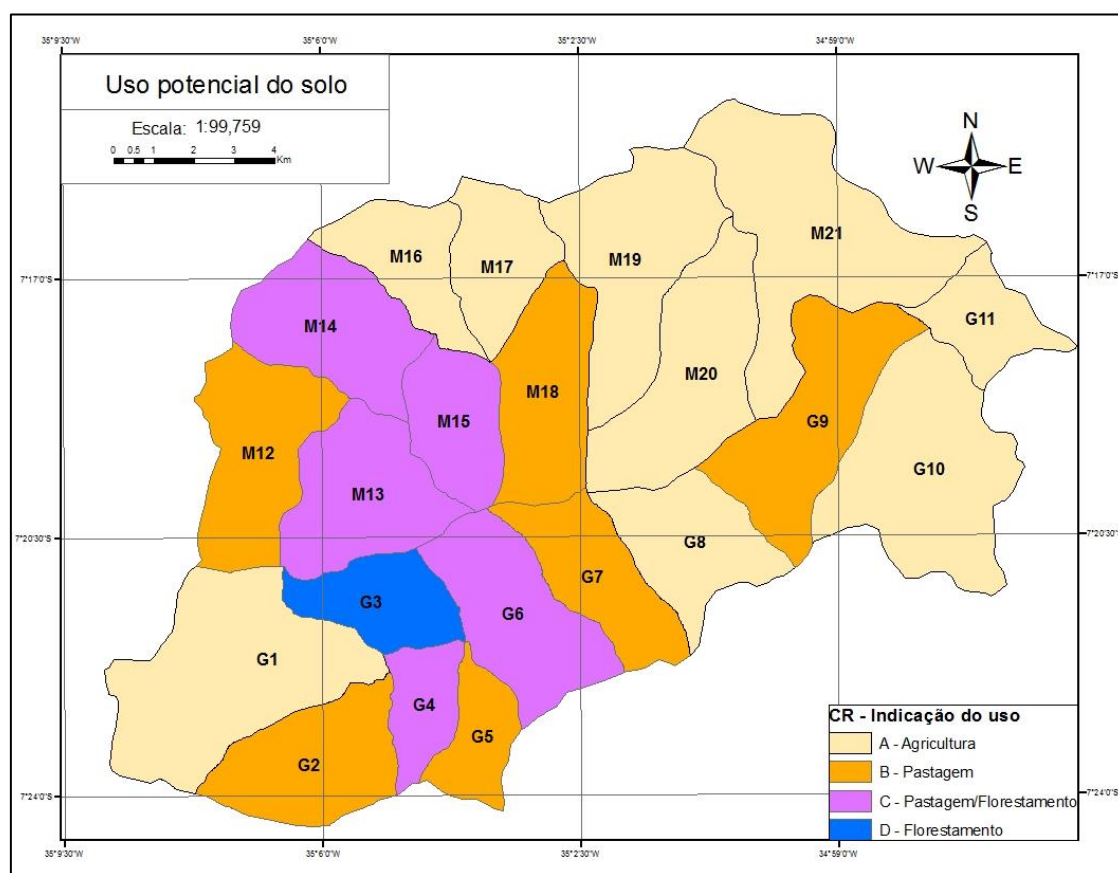
Figura 18 - Eucalipto. Localização: 07°20'32,7"S; 35°4'2"O



#### 5.5.2 USO POTENCIAL DA TERRA

O coeficiente de rugosidade permitiu classificar a maior parte da área de estudo como tendo aptidão agrícola e, apenas a pequena bacia hidrográfica G3 foi designada para reflorestamento (Figura 20). Esses resultados já eram esperados em virtude dos parâmetros morfométricos envolvidos no cálculo do coeficiente, como a densidade de drenagem e a declividade média que, apresentam valores baixos em quase toda a extensão da bacia do alto e médio curso do rio Gramame.

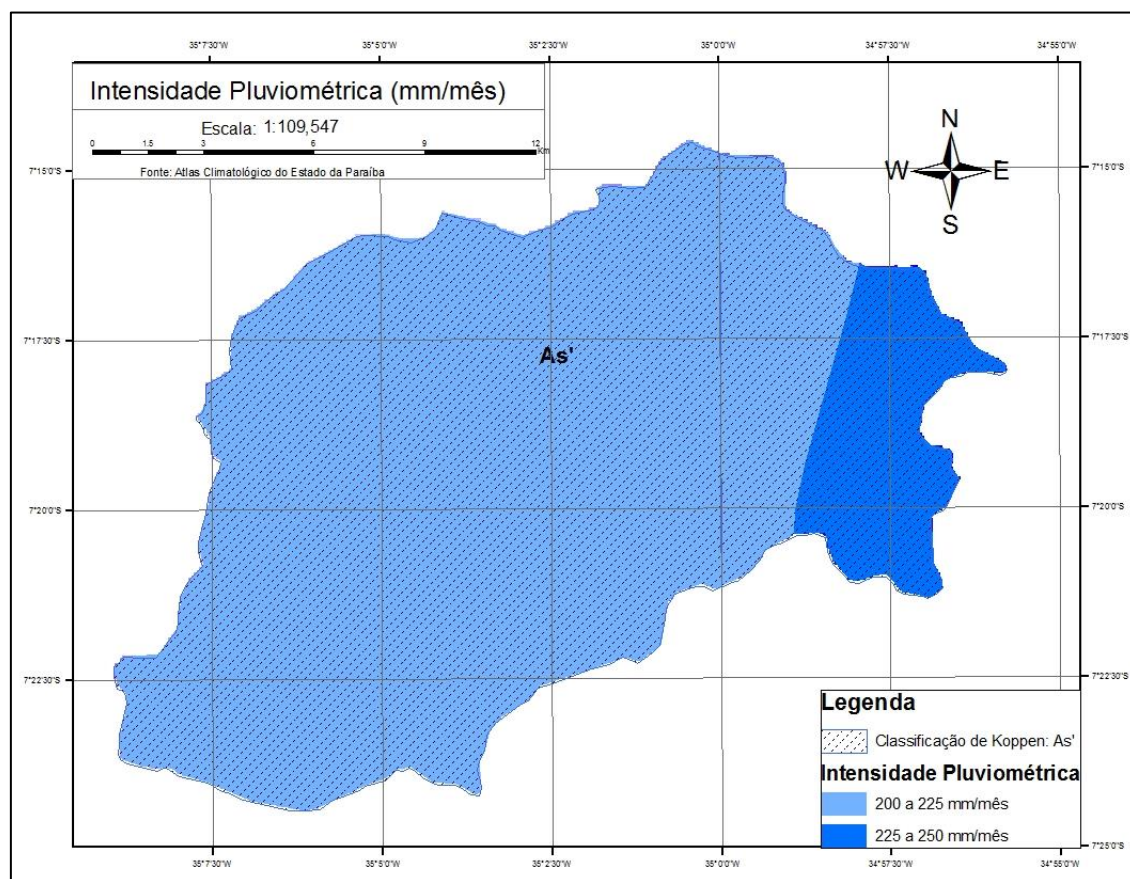
Figura 19 - Uso potencial da terra obtido do conceito do coeficiente de rugosidade



## 5.6 Intensidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Gramame

Segundo a metodologia de Crepani et al. (2001), o risco relativo à climatologia é avaliado com base na relação entre a pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso. Com o mapa da intensidade pluviométrica foi possível perceber duas zonas onde as intensidades equivalem, respectivamente, as faixas contidas em 200 a 225 mm/mês e 225/250 mm/mês, referidas aos meses mais chuvosos, conforme visualizado na Figura 20.

Figura 20: Intensidade pluviométrica na bacia hidrográfica estudada



Observa-se também que a intensidade pluviométrica predominante na área de captação em estudo está contida na faixa entre 200 e 225 mm/mês, só ultrapassando esse limite com a aproximação do litoral onde as intensidades costumam ser mais elevadas, como é apresentado no Quadro 20 logo abaixo.

Quadro 20 - Intensidade Pluviométrica na bacia hidrográfica estudada

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Área (km²)	Porcentagem (%)
200 a 225	226,24	88,97
225 a 250	28,06	11,03

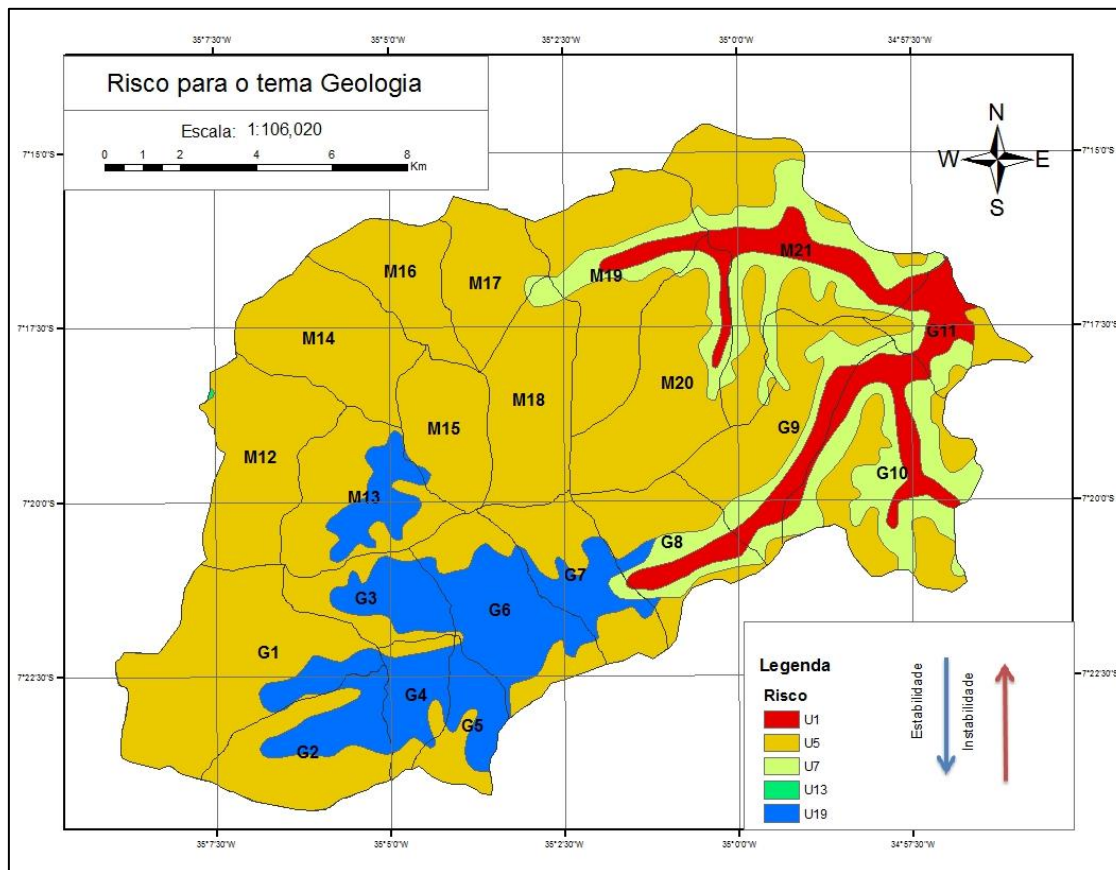
## 5.7 Risco à perda de solo na bacia hidrográfica estudada

### 5.7.1 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA GEOLOGIA

O mapa do risco à perda de solo para o tema Geologia demonstra que a maior parte da bacia está inserida em um ambiente geológico moderadamente instável representado pelas formações Barreiras e Beberibe,

compostas pelas rochas Arenito e Argilito, sendo a última constituída apenas de Arenito (Figura 21).

Figura 21 - Risco à perda de solo para o tema Geologia



O Quadro 21 confirma a análise visual realizada na Figura 21, demonstrando que essas formações ocupam uma área relativa a 79,90% da área de estudo como moderadamente instável, enquanto que apenas 13,27% da área de estudo se encontram em uma situação de estabilidade.

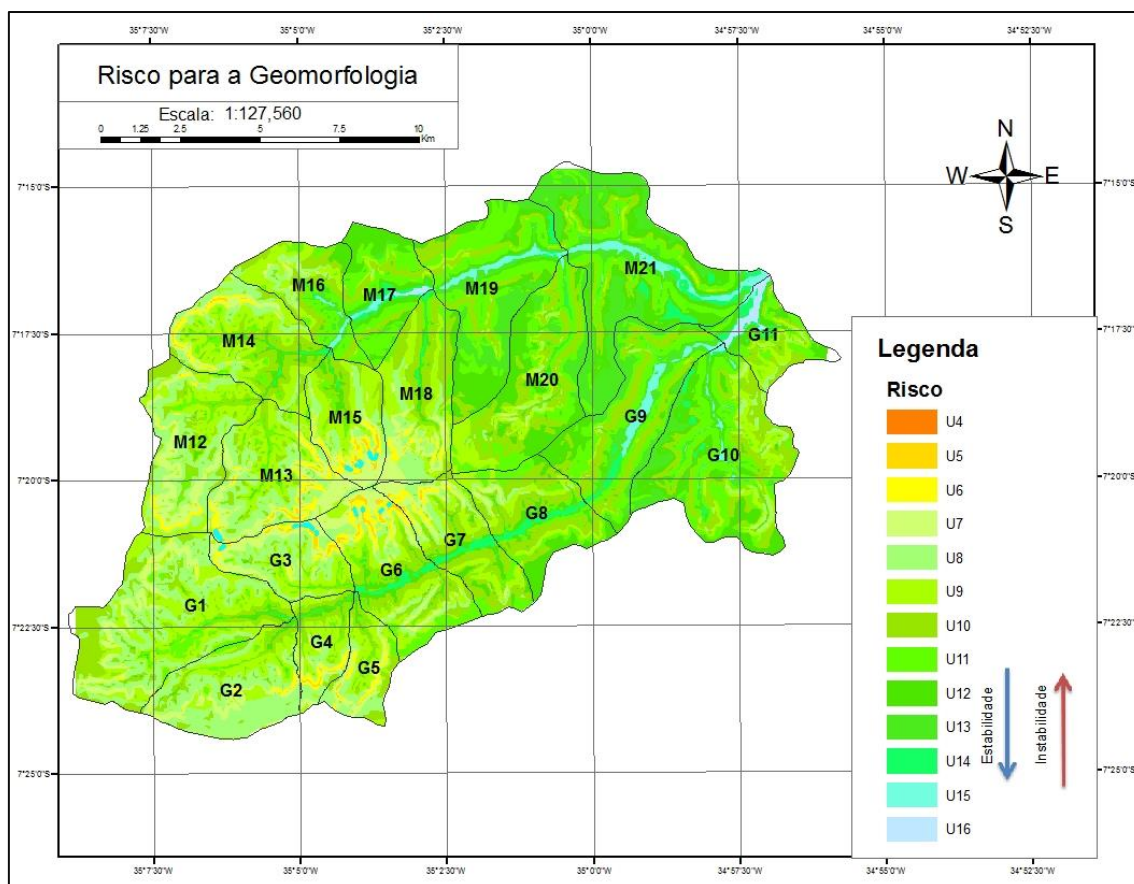
Quadro 21 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema geologia

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U19	1,2	33,74	13,27	Estável	13,27
U13	1,8	0,04	0,02	Medianamente estável/instável	0,02
U7	2,4	30,28	11,90	Moderadamente instável	79,90
U5	2,6	172,89	68,00	Moderadamente instável	
U1	3,0	17,35	6,82	Instável	6,82

### 5.7.2 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA GEOMORFOLOGIA

O mapa do risco para o tema Geomorfologia englobou os planos de informação referentes ao Índice de dissecação, Amplitude altimétrica e Declividade (Apêndices C, D e E). Os setores mais estáveis foram observados nos locais ao longo do curso dos rios, os quais foram classificados como moderadamente estáveis (Figura 22).

Figura 22 - Risco à perda de solo para o tema geomorfologia



De acordo com o Quadro 22, as áreas moderadamente estáveis/instáveis, quanto à geomorfologia, ocupam 71,49% da área de estudo, enquanto que apenas 0,07% foram classificadas como instáveis.

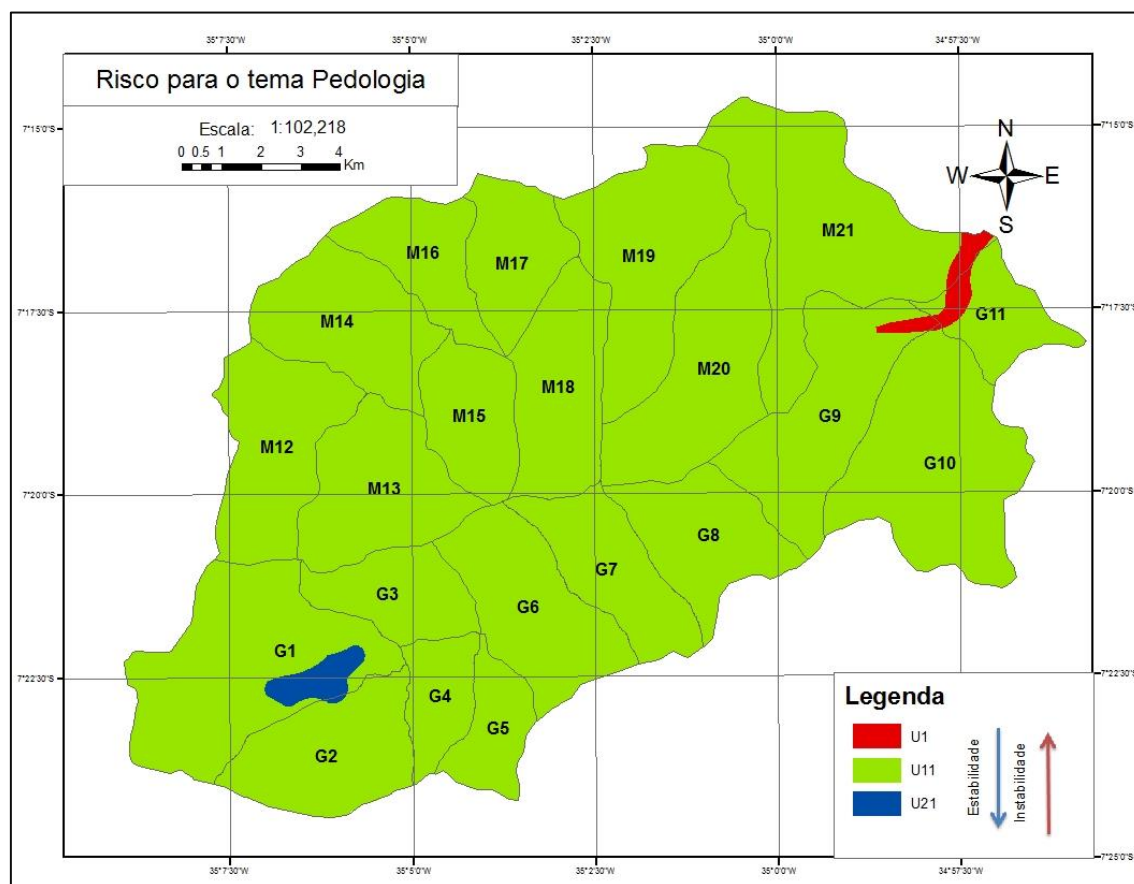
Quadro 22 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema geomorfológico

Unidade de Paisagem	Risco	Porcentagem (%)	Área (km²)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U16	1,5	0,35	0,88	Moderadamente estável	4,06
U15	1,6	1,57	4	Moderadamente estável	
U14	1,7	2,14	5,44	Moderadamente estável	
U13	1,8	8,29	21,07	Medianamente estável/instável	71,49
U12	1,9	11,57	29,43	Medianamente estável/instável	
U11	2,0	15,56	39,57	Medianamente estável/instável	
U10	2,1	19,06	48,48	Medianamente estável/instável	
U9	2,2	17,01	43,26	Medianamente estável/instável	
U8	2,3	13,98	35,55	Moderadamente instável	24,38
U7	2,4	7,20	18,31	Moderadamente instável	
U6	2,5	2,55	6,48	Moderadamente instável	
U5	2,6	0,65	1,66	Moderadamente instável	
U4	2,7	0,07	0,17	Instável	0,07

### 5.7.3 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA PEDOLOGIA

O mapa de solos se apresenta em quase toda sua extensão como sendo medianamente estável em virtude da presença marcante de classes de solos como o Argissolo e o Espodossolo, considerados não tão estáveis e menos intemperizados quando comparados aos latossolos, solos de alta estabilidade (Figura 23).

Figura 23 - Risco à perda de solo para o tema pedológico



Em termos quantitativos, aproximadamente 98,42% da área de ocupação se encontra classificada na categoria medianamente estável/instável, enquanto em apenas 0,80 e 0,77% dos solos da região estão qualificados como estáveis e instáveis, respectivamente (Quadro 23).

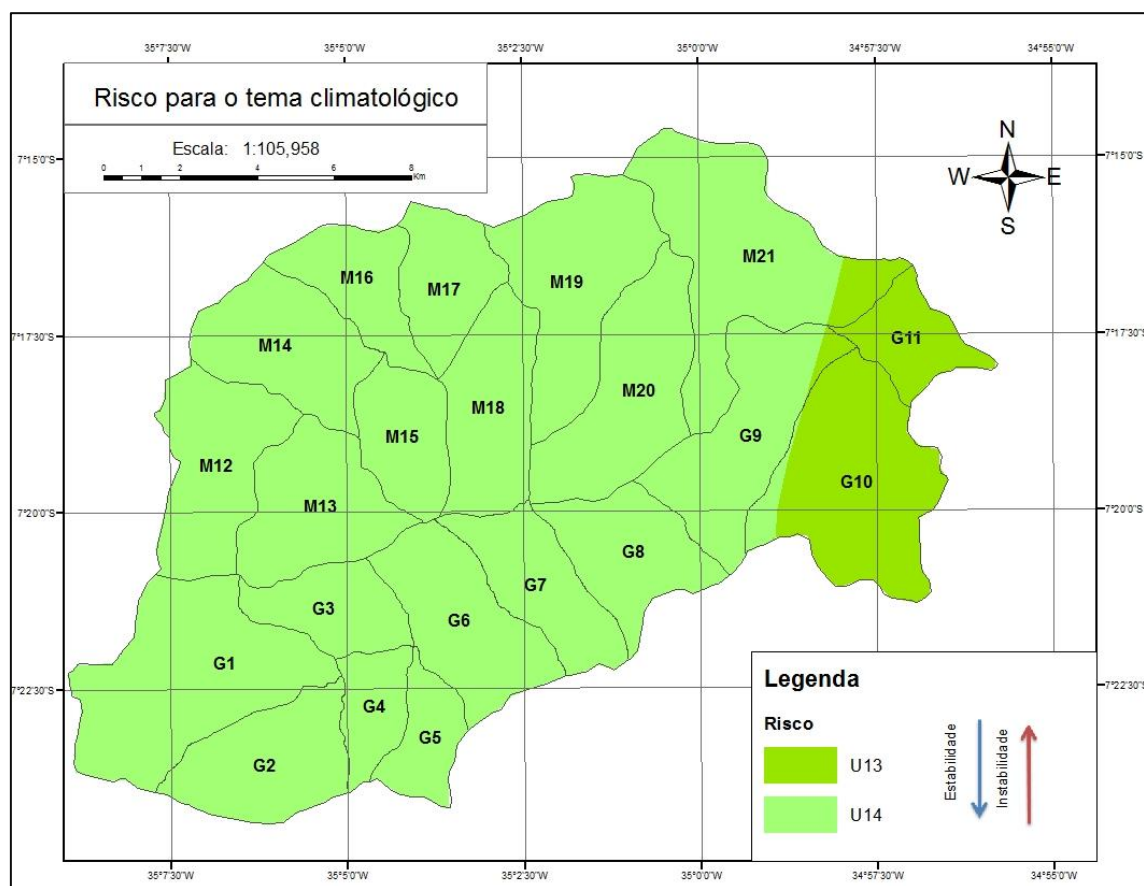
Quadro 23 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema pedológico

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U21	1,0	2,04	Estável	0,80
U11	2,0	250,29	Medianamente estável/instável	98,42
U1	3,0	1,97	Instável	0,77

#### 5.7.4 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA CLIMATOLOGIA

O mapa do risco para a intensidade pluviométrica pode ser visualizado logo abaixo (Figura 24).

Figura 24 - Risco à perda de solo para o tema climatológico



O Quadro 24 mostra que 88,97% da área de captação se encontra em uma situação moderadamente estável devido ao fato de que a mesma está contida, em sua maior parte, na faixa de intensidade pluviométrica entre 200 a 225 mm/mês.

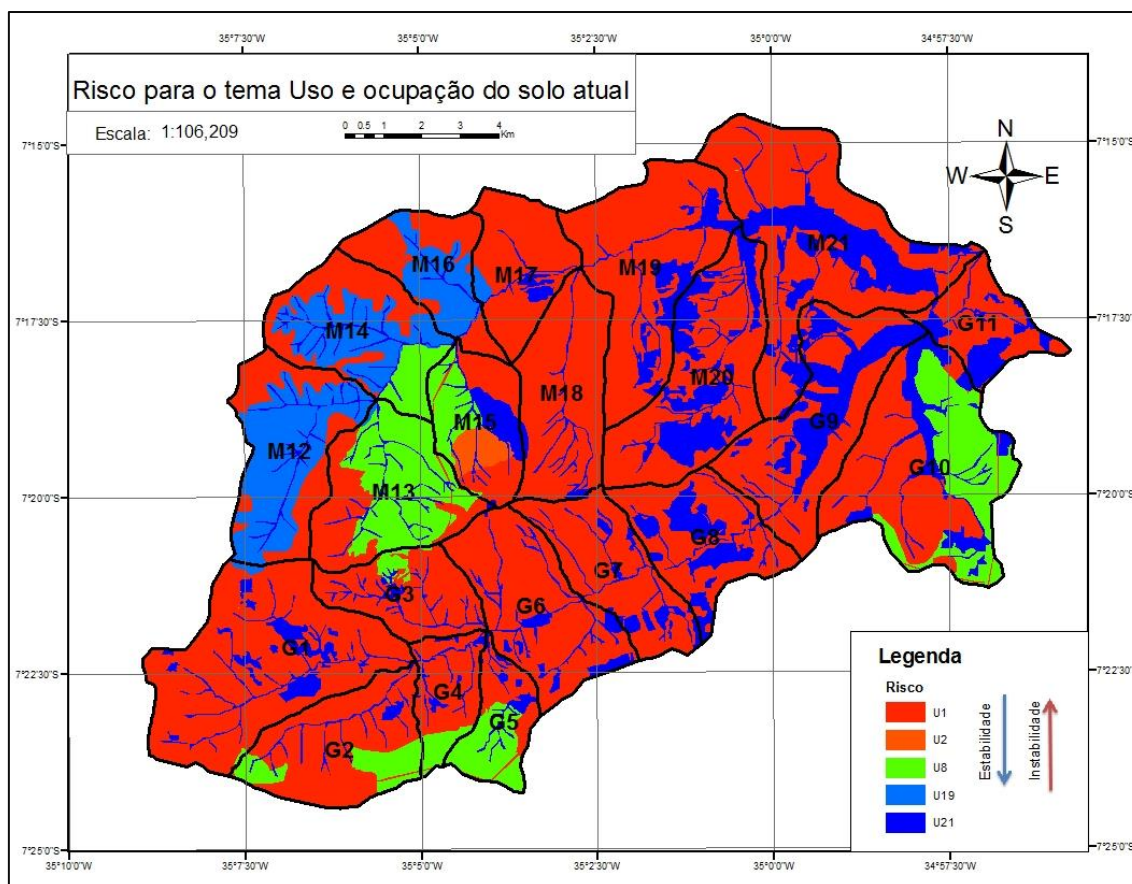
Quadro 24 - Propensão ao risco à perda de solo para o tema climatológico

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U14	1,7	226,24	Moderadamente estável	88,97
U13	1,8	28,06	Medianamente estável/instável	11,03

### 5.7.5 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O TEMA USO DO SOLO ATUAL

A partir de uma análise sobre o mapa do risco para o uso do solo atual percebe-se que boa parte da área de estudo se encontra em uma situação instável, fato que ocorre devido ao fato dessa área de captação ser uma bacia hidrográfica de caráter agrícola com predominância da cultura anual de cana-de-açúcar (Figura 25).

Figura 25 - Risco à perda de solo para o uso e ocupação do solo atual



Numericamente, o nível instável está presente em 66.82% da região, enquanto que 9,75 e 23,44% do local se classificam como moderadamente instáveis estáveis (Quadro 25).

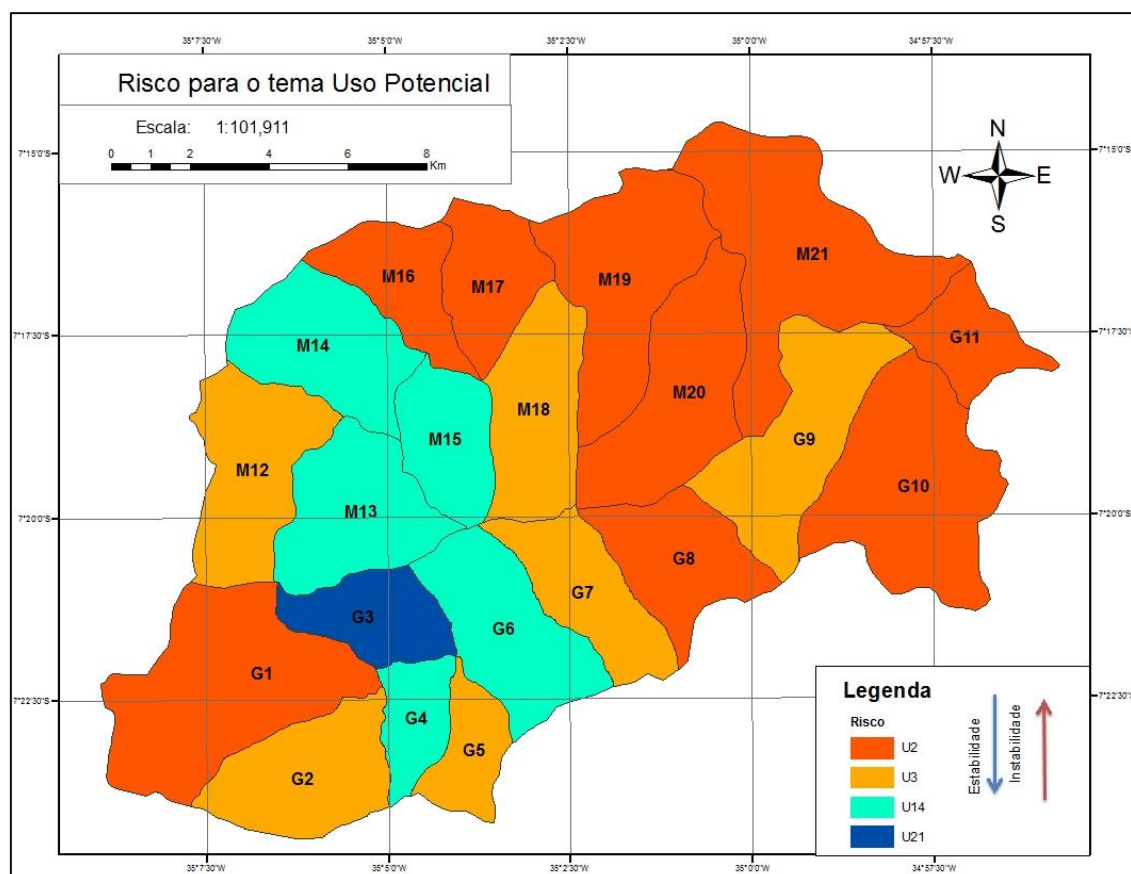
Quadro 25 - Propensão ao risco à perda de solo para o uso e ocupação do solo atual

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem m (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U21	1,0	42,39	16,67	Estável	23,44
U19	1,2	17,21	6,77	Estável	
U8	2,3	24,80	9,75	Moderadamente instável	9,75
U2	2,9	1,26	0,50	Instável	66,82
U1		168,63	66,32	Instável	

#### 5.7.6 RISCO À PERDA DE SOLO PARA O USO DO SOLO POTENCIAL

O risco calculado para o uso potencial das pequenas bacias hidrográficas pode ser observado na Figura abaixo (Figura 26):

Figura 26 - Risco à perda de solo para o uso potencial do solo



Obteve-se, com o risco para o uso potencial um percentual de 76,96% de áreas consideradas instáveis e apenas 2,94% de áreas com estabilidade, de acordo com o Quadro 26.

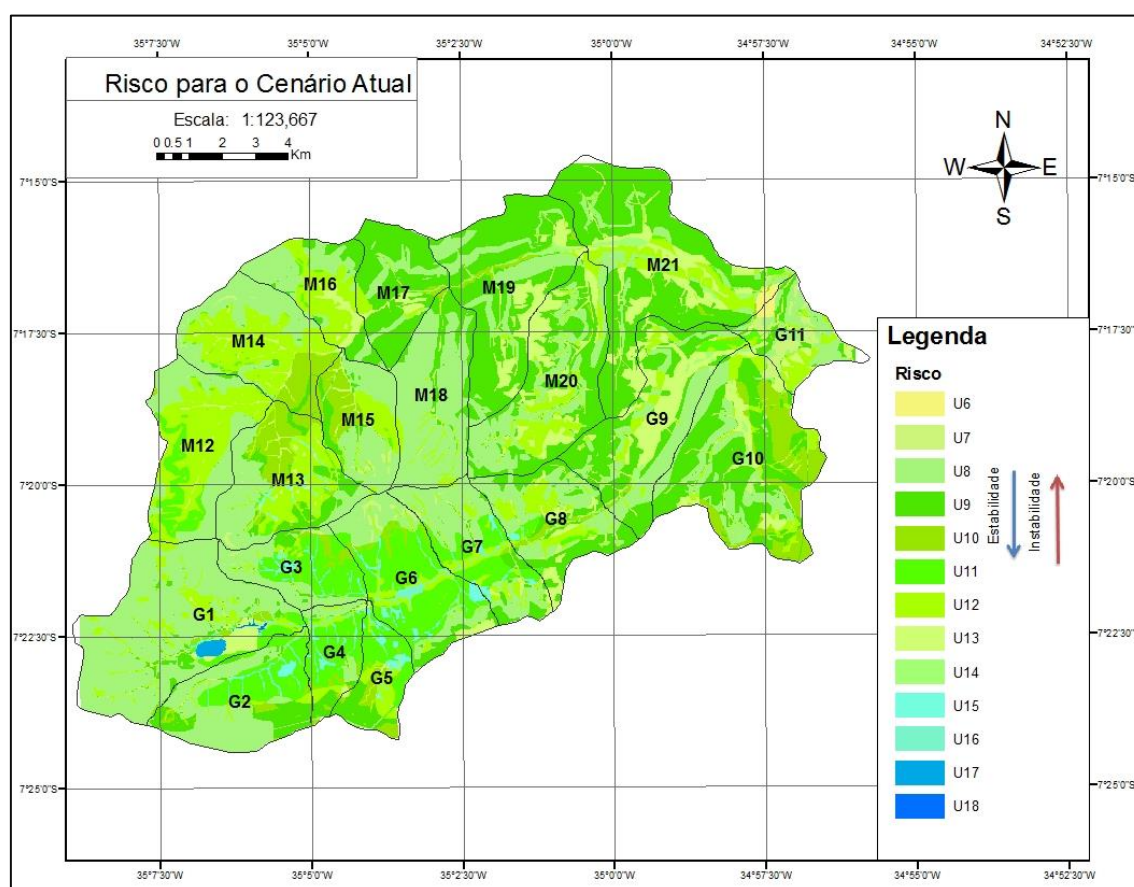
Quadro 26 - Propensão ao risco à perda de solo para o uso e ocupação do solo potencial

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U21	1,0	7,5	2,94	Estável	2,94
U14	1,7	51,12	20,10	Moderadamente estável	20,10
U3	2,8	66,26	26,05	Instável	76,96
U2	2,9	129,42	50,91	Instável	

### 5.7.7 RISCO À PERDA DE SOLO DO CENÁRIO ATUAL

O mapa do risco à perda de solo considerando o cenário atual do uso do solo segue logo abaixo (Figura 27).

Figura 27 - Risco à perda de solo para o cenário atual



Observou-se, por intermédio do Quadro 27, que a maior parte da bacia se encontra em uma situação medianamente estável/instável quanto à perda

de solo tendo em vista que 62,96% de suas áreas se enquadraram nessa classificação. Logo em seguida, verifica-se a presença forte de locais classificados como moderadamente instáveis com 34,57% e uma pequena porcentagem de 0,02% de áreas estáveis. Por fim, é possível perceber que os locais mais instáveis estão situados ao longo da margem do curso dos rios.

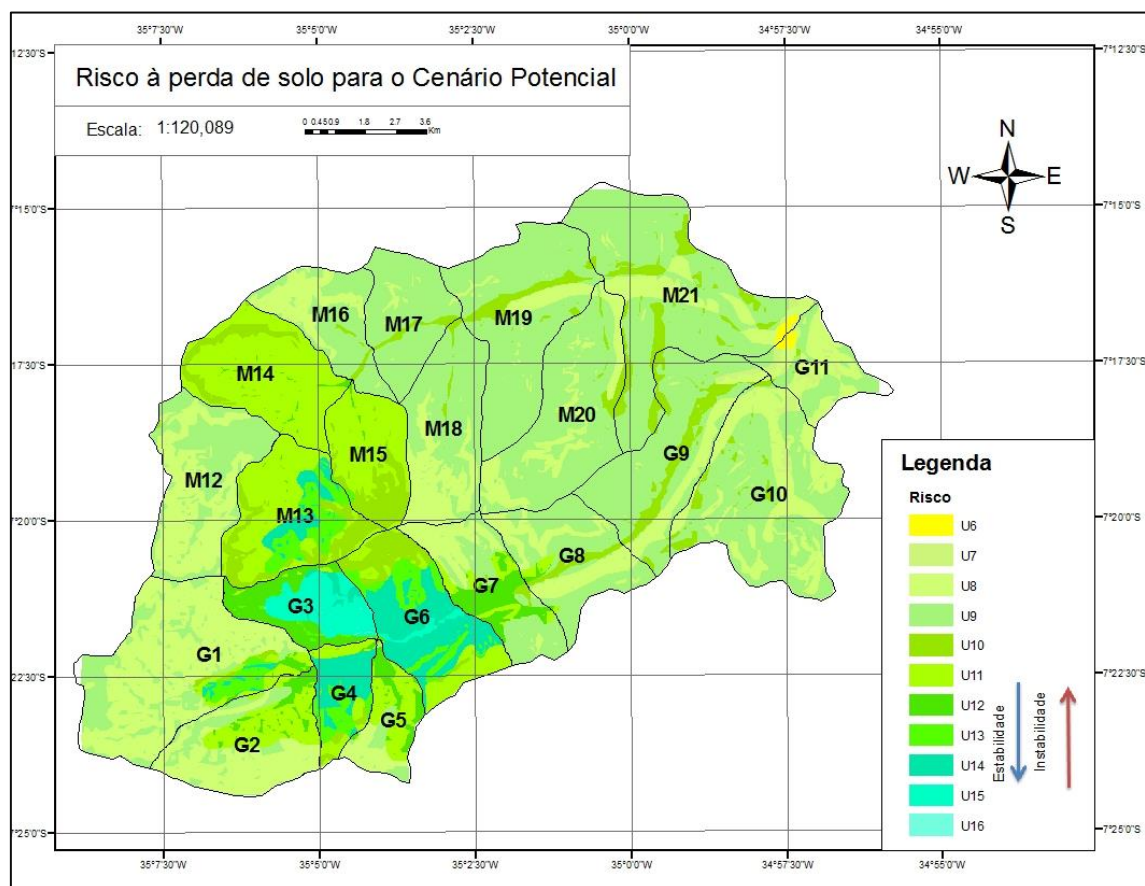
Quadro 27 - Propensão ao risco à perda de solo para cenário considerando o uso atual

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km²)	Porcentagem em (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
U18	1,3	0,16	0,02	Estável	0,02
U17	1,4	0,53	0,16	Moderadamente estável	2,45
U16	1,5	1,13	0,40	Moderadamente estável	
U15	1,6	3,25	1,24	Moderadamente estável	
U14	1,7	1,76	0,65	Moderadamente estável	
U13	1,8	20,94	8,24	Medianamente estável/instável	62,96
U12	1,9	37,15	14,65	Medianamente estável/instável	
U11	2,0	23,38	9,20	Medianamente estável/instável	
U10	2,1	14,26	5,59	Medianamente estável/instável	
U9	2,2	64,02	25,28	Medianamente estável/instável	
U8	2,3	84,78	33,50	Moderadamente instável	34,57
U7	2,4	2,33	0,88	Moderadamente instável	
U6	2,5	0,61	0,20	Moderadamente instável	

#### 5.7.8 RISCO NATURAL À PERDA DE SOLO DO CENÁRIO POTENCIAL

Quanto ao risco à perda de solo calculado com o cenário potencial do uso do solo percebe-se que a presença de locais instáveis ao longo de cursos d'água persiste, assim como, observa-se que as unidades de paisagem foram manchas conforme pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Risco à perda de solo para o cenário potencial



De acordo com o Quadro 28, 69,55% da área de estudo enquadra-se como medianamente estável/instável enquanto que apenas 24,63 e 5,82% encontram-se, respectivamente, como moderadamente instável e moderadamente estável.

Fica claro, da análise dos Quadros 27 e 28, que o acréscimo em áreas que seriam classificadas como Medianamente estável/instável seria um reflexo da diminuição com áreas classificadas como Moderadamente instável.

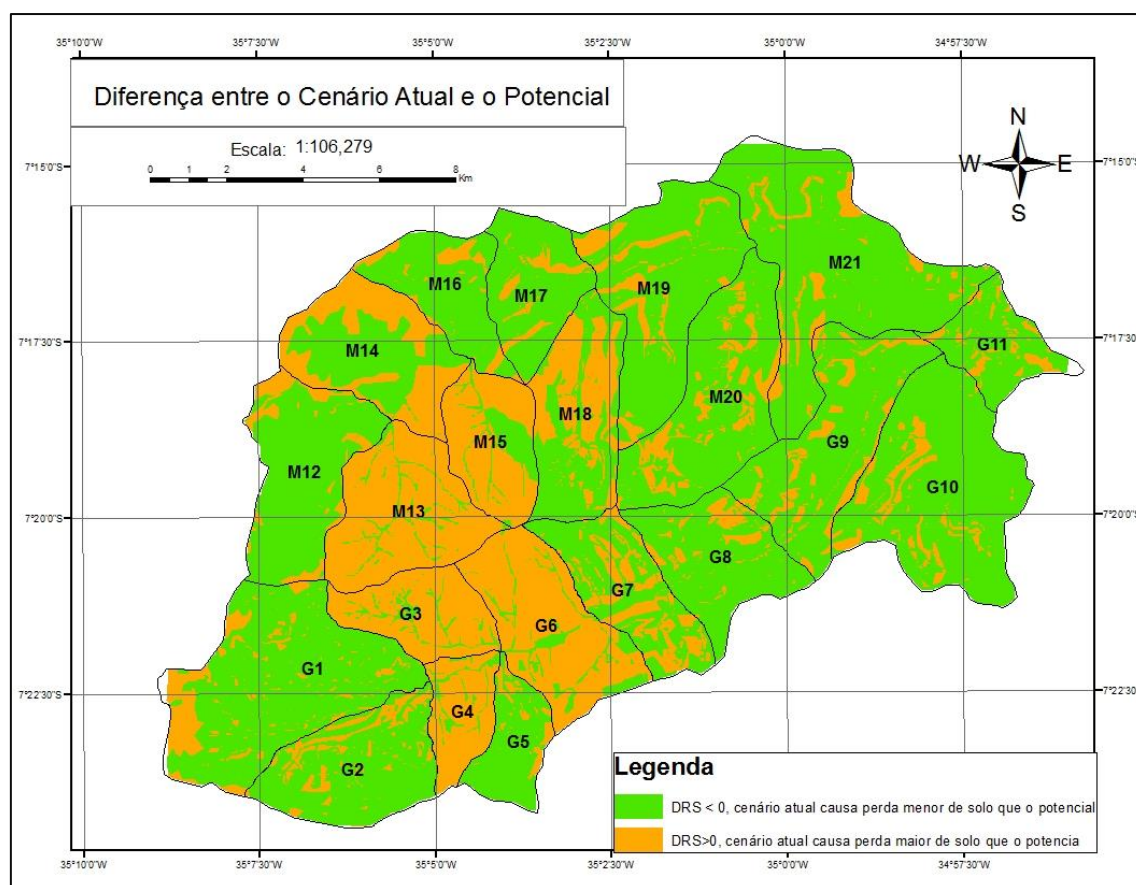
Quadro 28 - Propensão ao risco à perda de solo para cenário considerando o uso potencial

Unidade de Paisagem	Risco	Área (km²)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)	Porcentagem (%)
U16	1,5	0,2	Moderadamente estável	0,02	5,82
U15	1,6	4,26	Moderadamente estável	1,63	
U14	1,7	10,69	Moderadamente estável	4,17	
U13	1,8	7,22	Medianamente estável/instável	2,80	69,55
U12	1,9	8,36	Medianamente estável/instável	3,25	
U11	2,0	33,79	Medianamente estável/instável	13,31	
U10	2,1	18,55	Medianamente estável/instável	7,28	
U9	2,2	108,58	Medianamente estável/instável	42,90	
U8	2,3	60,54	Moderadamente instável	23,89	24,63
U7	2,4	1,54	Moderadamente instável	0,56	
U6	2,5	0,57	Moderadamente instável	0,17	

## 5.8 Análise dos Cenários de Risco

A diferença dos mapas produzidos para os dois cenários de risco mostrou que, em diversas ocasiões, o risco à perda de solo para o cenário potencial apresenta uma maior propensão à perda de solo do que quando é considerado o cenário atual no cálculo desse risco (Figura 29).

Figura 29 - Diferença entre o cenário atual e o potencial



Esse fato pode ser justificado pelo fato de que a bacia hidrográfica em estudo possui caráter essencialmente agrícola. De acordo com o Quadro 29 em 67,80% dos casos a propensão à perda de solo é maior no cenário potencial, ao mesmo tempo em que nos outros 32,20% o maior risco foi provocado pelo cenário atual.

Quadro 29 - Diferença entre o cenário Atual e o Potencial para o risco à perda de solo

	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
*DRS < 0	172,03	67,80
DRS > 0	82,27	32,20

Onde DRS = Diferença entre o cenário Atual e o Potencial.

O Quadro 30 também exemplifica essa situação quando se é comparada a classe medianamente estável/instável, pois, no cenário atual 62,96% da área de estudo está enquadrada nessa classificação, ao passo que,

o cenário potencial possui 69,55%. Outro dado útil para confirmar essa situação é o fato de que o risco à perda de solo com o uso atual apresenta 0,02% da área de estudo consideradas estáveis, enquanto que o cálculo com o uso potencial não resultou em nenhum valor incluído nessa categoria.

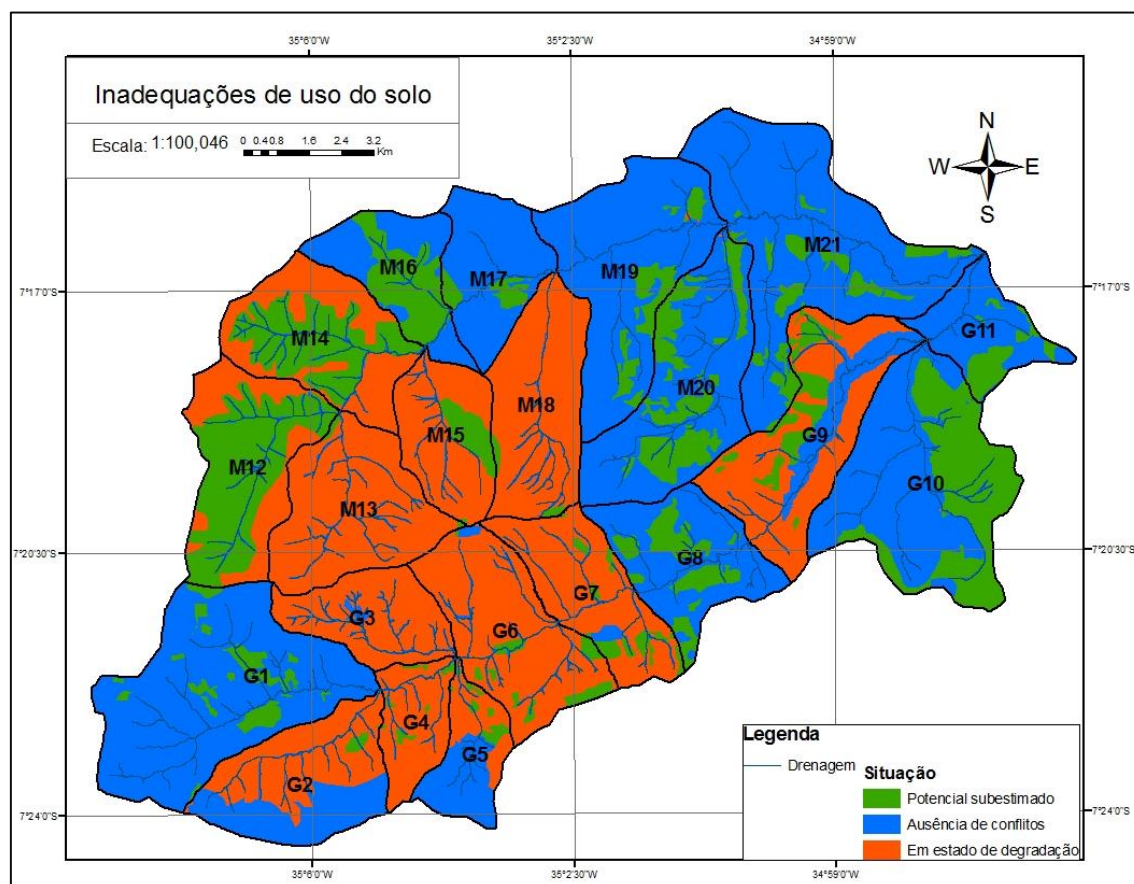
Quadro 30 - Cenário Atual X Cenário Potencial

Cenário Atual		Cenário Potencial	
Propensão ao risco	Porcentagem (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
Estável	0,02	Estável	
Moderadamente estável	2,45	Moderadamente estável	5,82
Medianamente estável/instável	62,96	Medianamente estável/instável	69,55
Moderadamente instável	34,57	Moderadamente instável	24,63

## 5.9 Conflitos de uso do solo

O mapa dos conflitos de uso do solo confirmou os resultados obtidos com a análise dos cenários atual e potencial. Com esse mapa observou-se que grande parte da bacia encontra-se classificada como ausência de conflitos e as mesmas áreas classificadas como em estado de degradação pela Figura 30 foram os locais onde a propensão à perda de solo do cenário atual foi maior do que no potencial.

Figura 30 - Inadequações do uso do solo



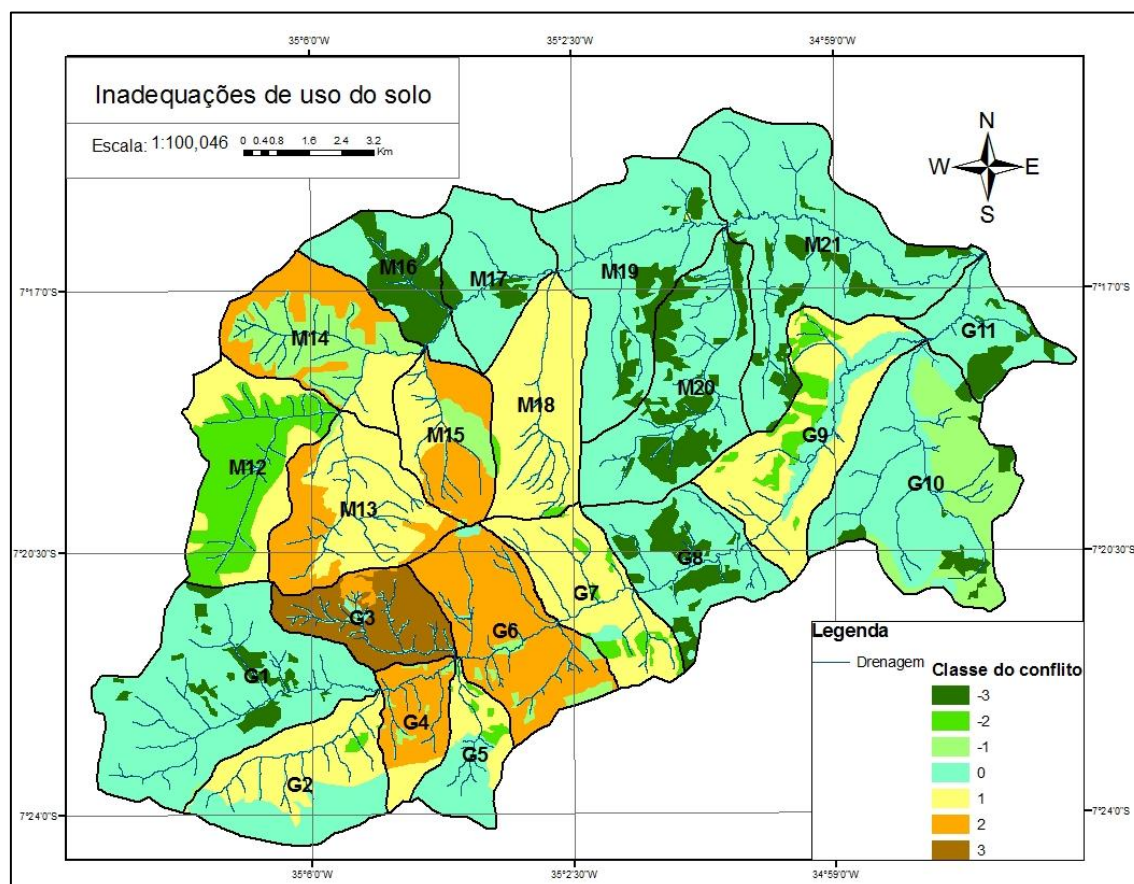
A predominância de áreas classificadas como contendo ausência de inadequações também é exemplificada no Quadro 31 que contém a porcentagem de áreas contidas em cada situação, por onde se observa que em 47,16% da área os conflitos se mostram ausentes.

Quadro 31 - Porcentagem de área por classe de conflito para a bacia hidrográfica estudada

Situação	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Potencial subestimado	46,49	18,31
Ausência de conflitos	119,93	47,13
Em estado de degradação	87,88	34,56
Total		100,00

Os conflitos encontrados variaram entre os limites de -3 a 3, sendo que os valores negativos são indicativos de que o potencial de uso da terra aponta usos que provocam maiores degradações, e os positivos indicam que o local apresenta o maior risco de degradação da bacia (Figura 31).

Figura 31: Classes dos conflitos ou inadequações encontrados



O Quadro 32 apresenta as porcentagens de área por classe de conflito. A pequena bacia hidrográfica que se encontra em maior risco de degradação é a nomeada G3, em virtude de seus valores elevados para a densidade de drenagem e a declividade média, as quais lhe conferiram uma aptidão voltada para usos destinados ao florestamento enquanto que, atualmente, há a presença de atividades agrícolas na bacia hidrográfica como o cultivo de cana-de-açúcar. A pequena bacia denominada M16 é apontada como a inserida em um ambiente mais favorável caso permanecesse com o uso observado na mesma caracterizado como bambuzal. A ausência de conflitos ou inadequações predomina em dez das 21 pequenas bacias, respectivamente, G1, G5, G8, G10, G11, M16, M17, M19, M20, M21. As demais unidades de estudo, com exceção da M12, se encontram em risco de degradação, mas não em estado tão crítico como a G3.

Quadro 32 - Porcentagem de área por classe de conflito e adequação

Pequena bacia	Área (km²)	Classe de conflito						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
G1	21,84	8,72	0,02	0,22	90,89	0,06	0,02	0,07
G2	11,73	0,00	1,48	0,02	43,31	55,14	0,06	0,00
G3	7,49	0,00	0,00	0,03	10,49	0,09	7,48	81,91
G4	5,07	0,00	0,07	5,04	6,61	16,68	71,46	0,14
G5	5,30	0,00	6,72	0,09	57,60	35,37	0,22	0,00
G6	12,96	0,00	0,03	7,20	7,41	0,11	85,20	0,05
G7	9,63	0,03	9,21	0,02	8,96	81,67	0,09	0,00
G8	10,29	24,90	0,07	0,00	74,84	0,20	0,00	0,00
G9	14,94	0,18	13,57	0,00	21,97	64,28	0,00	0,00
G10	20,26	5,78	0,00	35,06	59,02	0,07	0,00	0,06
G11	6,22	20,96	0,00	0,22	78,60	0,16	0,00	0,00
M12	13,07	0,05	61,21	0,05	5,02	33,55	0,17	0,00
M13	12,60	0,00	0,03	0,87	6,35	59,62	33,21	0,04
M14	12,50	0,04	0,02	41,78	6,38	15,52	36,30	0,00
M15	7,98	0,00	0,03	14,45	5,97	28,08	51,53	0,00
M16	7,88	42,84	0,00	0,09	56,96	0,00	0,18	0,00
M17	8,15	9,58	0,00	0,00	90,33	0,00	0,09	0,00
M18	11,58	0,01	2,13	0,03	5,12	92,80	0,04	0,00
M19	16,61	11,58	0,00	0,00	88,21	0,21	0,00	0,00
M20	15,52	27,94	0,00	0,00	72,00	0,10	0,00	0,00
M21	22,71	11,22	0,05	0,00	88,67	0,08	0,00	0,00

Com os dados do Quadro 33 é possível visualizar os percentuais totalizados nas sub-bacias hidrográficas de Gramame e Mamuaba e na bacia como um todo. O padrão de ocorrências das classes de conflito foi o mesmo em todas as sub-bacias e na bacia hidrográfica completa. A ausência de conflito ocorreu sempre com valores acima de 45%, seguido pela classe de conflito positiva equivalente a um, com a presença de conflitos negativos e um percentual mínimo relativo à classe de conflito igual a três, tendo em vista que o mesmo não se faz presente na sub-bacia hidrográfica do rio Mamuaba.

Quadro 33 - Porcentagem de área por classe de conflitos e adequações nas bacias hidrográficas

Bacia	Área (km²)	Classe de conflito						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
Gramame (G)	125,7	5,56	2,75	6,65	46,74	21,26	12,13	4,90
Mamuaba (M)	128,6	10,09	6,42	5,05	47,52	20,91	10,01	0,00
Gramame-Mamuaba (GM)	254,3	7,85	4,61	5,85	47,13	21,09	11,06	2,42

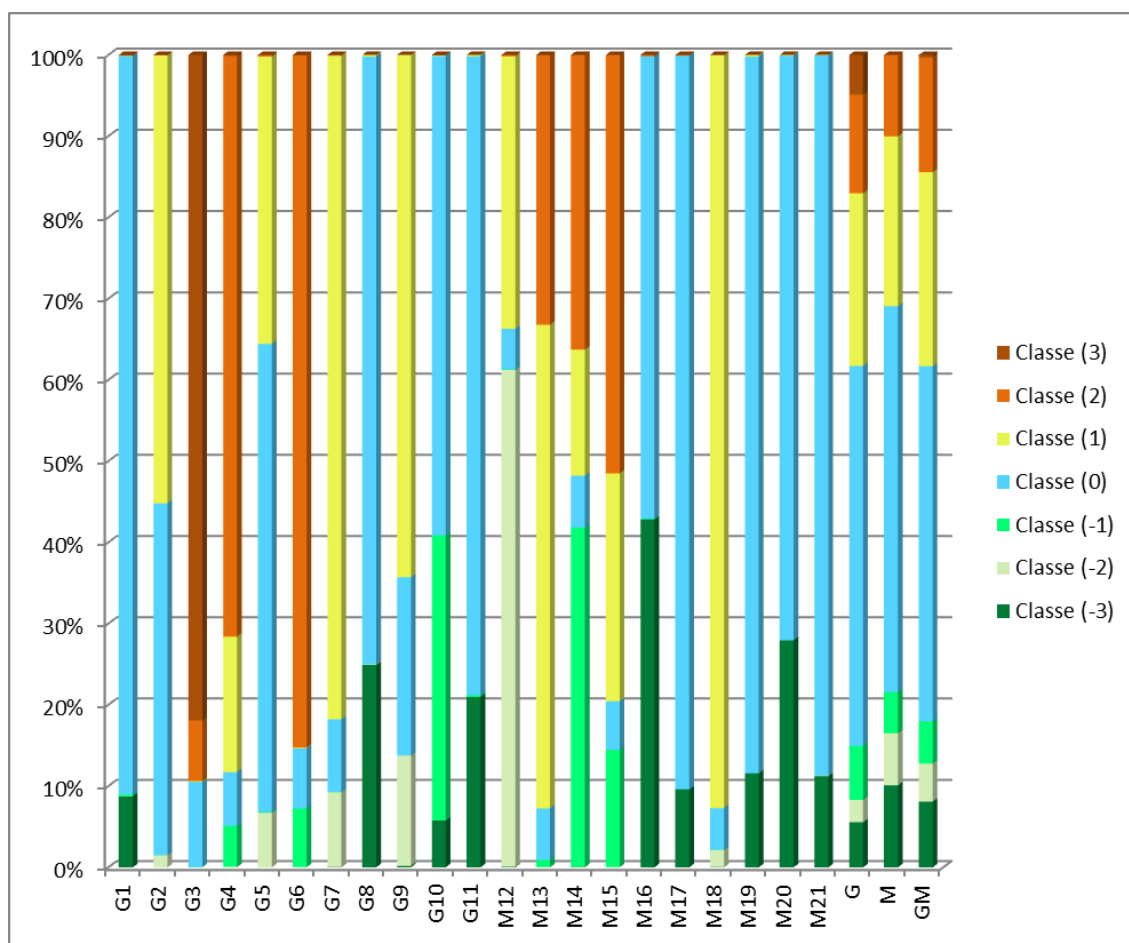
De acordo com o Quadro 34, a ausência de conflitos esteve presente em 47,13% da área de estudo, precedido por 34,56% de conflitos positivos, ou seja, onde o uso deve ser mais restrito, e 18,31% de conflitos negativos, indicando que o uso atual deve ser mantido nessas áreas.

Quadro 34 – Porcentagem total de área por classe de conflito e adequações na bacia hidrográfica estudada

Percentual de ocorrência segundo os conflitos		
Conflitos negativos	Ausência de conflitos	Conflitos positivos
18,31	47,13	34,56

As classes de conflito também podem ser observadas na Figura 32, a qual contém um gráfico demonstrando a porcentagem das classes de conflito por pequena bacia hidrográfica.

Figura 32 - Porcentagem das classes de conflito por bacia hidrográfica



A predominância de conflitos considerados adequados pode ser observada na Figura 32 por meio do destaque dos conflitos de classe igual a zero, tanto nas pequenas bacias hidrográficas, como nas sub-bacias hidrográficas de Gramame e Mamuaba. Observa-se, também, que a única pequena bacia com um percentual alto de áreas contidas na classe de conflito igual a 3 é a nomeada por G3, fato que se justifica pelas suas características de relevo, tendo em vista que a mesma é bastante declivosa o que indica que a área deveria ser utilizada para fins de reflorestamento. Opostamente ao caso da pequena bacia G3 tem-se a denominada por M16 que possui grande parte de suas áreas classificadas como tendo um potencial subestimado, ou seja, como uma região capaz de manter atividades agrícolas em função de seu relevo e possui área de mata em seu interior.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dos cenários atual e potencial do uso do solo, para a bacia hidrográfica estudada, considerando os cinco temas estudados (geologia, geomorfologia, solos, climatologia e o uso e ocupação atual e potencial) não apresentou resultados considerados negativos. Efetivamente, não foram identificados, em nenhum dos cenários, propensão à instabilidade para a bacia hidrográfica, sendo os níveis máximos de riscos classificados como moderadamente instáveis.

Fica evidenciado, a partir dos resultados encontrados, que o cenário potencial que seria adotado, conforme a metodologia descrita, na área de estudo, possui uma maior propensão à perda de solo quando comparada com o cenário atual. Haveria um acréscimo em termos de áreas consideradas moderadamente estável de 3,37%, enquanto que a diminuição de áreas classificadas como moderadamente instável seria de 9,94%. Já as áreas medianamente estável/instável teriam um acréscimo de 6,59%.

Evidentemente são resultados que representariam uma evolução considerável a partir de uma mudança na ocupação da bacia hidrográfica adotando-se o conceito de uso potencial, uma vez que ter-se-iam acréscimos positivos relativamente às classificações de moderadamente estável e moderadamente instável que totalizariam 9,96%, considerando-se que a diminuição de áreas moderadamente instável é positiva ou benéfica quanto a riscos menores de perda de solo. O acréscimo em áreas que seriam classificadas como medianamente estável/instável seria um reflexo da diminuição das áreas classificadas como moderadamente instável.

Não é possível, à luz da metodologia adotada, relacionar os ganhos a um pequeno conjunto de variáveis influentes para o risco à perda de solo. O fato de que a bacia hidrográfica possui um relevo relativamente plano com características essencialmente agrícolas talvez possa explicar a pouca variabilidade entre os cenários, em termos de perdas de solos.

Da mesma maneira, não foram encontradas muitas inadequações do uso do solo. De fato, a ausência de conflitos representou uma porcentagem de 47,13% da área da bacia, enquanto que 18,31% das inadequações foram

negativas, representando 65,44% de resultados que podem ser considerados como benéficos ou adequados. Por outro lado, 34,56% foram positivos, ou seja, haveria uma melhor forma de uso a ser considerada conforme a metodologia aplicada.

Esses resultados despertam para a necessidade de se repensar sobre os usos que atualmente ocorrem na bacia hidrográfica com o objetivo de se tentar evitar maiores propensões à instabilidade para a região, com maior predominância dos processos de morfogênese. Por outro lado, deve ser recomendada a manutenção do uso atual nas áreas em que foram identificadas menores propensões à perda de solo em comparação ao uso considerado potencial.

Sabe-se que seria praticamente impossível se manter uma bacia hidrográfica, onde ocorrem usos antrópicos, com níveis plenos de estabilidade à perda de solo. No entanto, pode-se vislumbrar como meta o alcance de níveis pelo menos medianos de estabilidade e instabilidade.

Portanto, no processo de elaboração do plano da bacia hidrográfica ou do estudo ambiental, pautado em um zoneamento geoambiental, deve ser levada em consideração a possibilidade de análise considerando o uso potencial, além do atual, objetivando alcançar os menores índices de risco à perda do solo. Ademais, a metodologia de identificação de inadequações de uso do solo mostrada e aplicada às sub-bacias vem contribuir para o debate e entendimento do que seriam as melhores práticas de uso a serem buscadas na bacia hidrográfica.

Assim, a metodologia adotada e mostrada nesse trabalho e os resultados alcançados devem servir como um instrumento de utilidade para os processos de planejamento e gestão de recursos naturais, compreendendo solos, vegetação e recursos hídricos, no espaço geográfico da bacia hidrográfica.

Entende-se, que o tema da ocupação otimizada relativamente à menor perda de solo nas bacias hidrográficas merece a continuidade dos estudos, haja vista a sua importância inclusive com novos desafios como a consideração de mudanças ambientais dentre elas, as climáticas. Dessa forma, sugere-se a consideração de outras metodologias voltadas para o planejamento ambiental

que visem contribuir para melhores situações referentes à conservação dos solos e gestão dos recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBOLEDA, O. D. C. **Medición de la gestión del riesgo en América Latina.** Sustentabilidad, tecnologia y humanism. Nº 3. 2008. Pg 1-20.
- ARAÚJO, G. H. GUERRA, A. J.; ALMEIDA, J. R. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas.** Rio de Janeiro – RJ. Bertrand Brasil. 2010.
- ARAÚJO JUNIOR, A. A de; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L.G. **Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do Rio Capivara – Botucatu (SP), visando o uso racional do solo.** Irriga, Botucatu, v.7, n.2, 2002.
- BAGARELLO, V.; STEFANO, C. Di; FERRO, V.; KINNELL, P.I.A.; PAMPALONE, V.; PORTO, P.; TODISCO, F. **Predicting soil loss on moderate slopes using an empirical model for sediment concentration.** Journal of Hydrology 400 (2011) 267–273.
- BARACUHY, J. G. de V.; KURTZ, S. M. de J. M; KURTZ, F. C.; DUARTE, S. M. A.; LIMA, V. L. A. de.; ROCHA, J. S. M. da; NETO, J. D. **Deterioração físico-conservacionista da Microbacia Hidrográfica do Riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.159-164, 2003
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico.** R. RAÍE GA, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Editora UFPR
- BEZERRA, I. S. **Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo para cenários de Uso e Ocupação do solo atual e potencial da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2013
- BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of Soil Conservation and Management.** Springer. 2008.
- CABRAL DA SILVA, T.; FILGUEIRA, H. J. A.; ALENCAR, R. I. S. de; PEDROSA FILHO, L.; CAVALCANTI, A. K. G. **Avaliação de captações de águas de nascentes na bacia do rio Gramame.** XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011.
- CAMPOS, S.; SILVA, C. O. da; GARCIA, Y. M. **Avaliação morfométrica da microbacia do Ribeirão Benfica – Piquete (SP).** Fórum Ambiental da Alta Paulista. ISSN 1980 – 0827. Volume 8, Número 2, 2012.
- CARVALHO, D. F. de.; CRUZ, E. S. da; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.. **Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, n.1, p.3–9, 2009.

CASTRO, C. M. de; PEIXOTO, M. N. de O.; RIO, G. A. P. do. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. ISSN 0101-9759 Vol. 28-2 / 2005 p. 11-30

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo.** R. Bras. Ci. Solo, 27:743-753, 2003.

COSTA, K. V. de M.; et al. **Análise morfométrica e ambiental da microbacia hidrográfica do São José – Crato/CE.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. Bento Gonçalves, RS.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; GALLOTTI, T.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos, Junho de 2001.

CUNHA, R. C. da; DUPAS, F. A.; PONS, N. A. D.; TUNDISI, J. G. **Análise da influência das variáveis ambientais utilizando interferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

EGLER, C. A. G. **Risco ambiental como critério de gestão do território: uma aplicação à Zona Costeira Brasileira.** Revista Território, 1(1), 1996

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias.** 2009.

FREITAS, M. W. D. de; CARVALHO, V. C. de; CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; ESPIG, S. A. **Aplicações de geoprocessamento no estudo dos ecossistemas e zoneamento ecológico-econômico de Serra das Almas (CE/PI).** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2007.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia.** Número 4. 2ª edição. 2007

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG.** 2009

LUCENA, I. S. **Projeto de interfaces para álgebra de mapas em geoprocessamento no ambiente SPRING.** Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. INPE. São José dos Campos, 1998.

MAGALHÃES JR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro – RJ. Bertrand Brasil. 2011.

MASCARENHAS, L. M. de A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. **Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21 (1): 5-18, ABR. 2009.

OLIVEIRA, A. M. M. de; PINTO, S. dos A. F.; LOMBARDI NETO, F. **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo.** Estudos Geográficos, Rio Claro, 5(1): 63-86, 2007 (ISSN 1678—698X).

PARK, S.; OH, C.; JEON, S.; JUNG, H.; CHOI, C. **Soil erosion risk in Korean watersheds, assessed using the revised universal soil loss equation.** Journal of Hydrology 399 (2011) 263–273.

PEDRON, F. de A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KLAMT, E.. **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, v.36, n.1, jan-fev, 2006.

PEDROSA, E. C. T. **Análise de vulnerabilidade ambiental de bacias periurbanas e a proteção de reservatórios utilizados em sistemas públicos de abastecimento de água: estudo de caso da bacia do rio Gramame/PB.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. 2008.

PEIXOTO, J. A. S. **Bahia de todos os santos: vulnerabilidades e ameaças.** Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia. 2008.

PEREIRA, K. N. **Avaliação da fragilidade ambiental na microbacia do Ribeirão de Imaruí/SC: uma análise comparativa entre o modelo da fragilidade empírica dos ambientes e o método da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE).** Florianópolis, 2009.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, M. J. M.; CARPES, C. M. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas.** 4ª Edição. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM. 2009. 283pg.

SALGUEIRO, T. B. **Paisagem e geografia.** Finisterra, XXXVI, 72, 2001, pp. 37-53.

SAMPAIO, M. V.; SANTOS, M. da S.; ROCHA, J. S. M. da; PAULA, M. D. de; MENDES, A. V. **Deterioração físico – conservacionista da sub-bacia hidrográfica do rio Ibicuí - Mirim – RS.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 34, n. 2, p. 300-306, mar./abr., 2010.

SANTOS, C. A. dos; SOBREIRA, F. G. **Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca,**

**Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na região do alto rio das Velhas-MG.** Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 9, nº 1 (2008).

SCHIER, R. A. **Trajetórias do conceito de paisagem na geografia.** R. RA'E GA, Curitiba, n. 7, p. 79-85, 2003. Editora UFPR.

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Gramame. João Pessoa – PB.** Dezembro – 2000.

SECTMA Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos.** 2000

SHI, Z.H.; AI, L.; FANG, N.F.; ZHU, H.D. **Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: A case study in the Three Gorges Area, China.** Journal of Hydrology 438–439 (2012) 156–167

SICCO SMIT, G. **SLAR for forest type-classification in a semi-deciduous tropical region.** ITC Journal, n. 3, pp. 385-401, 1978.

SILVA, A. M. da; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. **Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais.** R. Bras. Ci. Solo, 33:1811-1820, 2009.

SILVA, C. H. R. T. **Desastres naturais e desenvolvimento sustentável.** 2012

SILVA, L.; Lima, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. C. **Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do açude Soledade.** Revista Brasileira de Geografia Física 03 (2010) 112-122.

SILVEIRA, C. T. da; FIORI, A. P.; OKA-FIORI, C. **Estudo das unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial na APA de Guaratuba: subsídios para o planejamento ambiental.** Boletim Paranaense de Geociências, n. 57, p. 9-23, 2005. Editora UFPR.

TEODORO, V. L. L.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B.. **Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Uniara, n.20, 2007

TRICART, J. **Ecodinâmica,** Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977, 91p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente).

UNISDR. **Terminología sobre reducción del riesgo de desastre.** Genebra: ONU. 2009.

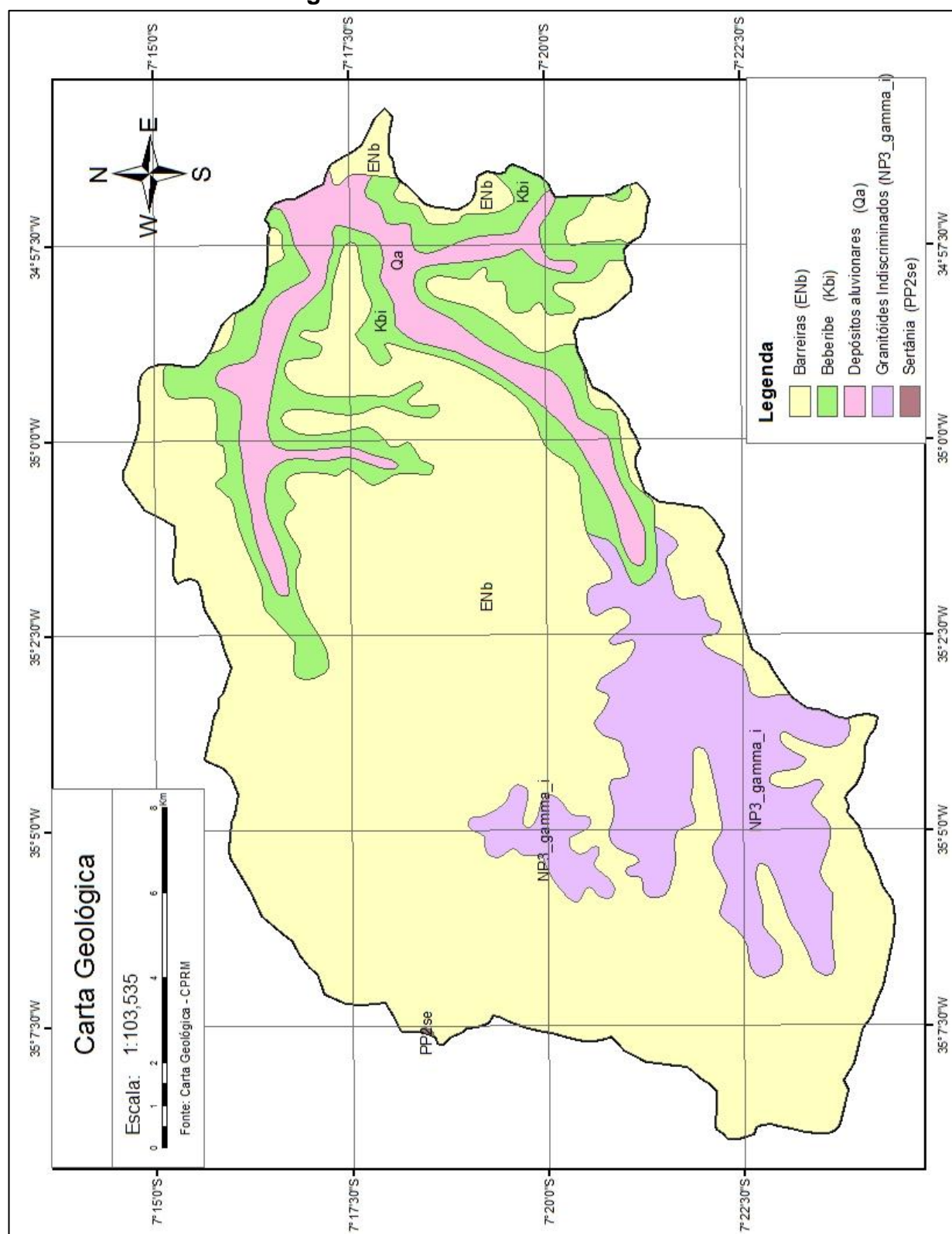
USGS, United States Geological Survey. 2013. Acesso em: <[http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)>.

VALLE JUNIOR, R. F. do; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V.. **Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do rio Uberaba**. Global Science And Technology. Gl. Sci Technol, Rio Verde, v. 06, n. 01, p.40 – 52, jan/abr. 2013.

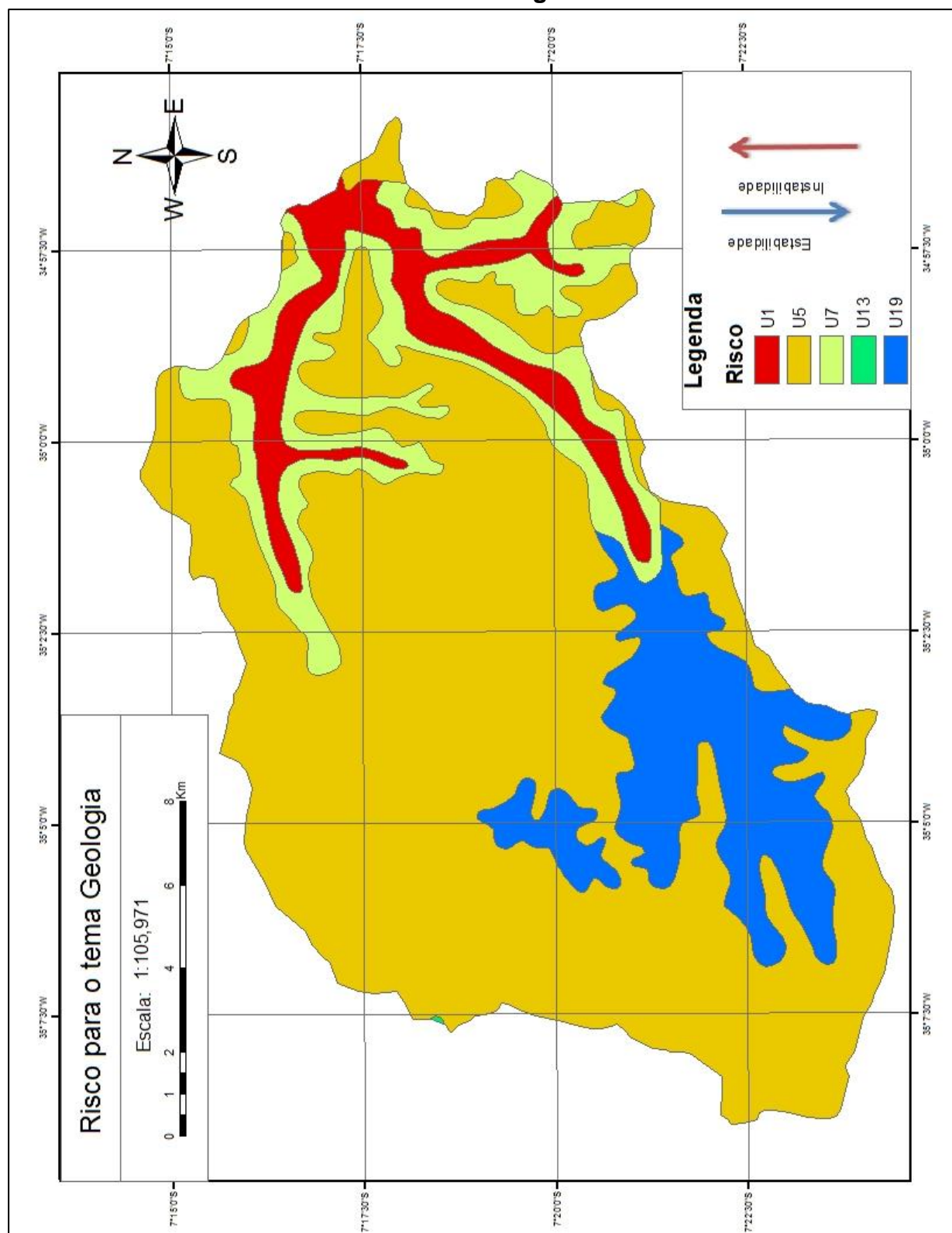
VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

VILLELA, S.M; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. 1 ed. São Paulo: mcgraw-Hill do Brasil, 1975. 245p

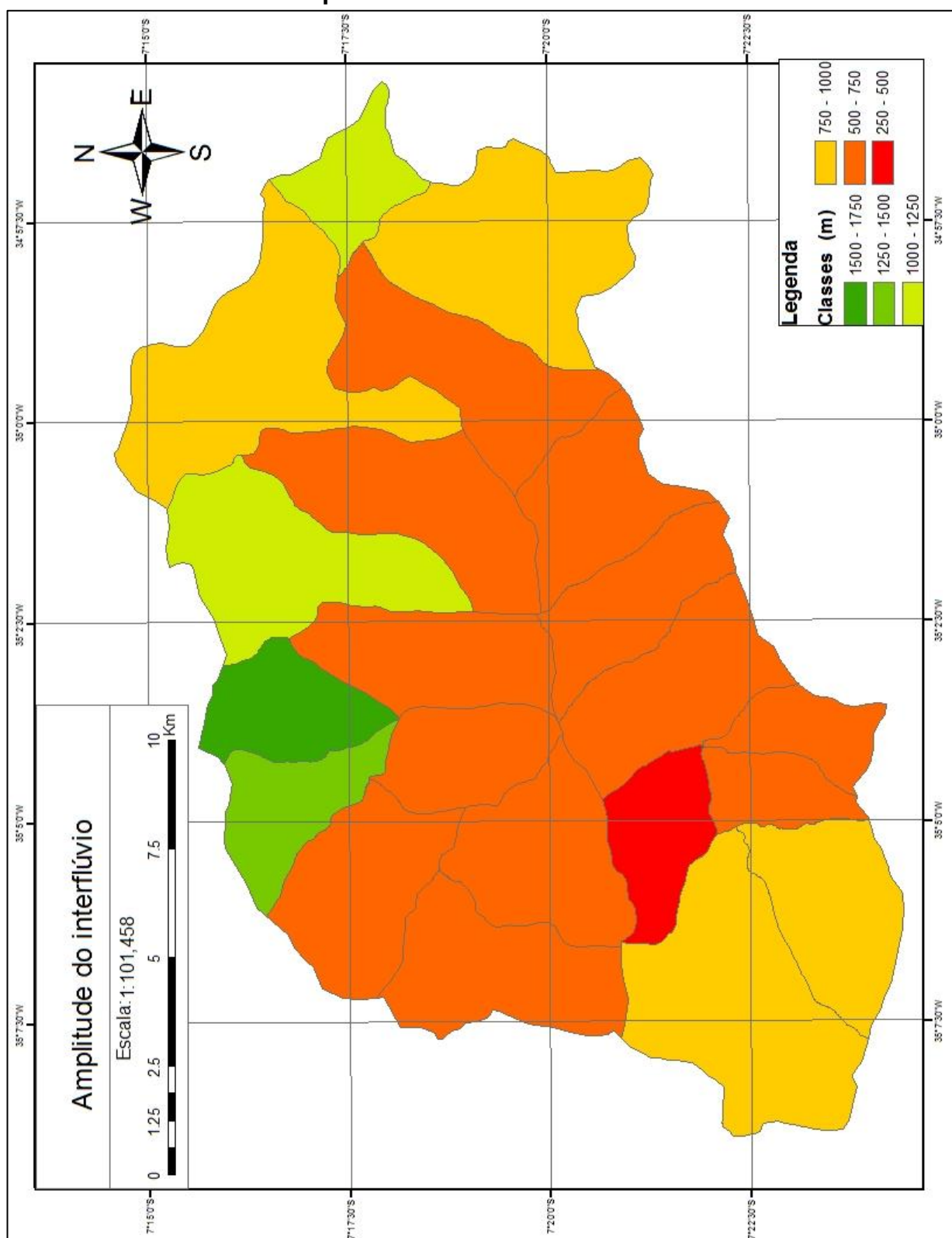
# APÊNDICE A Carta Geológica



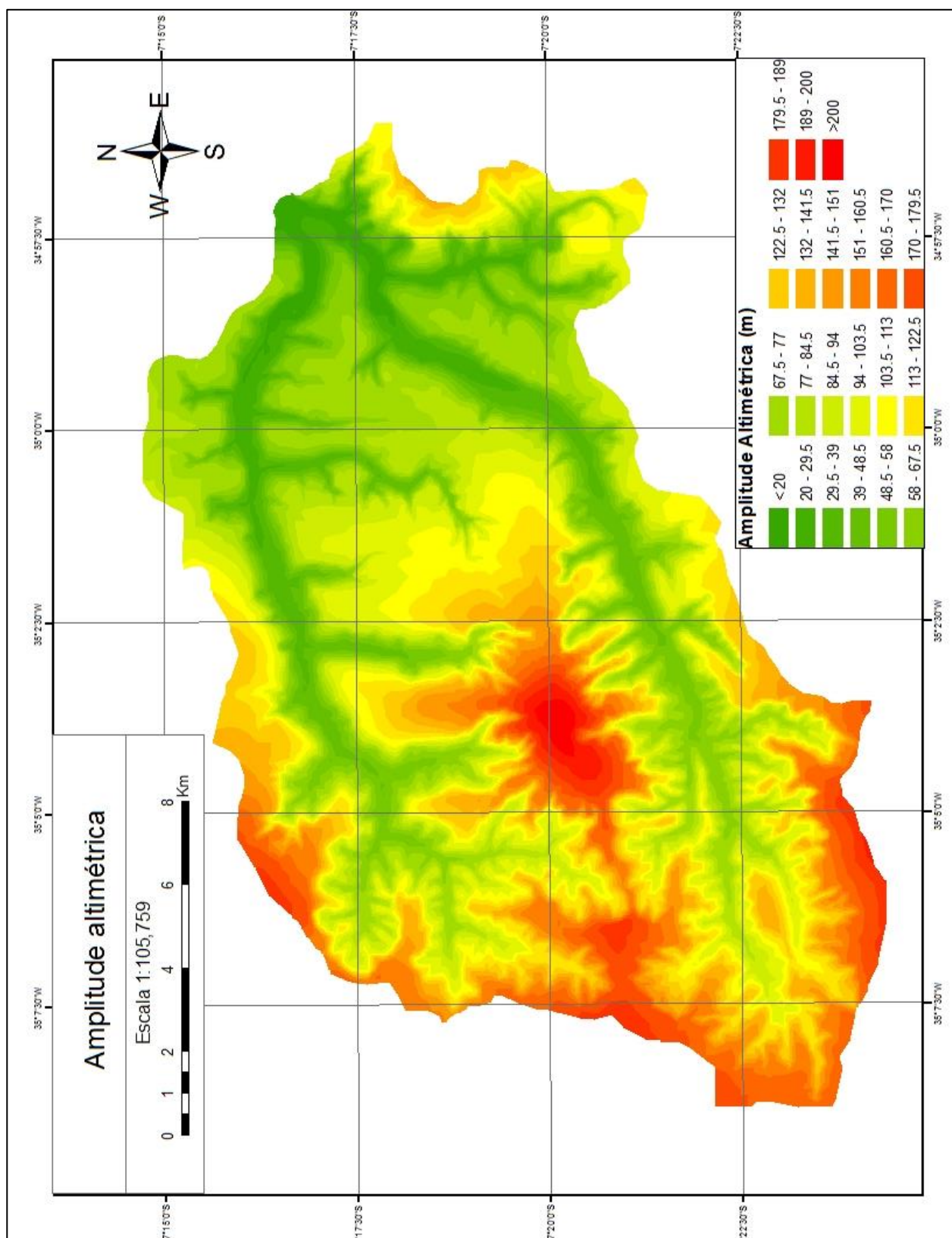
## APÊNDICE B - Carta de Risco ao tema Geologia



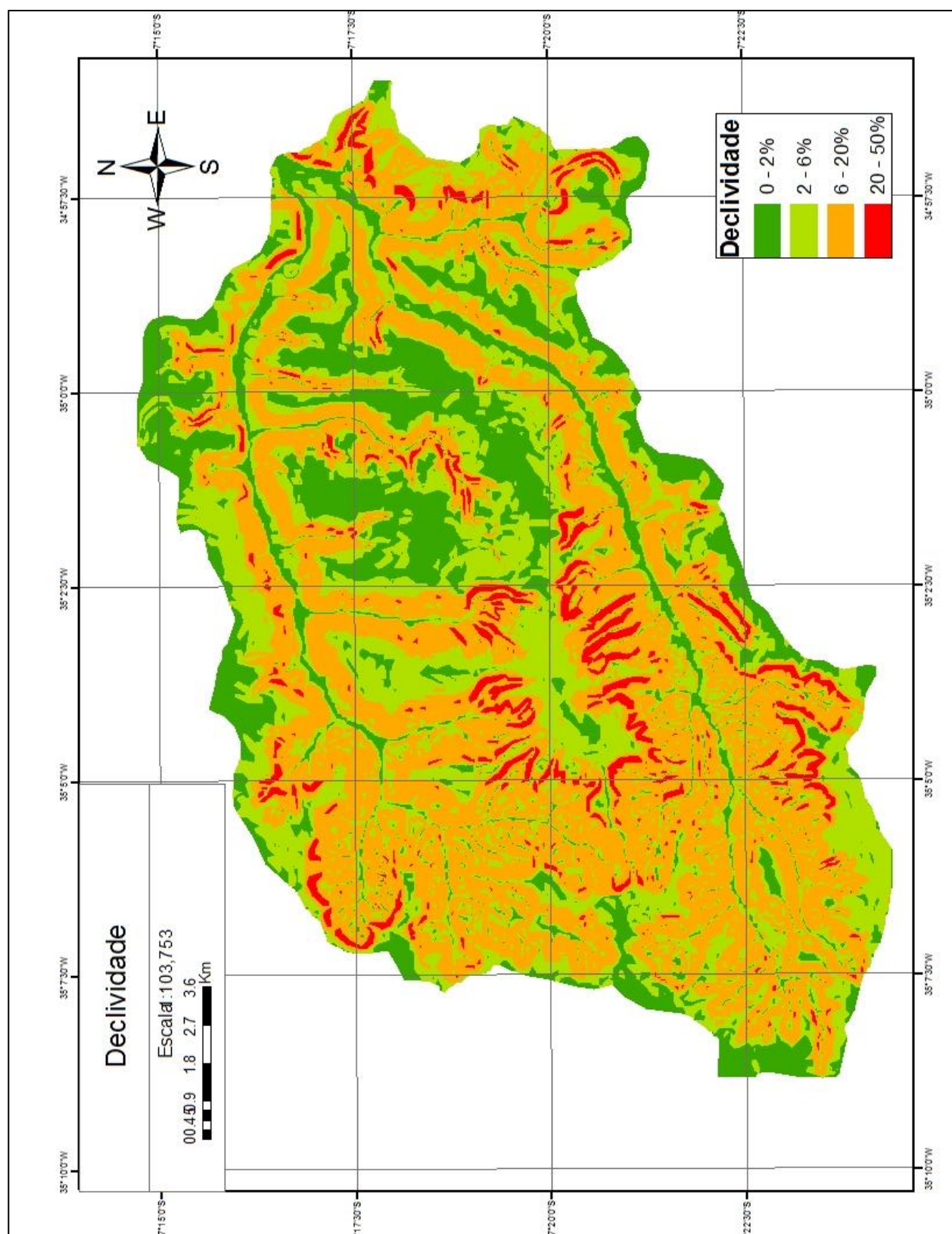
# APÊNDICE C - Carta da amplitude do interflúvio



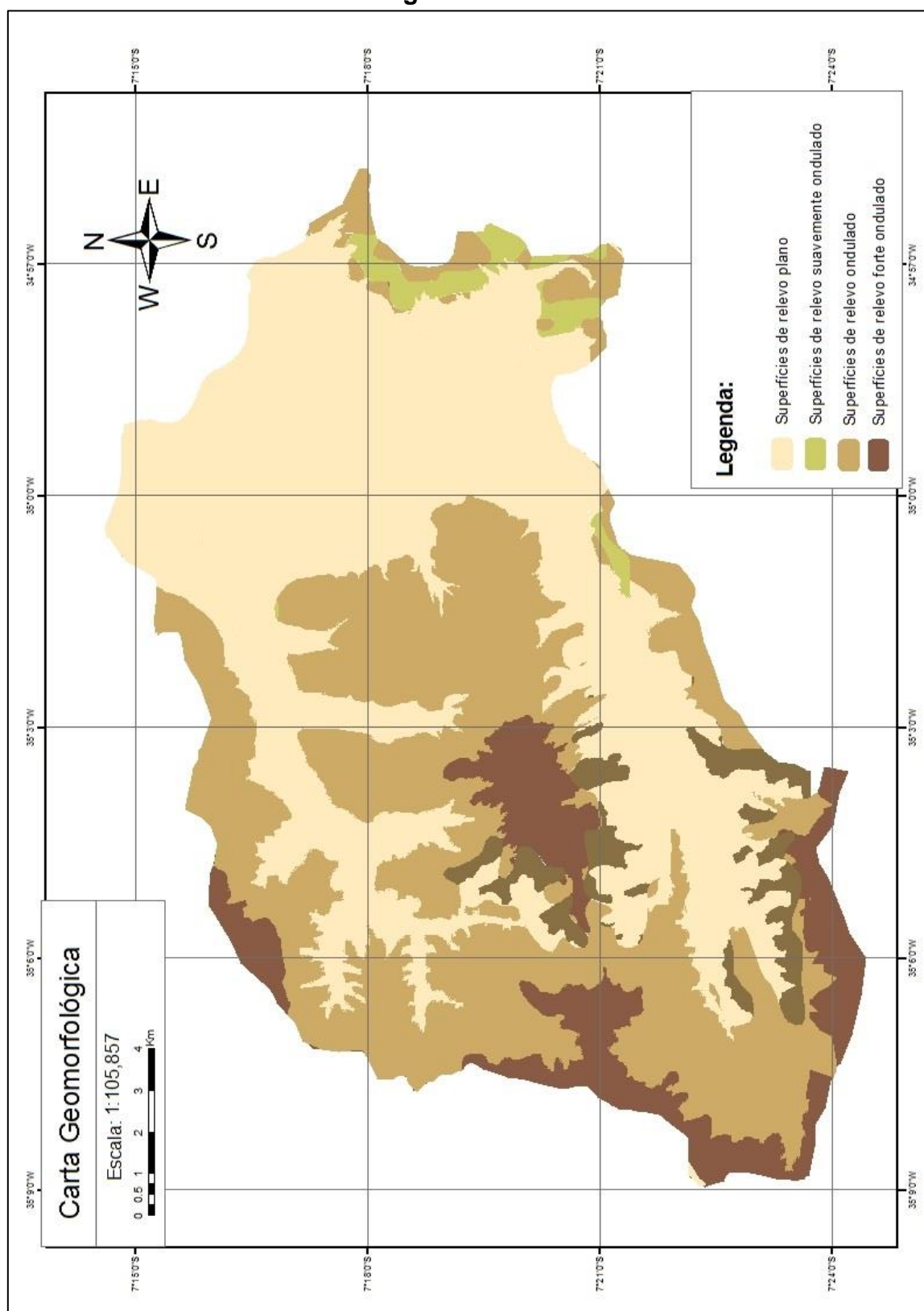
## APÊNDICE D- Carta de Amplitude Altimétrica



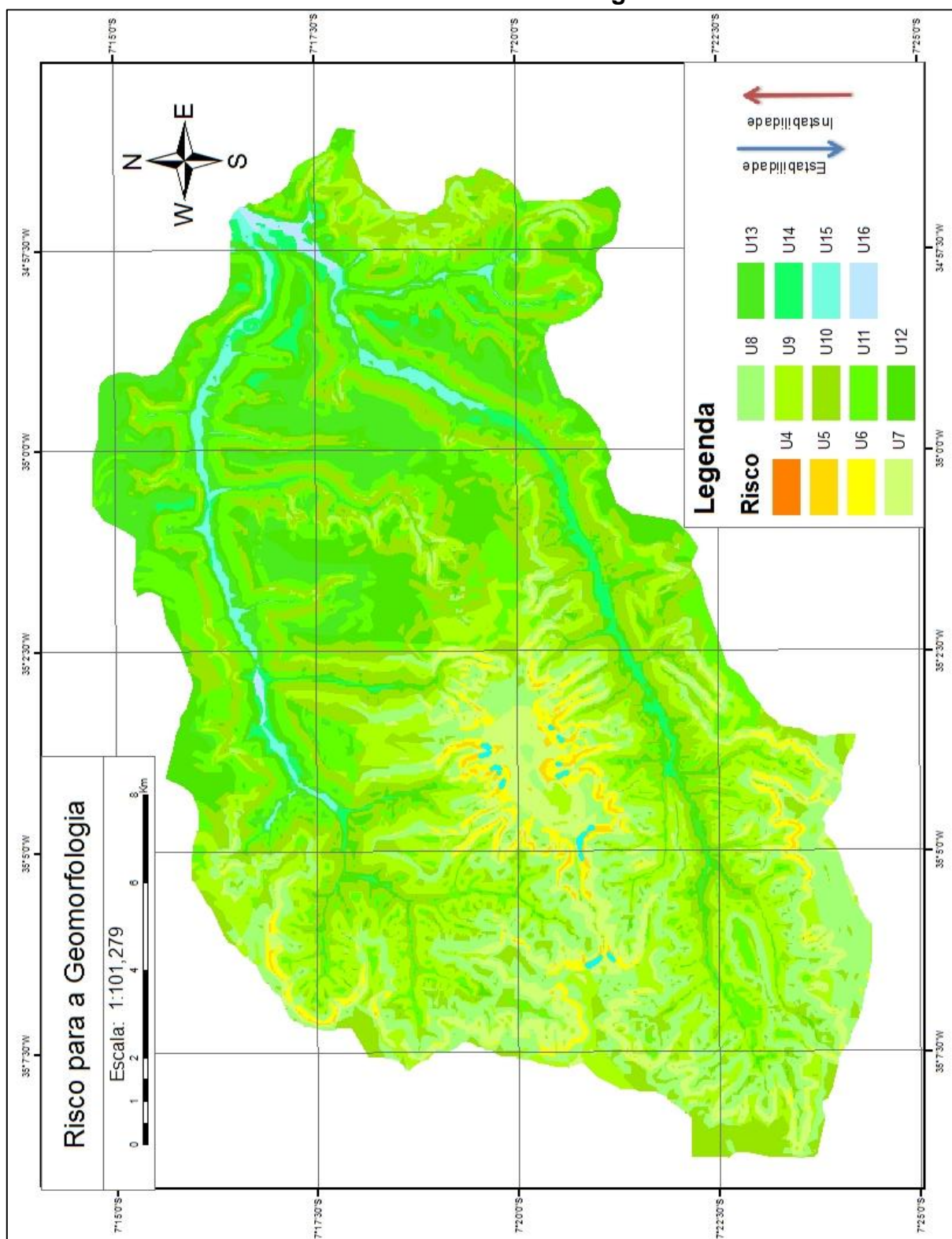
# APÊNDICE E - Carta de Declividade



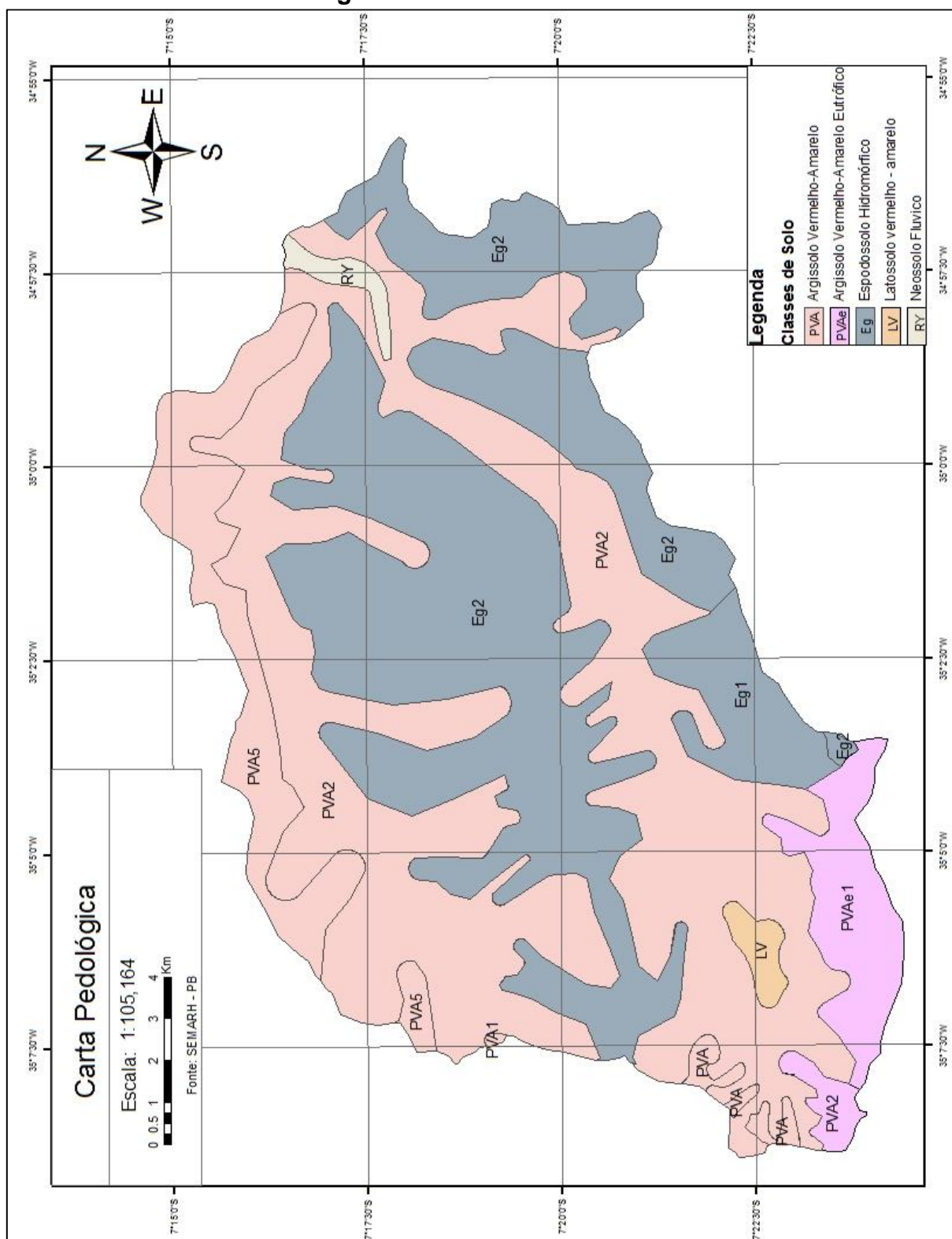
## APÊNDICE F - Carta Geomorfológica



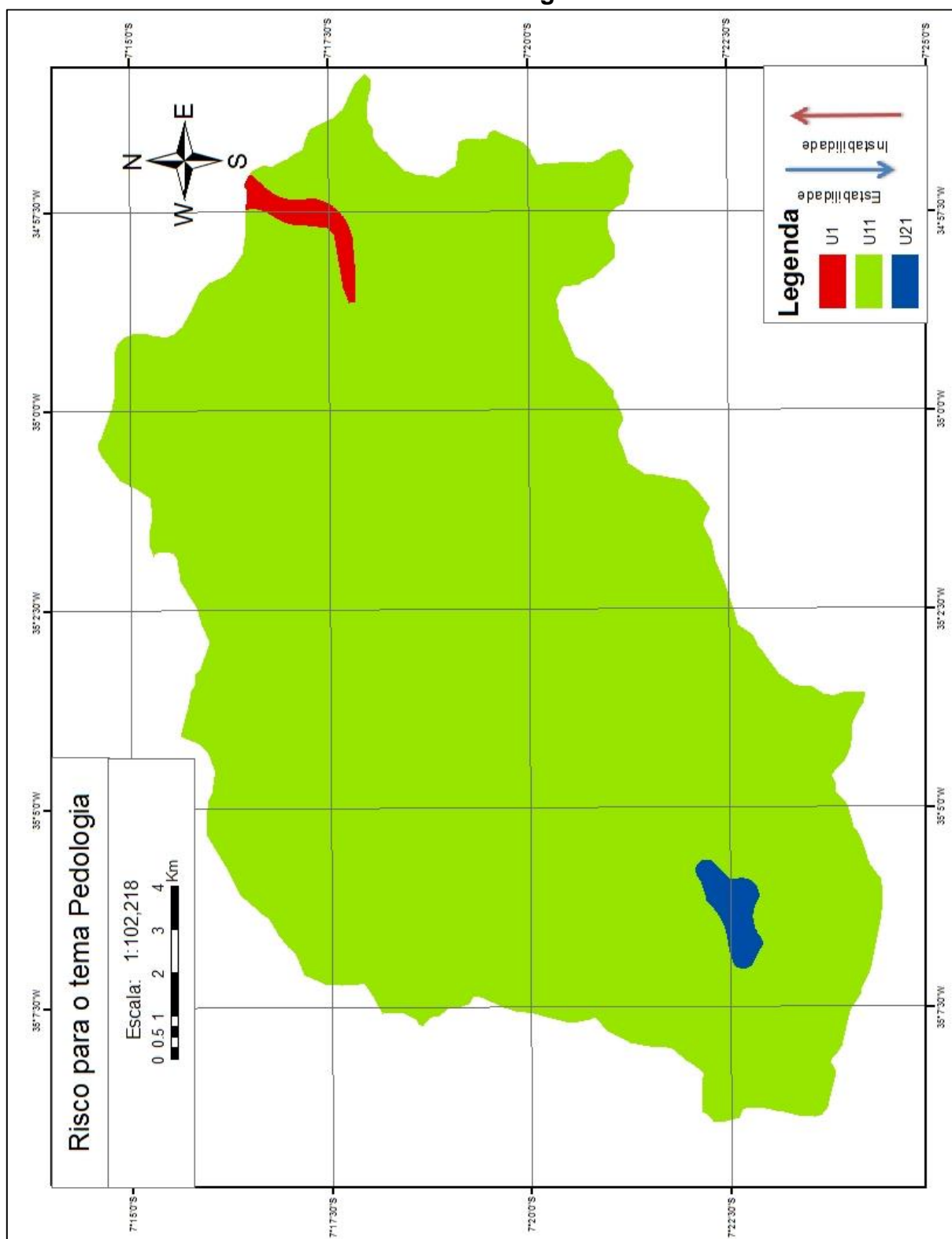
# APÊNDICE G - Carta de Risco ao tema Geomorfologia



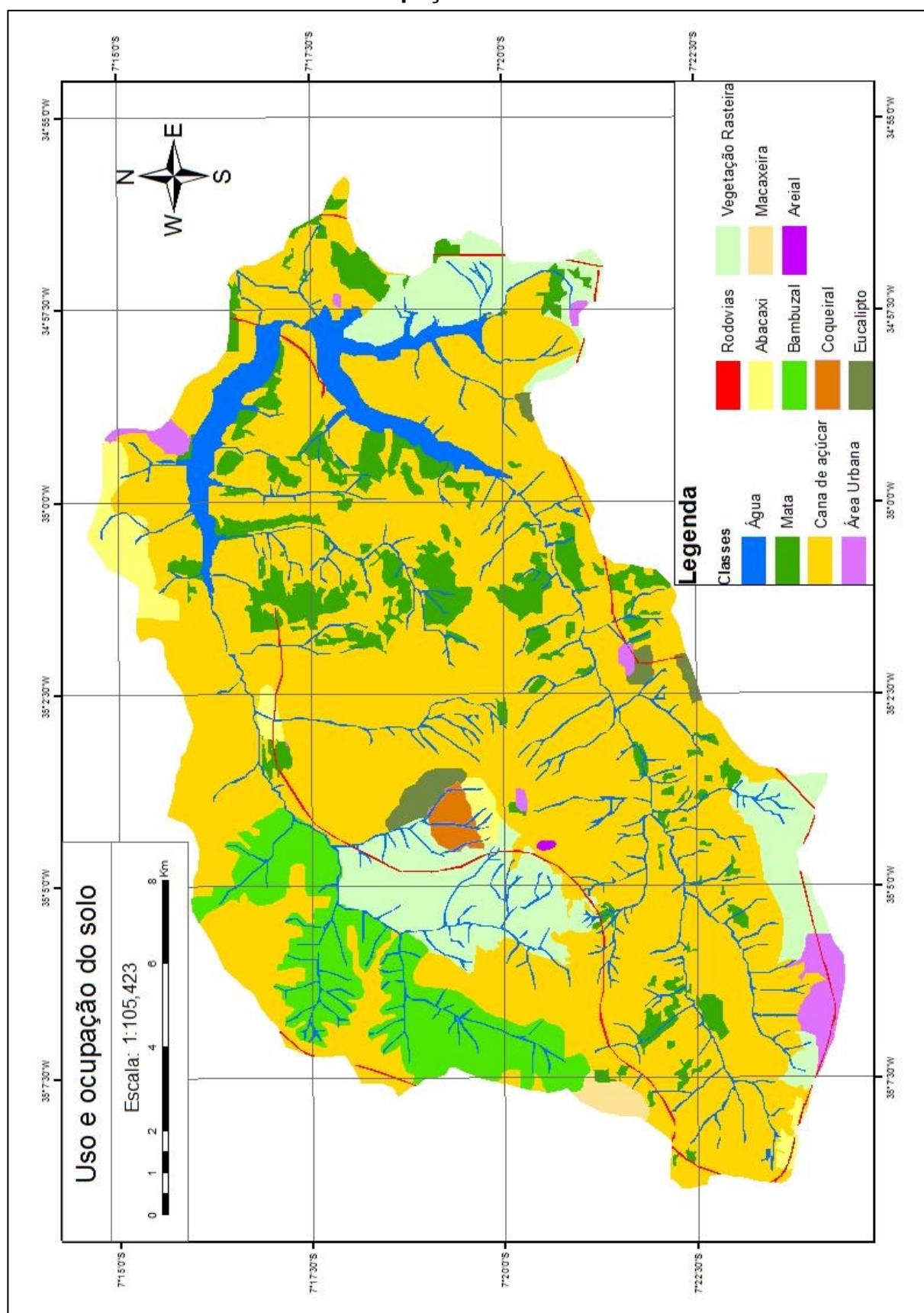
# **APÊNDICE H - Carta Pedológica**



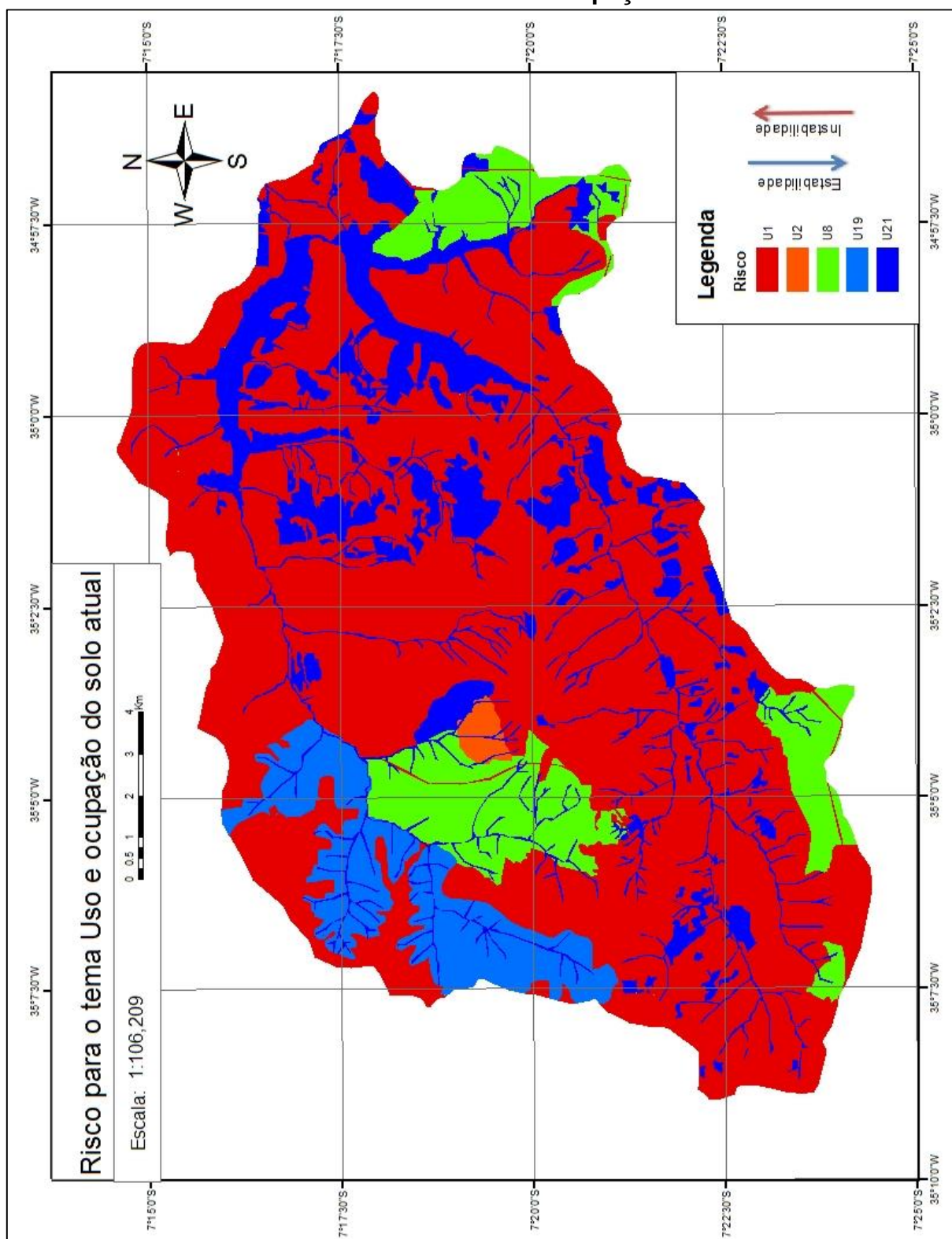
# APÊNDICE I - Carta de Risco ao tema Pedologia



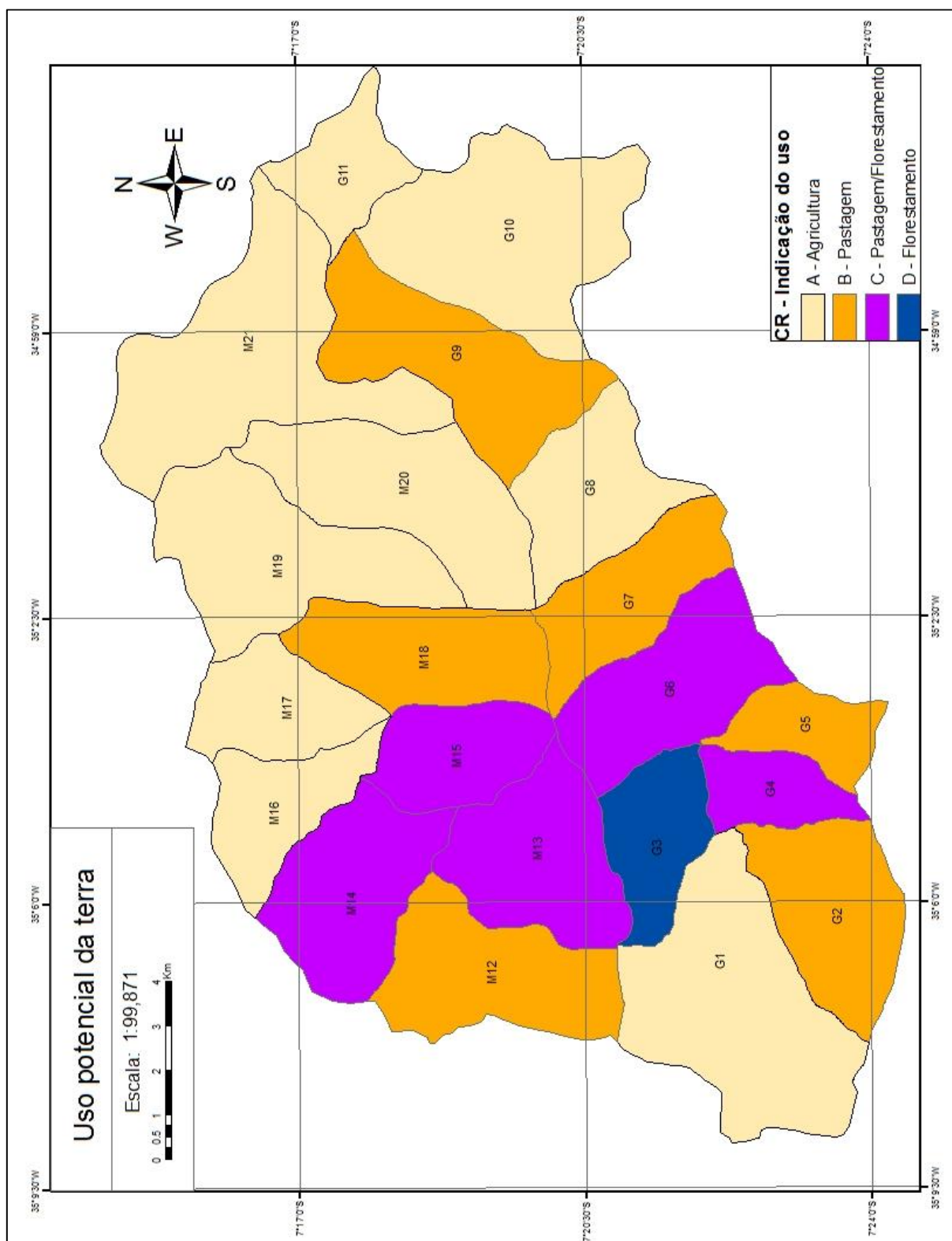
## APÊNDICE J - Carta de Uso e Ocupação do Solo



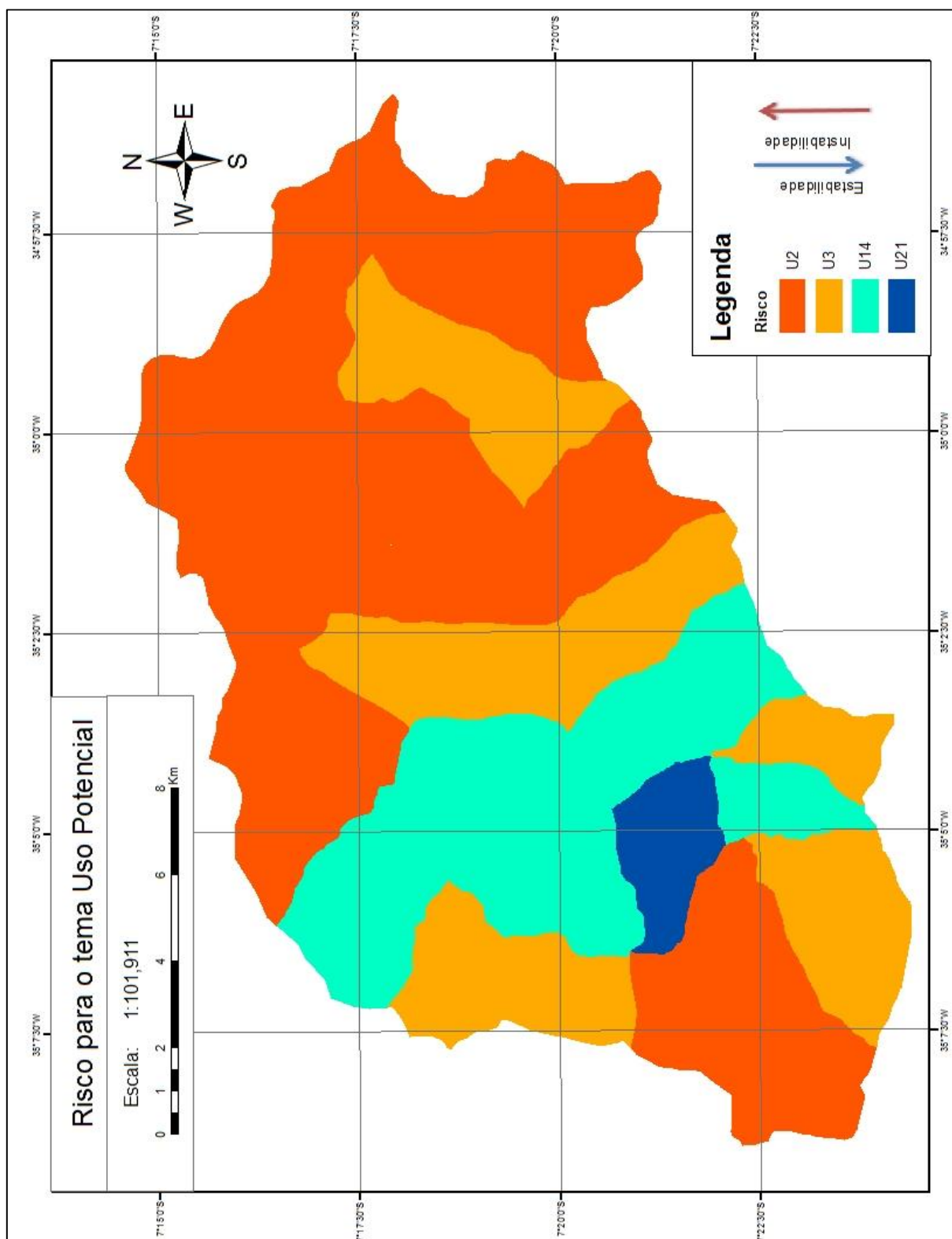
## APÊNDICE K - Carta de Risco ao tema Uso e Ocupação do Solo



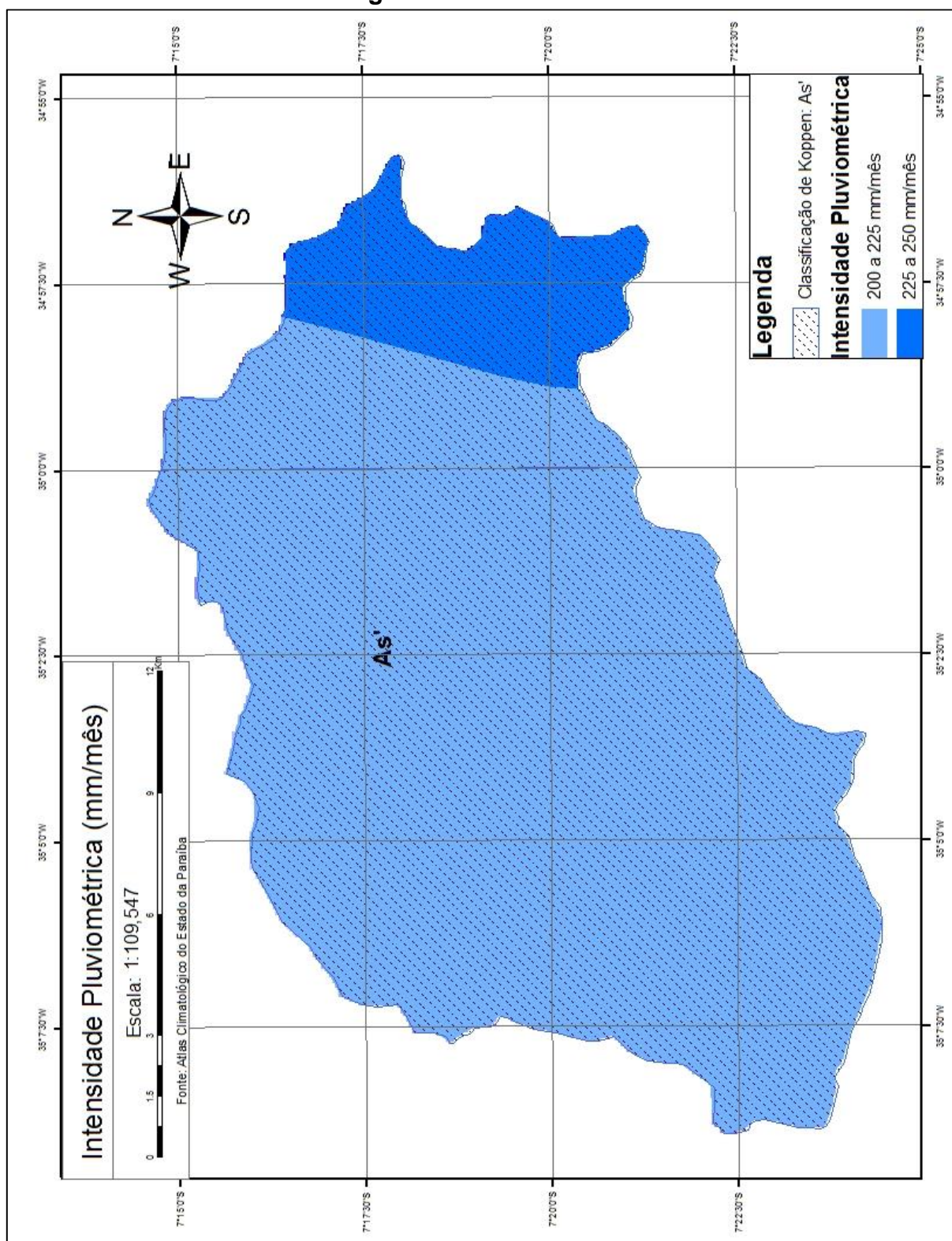
# **APÊNDICE L - Carta de Uso Potencial da Terra**



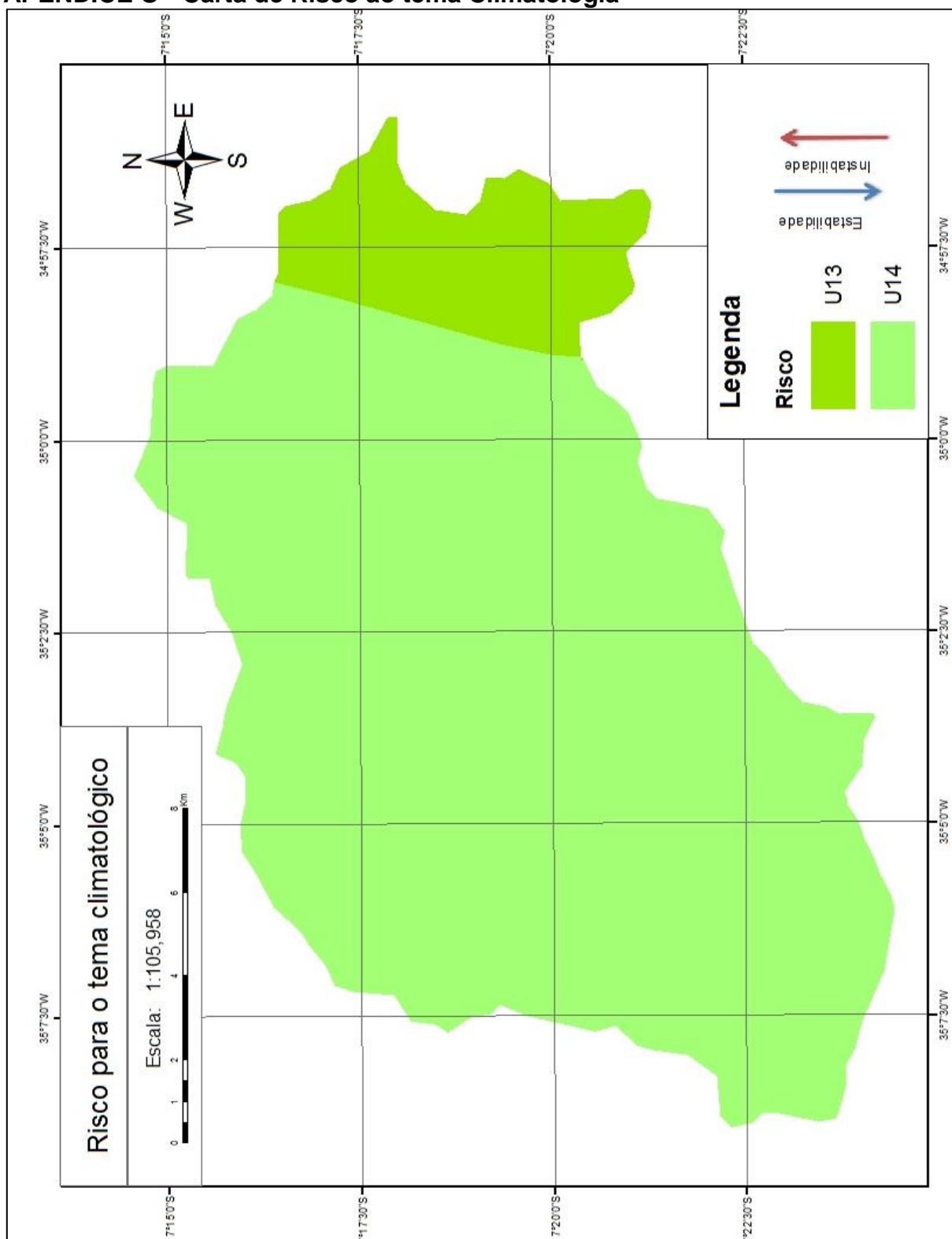
# **APÊNDICE M - Carta de Risco ao Uso Potencial da Terra**



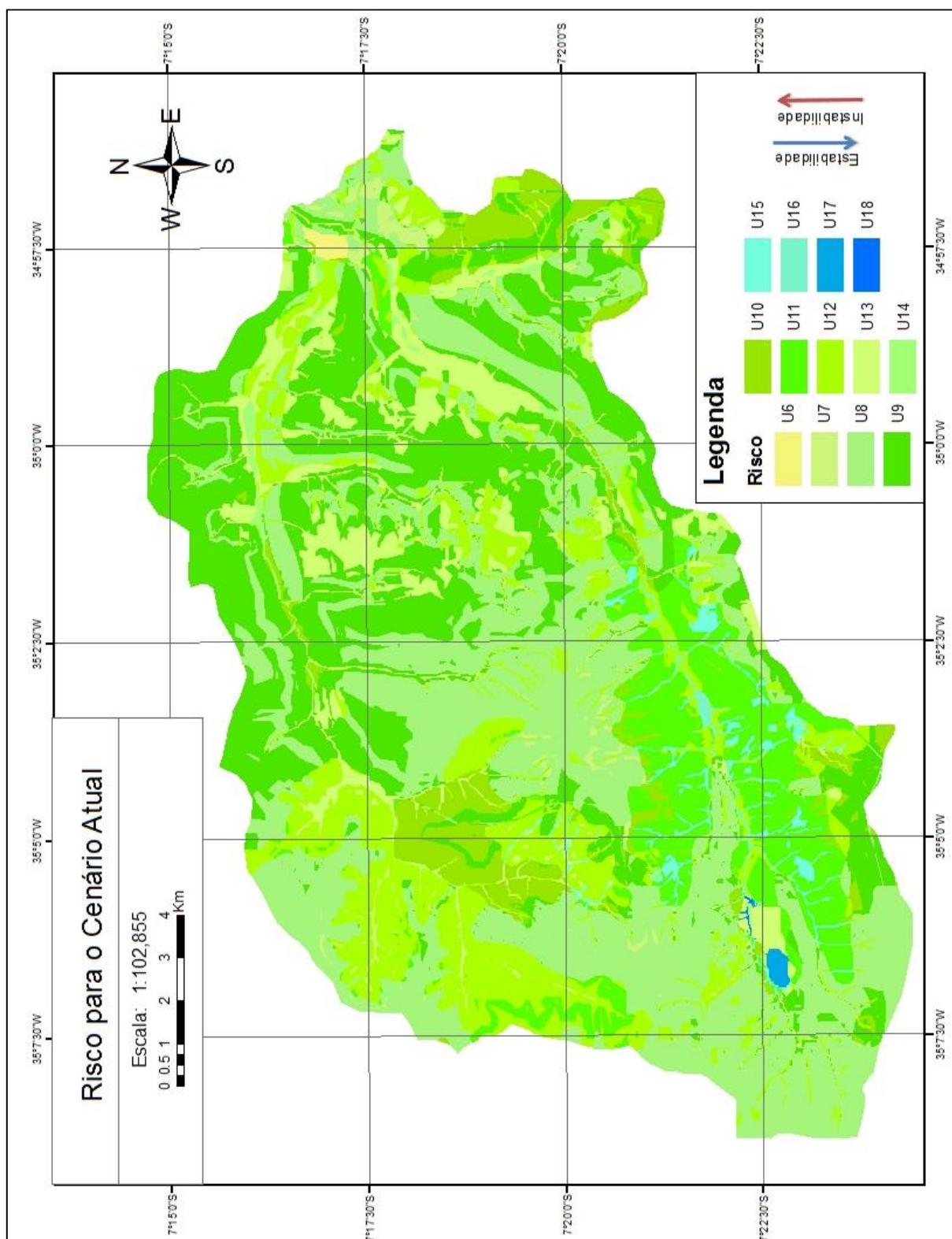
## APÊNDICE N - Carta Climatológica



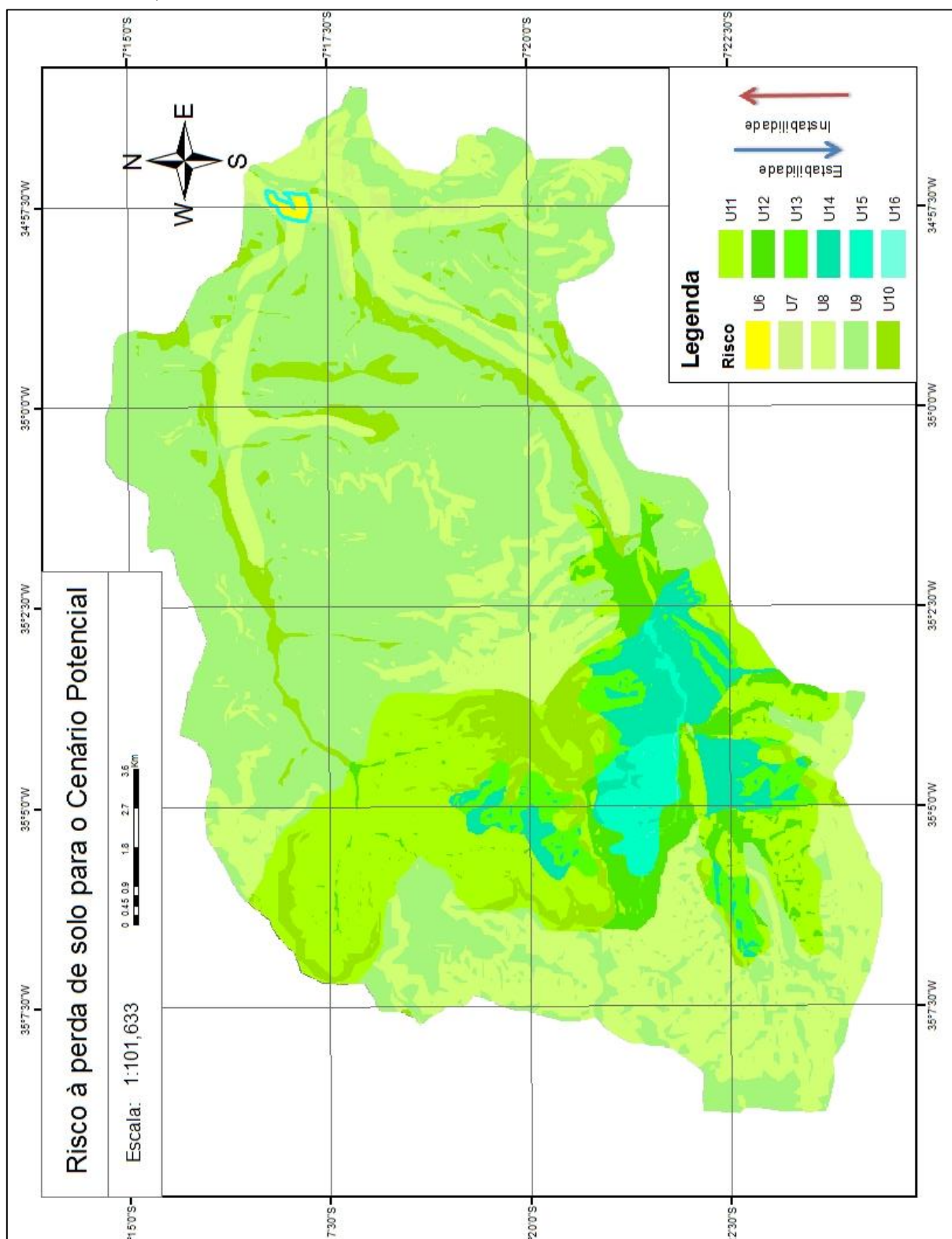
# APÊNDICE O - Carta de Risco ao tema Climatologia



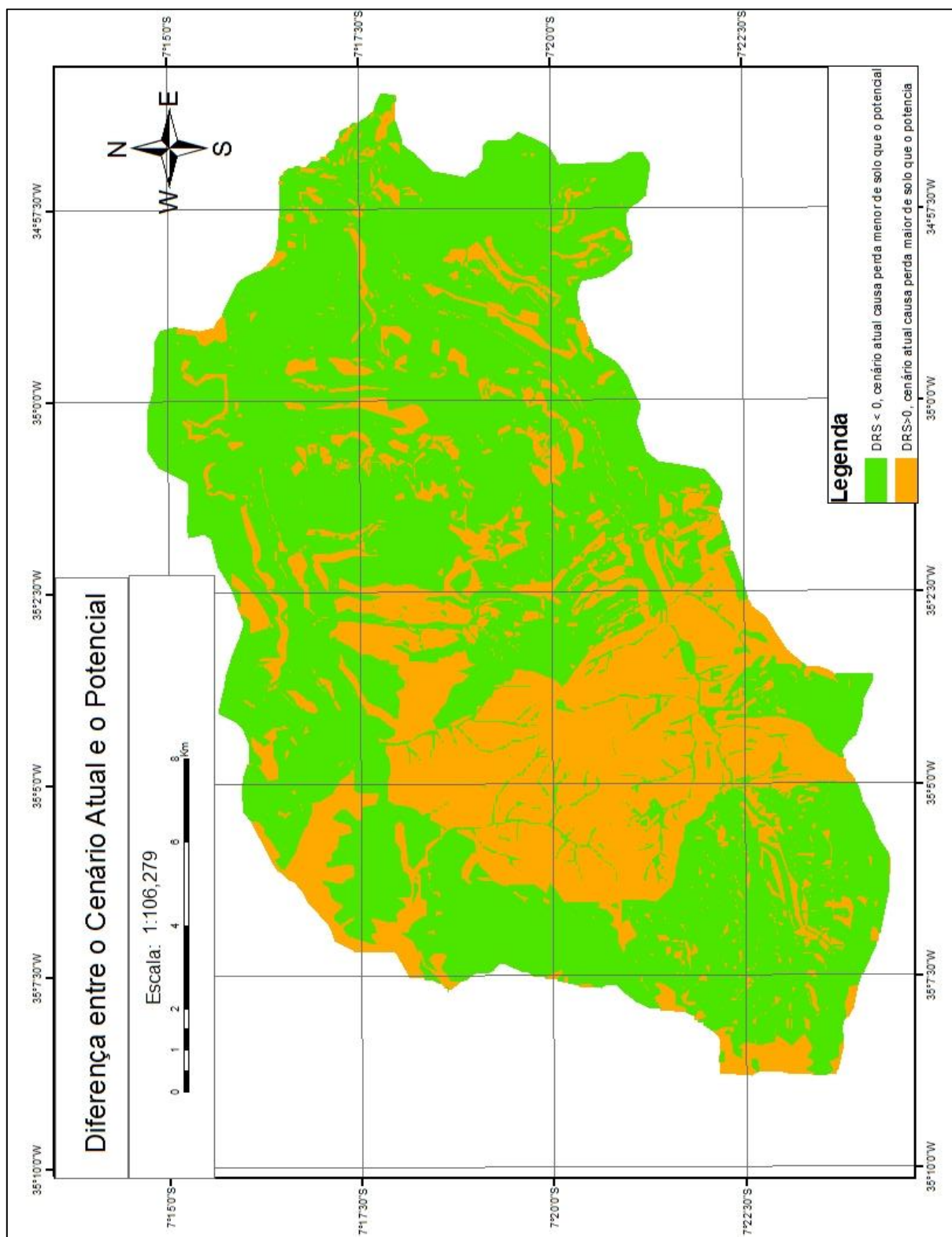
# **APÊNDICE P - Carta de Risco à Perda de Solo: Cenário Atual**



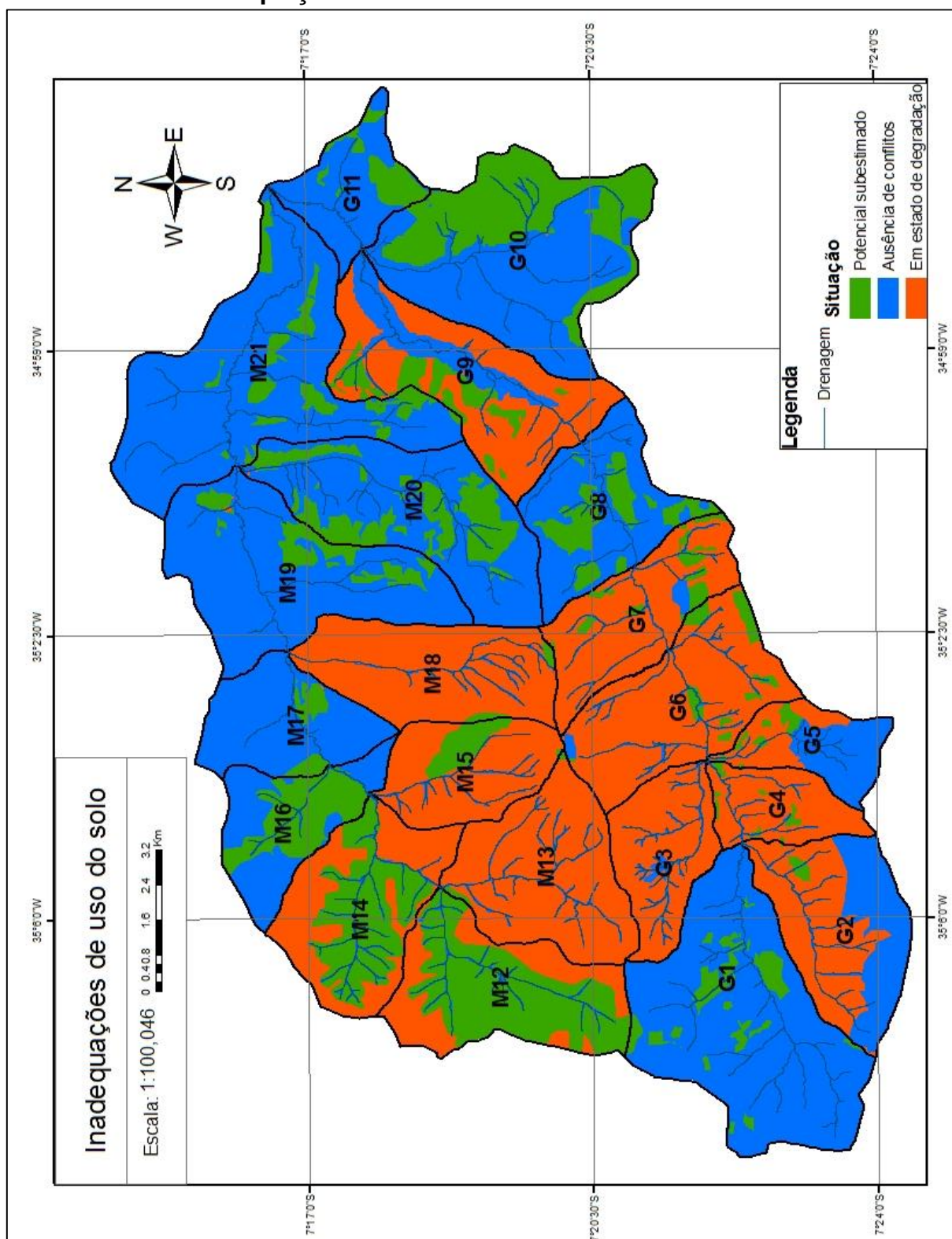
## APÊNDICE Q - Carta de Risco à Perda de Solo: CenárioPotencial



# **APÊNDICE R - Carta de Risco à Perda de Solo: Diferença Cenário Atual x Cenário Potencial**



# APÊNDICE S – Inadequações de uso do solo



# APÊNDICE T – Classes de conflitos encontrados.

