

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS

ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO E DO TRANSPORTE DE
CHUMBO E ZINCO POR EROSÃO HÍDRICA NO ENTORNO DA
CIDADE DE SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA

JAILSON DE SOUZA PEIXOTO

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

MAIO - 2013

ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO E DO TRANSPORTE DE
CHUMBO E ZINCO POR EROSÃO HÍDRICA NO ENTORNO DA
CIDADE DE SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA

JAILSON DE SOUZA PEIXOTO

Engenheiro Florestal

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - 2010

Dissertação submetida à banca de
defesa como requisito a obtenção do
título de Mestre em Solos e
Qualidade de Ecossistemas.

ORIENTADOR: PROF. DR. THOMAS VINCENT GLOAGUEN

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO SOARES TELES SANTOS

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. EVERTON LUÍS POELKING

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

--

**ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO E DO TRANSPORTE DE CHUMBO E
ZINCO POR EROSÃO HÍDRICA NO ENTORNO DA CIDADE DE SANTO
AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
JAILSON DE SOUZA PEIXOTO**

Banca Examinadora

Thomas Vincent Gloaguen (UFRB)

Joselisa Maria Chaves (UEFS)

José Fernandes de Melo Filho (UFRB)

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a Deus, pela vida e pelas conquistas alcançadas.
- A minha família e amigos pelo apoio moral.
- Ao meu Orientador Thomas Vincent Gloaguen, pela paciência e comprometimento na orientação.
- Aos meus Co-Orientadores Marcelo Teles e Everton Poelking, pela ajuda, sem a qual não seria possível a conclusão desta dissertação.
- Aos amigos Francisco Modesto e Bruna pela ajuda na digitalização da carta topográfica.
- Ao amigo Cesar, que muito contribuiu para com esta dissertação.
- Aos amigos Anderson Targino e a Luziane pelas ajuda na elaboração dos modelos da equação.
- Ao CNPQ pela bolsa de mestrado
- A UFRB pela disponibilização do curso e pela estrutura.
- Aos demais amigos que participaram da minha vida acadêmica.
- Aos professores do programa de Solos e Qualidade de Ecossistemas pelo conhecimento alcançado.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Localização da área de estudo.
- Figura 2 – Mapa de geologia da área de estudo (GONÇALVES, 2008).
- Figura 3 – Mapa de solos para a área de estudo (EMBRAPA, 1999).
- Figura 4 – Fluxograma da metodologia aplicada.
- Figura 5 - Nomograma para determinação do fator de erodibilidade do solo (WISCHMEIER et al., 1971).
- Figura 6 – Pontos cotados e curvas de nível vetorizadas, a partir da Carta Santo Amaro SD.24-X-A-IV-2-NO MI 1958/2-NO.
- Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da área de estudo.
- Figura 8 - Mapa de declividade da área de estudo obtido a partir do MDE.
- Figura 9 - Mapa de comprimento de rampas da área de estudo.
- Figura 10 - Precipitação média mensal em mm, para a área de estudo de 1998 a 2011.
- Figura 11 - Precipitação média anual em mm, para a área de estudo.
- Figura 12 - Mapa do fator erodibilidade do solo (fator K) da Equação Universal de Perdas de Solos para a área de estudo.
- Figura 13 - Mapa do fator topográfico (fator LS) da Equação Universal obtido para a área de estudo.
- Figura 14 - Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo obtido a partir da análise da imagem LISS 2010.
- Figura 15 - Mapa das classes de Perdas de Solos para a área de estudo.
- Figura 16 - Mapa geoquímico de chumbo no solo em mg kg^{-1} na área de estudo.
- Figura 17 - Mapa geoquímico de zinco no solo em mg kg^{-1} na área de estudo.
- Figura 18 - Mapa de transporte de chumbo por erosão laminar, em g ha^{-1} , na área de estudo.
- Figura 19 - Mapa de transporte de zinco por erosão laminar, em g ha^{-1} , na área de estudo.
- Figura 20 – Mapa de perda de chumbo (kg). Áreas 1 a 4 definidas na Tabela 7.
- Figura 21 – Mapa de perda de zinco (kg). Áreas 1 a 4 definidas na Tabela 7.
- Figura 22 – Antiga fábrica de processamento de chumbo na área de estudo.
- Figura 23 – Rio Subaé na área de estudo.

Figura 24 – Vegetação em estágio de regeneração na área de estudo.

Figura 25 – Escórias de chumbo misturado com solos na área de estudo.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estatística básica das amostras

Tabela 2 – Classificação da área de estudo quanto ao relevo.

Tabela 3 - Dados de erosividade (MJ mm ha⁻¹), para a área em estudo.

Tabela 4 – Fator de erodibilidade para as classes de solos identificados na área do entorno da fábrica em Santo Amaro da Purificação.

Tabela 5 - Valores de CP para cada uso

Tabela 6 - Perdas de solo na área de estudo.

Tabela 7 - Valores médios estimados de Pb e Zn transportados em kg ha⁻¹, referente as áreas definidas nas figuras 16 e 17.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
	Problemática	4
	Objetivo	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	EROSÃO DO SOLO	5
2.1.1	Diferentes formas de erosão acelerada.....	6
2.1.2	Estimativa das perdas de solo por erosão	7
2.2	USO DE GEOTECNOLOGIAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS	15
2.2.1	Sensoriamento remoto	15
2.2.2	Projeto SRTM e geração de MDE	16
2.2.3	Utilização do geoprocessamento em estudos ambientais.....	18
2.2.4	SIG – Confecção de Mapas – Algoritmo de Mapas.....	19
3	CARACTERIZAÇÃO E REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.1	Caracterização do meio físico	21
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	Comparação entre a Carta Santo Amaro e o SRTM.....	29
4.2	Determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE)	31
4.3	Mapa de Declividades.....	31
4.4	Análise das Perdas de Solo por Erosão	32
4.5	Mapa de transporte de metais por erosão hidrica.....	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Carta Topográfica X SRTM.....	36
5.2	Modelo Digital de Elevação (MDE).....	38
5.3	Mapa de Declividade e Comprimento de Rampa.....	41
5.4	Fatores da Equação Universal de Perda de Solo	44
5.5	Cenários de Perda de Solo.....	53

5.6	Cenário de Perdas e transporte de Metais.....	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
8	ANEXOS.....	76

ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO E DO TRANSPORTE DE CHUMBO E ZINCO POR EROSÃO HÍDRICA NO ENTORNO DA CIDADE DE SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA

RESUMO: Diversos problemas ambientais têm atingido a humanidade e muitos destes têm trazido consequências graves, tanto para a saúde humana quanto para os recursos naturais, bem como para os animais. É neste contexto que se insere o município de Santo Amaro no Recôncavo da Bahia, onde veio a se instalar uma indústria que fazia o beneficiamento de minérios de chumbo até o ano 1993; o beneficiamento desse minério gerou diversos problemas, tais como a quantidade muito grande de escórias geradas, a poluição dos recursos hídricos por efluentes industriais e a poluição difusa do solo na região pela emissão na chaminé. O presente trabalho visou diagnosticar a perda de solos e o conseqüente transporte de metais numa área de 6 x 4 km no entorno da fábrica afetada por esta contaminação difusa. A quantificação foi realizada através da utilização da equação universal de perdas de solos (EUPS), integrando-a por meio de sistemas de informações geográficas. Através da elaboração do mapa de perdas de solos foi possível verificar as áreas que mais contribuem para o processo erosivo, e, cruzando-se com os mapas geoquímicos do solo, estimar a massa de chumbo e zinco transportada para o rio Subaé através da erosão do solo. Verificou-se que há uma perda elevada de solo na região, devido ao relevo forte ondulado na região (49,4% da área estudada), sendo que há perda de superior a $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de solo (classe moderada a forte ou superior) em 64% da área. Com relação aos metais, estimou-se um translocamento superior a $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Pb e $0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Zn num raio de 2 km entorno da fábrica. Próximo à área industrial, esses valores aumentaram para mais de $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Pb e $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Zn. Num raio de 1000 m entorno da fábrica, a massa total de metais levada anualmente aos rios por erosão hídrica foi estimada a 4989 kg de chumbo e 418 kg de zinco, revelando que a erosão do solo contaminado de forma difusa na bacia do baixo Subaé ainda contribui fortemente para a poluição atual do rio Subaé e do seu estuário.

Palavras chaves: Perda de solos, SIG, EUPS, metais.

ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO E DO TRANSPORTE DE CHUMBO E ZINCO POR EROSÃO HÍDRICA NO ENTORNO DA CIDADE DE SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA

ABSTRACT: Several environmental problems have affected humanity and many of them had serious consequences for both human health and natural resources, as well as for animals. In this context is cited the city of Santo Amaro, in the Reconcavo of Bahia, where a lead smelter processed lead ore until the year 1993; the ore refining has generated many problems, such as the very large amount of slag, pollution of water by industrial sewage and diffuse soil pollution in the region by the chimney emissions of metal-enriched particulate matter. The present work aimed at identifying the soil loss and subsequent transport of metals in an area of 6 x 8 km around the plant affected by this diffuse contamination. Quantification was performed by using the universal equation of soil loss (USLE), through Geographic Information Systems. Mapping the soil loss may possible to check the areas that most contribute to soil erosion, and, crossing to the geochemical soil maps, to estimate the mass of lead and zinc transported to the Subaé river through soil erosion. It has been found a high rate of soil loss in the region, due to the strong wavy relief region (49.4% of the studied area), with soil loss higher than 100 t ha⁻¹ year⁻¹ (moderate to strong or higher) in 64% of the area. Regarding the metals, their transport was estimated to more than 1 kg ha⁻¹ for Pb and more than 0.5 kg ha⁻¹ year⁻¹ for Zn, in a 2 km radius area around the smelter. Next to the plant, these values increased to more than 10 kg ha⁻¹ year⁻¹ of Pb and 2 kg ha⁻¹ year⁻¹ Zn. Within a 2 km-radius area, the total mass of metals transported annually to rivers by erosion was estimated at 4989 kg of lead and 418 kg of zinc, pointing out the current high contribution to the pollution of Subaé River and its estuary through the laminar erosion of diffuse contaminated soil.

Keywords: Soil loss, GIS, USLE, metals.

1 INTRODUÇÃO

Diversos problemas ambientais têm afetado a humanidade e dentre estes problemas está a contaminação do solo, da água e dos seres vivos. Neste contexto se insere a cidade de Santo Amaro da Purificação, com um alto nível de contaminação por metais tóxicos, sendo o chumbo o principal deles. Existem diversos registros dos efeitos e consequências da contaminação do ambiente e de pessoas associados ao chumbo, sendo o caso de Santo Amaro da Purificação - BA um dos mais graves já registrados no mundo (CARVALHO et al., 1983; MACHADO et al., 2003; SILVA, 2003).

Visando o beneficiamento de minérios, em 1958 uma empresa francesa, a PENARROYA, criou uma subsidiária denominada de COBRAC, vindo a se instalar na cidade de Santo Amaro em 1959 e entrou em operação em 1960. Esta empresa produziu lingotes de chumbo durante 29 anos, quando então foi vendida à empresa Trevo, deixando um grande passivo ambiental. Durante o funcionamento da indústria foram produzidas aproximadamente 500.000 toneladas de chumbo, com elevada concentração residual de cádmio, chumbo, arsênico, zinco e outros metais, que ficaram armazenadas durante décadas no pátio da Fundação (ASEVEDO, 2012).

As escórias oriundas do processo industrial foram dispostas ou utilizadas de várias formas, durante o período em que a fábrica encontrava-se em funcionamento. Machado (2003) relata que entre as décadas de 1960 e 1970, a escória de chumbo, por ser um material granular e de boa capacidade de suporte, foi utilizada para pavimentação das ruas do centro da cidade. Este exemplo foi seguido por diversos moradores, que utilizaram a escória nos quintais de suas casas, pátios de escolas, etc. Quando não utilizada, a escória foi disposta sem que nenhuma medida fosse tomada de forma a diminuir a disponibilidade de seus metais pesados para o meio ambiente.

Vários estudos já foram conduzidos em Santo Amaro, sendo os mais completos: Anjos, 2003; Carvalho et al., 1980; 1983; Machado et al., 2003, 2004, 2010; Silva et al., 2003. Com relação à área industrial, uma das

principais ações recomendadas no relatório do projeto PURIFICA (Machado et al., 2003) e por Anjos (2003), na ausência de processos economicamente viáveis de reaproveitamento da escoria, é o isolamento da área, o deslocamento e aterramento da escoria recoberta, a construção de um sistema de impermeabilização com sistema de drenagem e uma bacia de contenção das águas pluviais, possivelmente uma zona alagada construída.

Com relação à área urbana, e a contaminação da população por chumbo e cádmio, as principais ações a serem adotadas estão previstas no plano de remediação já entregue ao poder público municipal, e consistem na coleta de escória de chumbo encontrada em pátios, terrenos baldios e quintais de casas, em conjunto com a raspagem do solo contaminado, para disposição adequada em local a ser combinado entre os especialistas em recuperação de áreas degradadas (equipe multidisciplinar UFBA, UFRB, CETEM) e a Prefeitura Municipal de Santo Amaro é a remoção da pavimentação e retirada da escória, em 13300 m de ruas da cidade.

Diversos trabalhos foram realizados visando o estudo da contaminação dos solos, plantas, animais, recursos hídricos, seres humanos. Entre estes estudos destacam-se os de Carvalho (2003) cujo objetivo principal foi estudar a penetração vertical da contaminação por metais no solo. Carvalho (2010) também analisou a influência da contaminação do solo por metais traços derivada das emissões atmosféricas.

Existem diversas formas dos seres humano serem contaminados, quando em contato com chumbo, dentre estas formas Carvalho et al., (2010) cita a inalação, ingestão e contato dérmico. Este mesmo autor acrescenta que o consumo de alimentos contaminados, ingestão de água contaminada e a geofagia, comum em crianças, são formas tradicionais de contaminação. Neste caso, contudo, acredita-se que atualmente a aspiração de poeira proveniente de solos com altas concentrações de chumbo e a geofagia sejam umas das principais causas de contaminação da população local.

Apesar dos extensos trabalhos já desenvolvidos nas áreas industrial e urbana, nenhuma ação efetiva foi realizada até o ano de 2013. Uma das razões para a falta de investimento é o custo muito alto estimado para recuperação da

zona urbana e industrial (remoção da escoria, US\$ 1.200.000), do rio Subaé (US\$ 5.000.000), e construção da usina de reprocessamento da escoria de chumbo (US\$ 3.200.000). Nessa circunstância, a formação de um banco de dados sobre os efeitos da contaminação no ambiente (natureza e população) é imprescindível para tornar mais explícito o real impacto na região de Santo Amaro e solicitar ao poder público estadual e/ou federal a liberação dos recursos necessários para aplicação do plano de ações de remediação elaborado no projeto Purifica.

Dentre as diferentes formas de contaminação do ambiente, podemos citar (MACHADO et al., 2003; MACHADO et al., 2004): (1) resíduos gasosos: emissões nas chaminés de material particulado com metais tóxicos adsorvidos; (2) resíduos líquidos: despejo de efluentes industriais e das águas de drenagem da área industrial (com escórias espalhadas ao céu aberto) no rio Subaé; (3) resíduos sólidos: pilhas de escórias da indústria dispostos em toda a área, além da sua utilização para pavimentação de vias urbanas. Esses resíduos são constituídos principalmente de óxidos de Pb e Zn, incluindo Ca, Fe, e S, e contendo traços de Cd, As, Sb, Co e Cr (MACHADO et al., 2003).

Assim, três principais preocupações são levantadas:

1) Lixiviação permanente das pilhas de escórias na área industrial, levando a um acúmulo e uma futura saturação da zona alagadiça pelos metais Pb e Cd (ANJOS, 2003; DEBUSK et al., 1996.)

2) Contaminação atual dos sedimentos do rio Subaé, da cidade de Santo Amaro até o seu estuário no norte da Baía de Todos os Santos, com índice de dispersão na Baía em locais distantes de mais de 30 km da fonte da contaminação, resultando num vasto impacto no ecossistema manguezal aquático, como por exemplo importante contaminação dos frutos do mar (CARVALHO et al., 1983; PAOLIELLO e CHASIN, 2001).

3) Contaminação do solo numa área extensa em torno da cidade de Santo Amaro (no mínimo 4 km de raio), tendo como consequência translocamento nas plantas cultivados e aporte constante do poluente no rio Subaé por erosão laminar (MACHADO e tal., 2010.; YIN et al., 2010; ZHANG et al., 2010).

Problemática

Considerado a contaminação difusa da área rural por Pb e Zn, a forte retenção de espécies químicas por Vertissolos e o transporte de argilas através da erosão hídrica, o estudo realizado nessa dissertação levanta um problema paralelo pouco abordado até hoje. De fato, conforme descrito acima, além da contaminação das áreas industriais e urbanas, existe a contaminação da área rural, devido à deposição seca de poeiras ricas em metais durante os 29 anos de funcionamento da fábrica. Estima-se que a dispersão da fumaça poluente pode ter atingido uma área de 20 quilometro de raio, de acordo com a topografia e direção dos ventos, levando a uma poluição difusa generalizada nos arredores da cidade de Santo Amaro. Nessa região, o solo é derivado de um folhelho, conseqüentemente possui um teor elevado em argilas de tipo esmectita, que possuem uma elevada capacidade de sorção dos poluentes metálicos (Gupta e Bhattacharyya, 2005). Por outro lado, as fortes precipitações na região provocam erosão e dispersão das argilas nas águas superficiais de escoamento, podendo levar junto grandes quantidades de poluentes nos corpos hídricos, pois sabe-se que o Pb é fortemente adsorvido na fração coloidal (argila, óxidos e sobretudo ácidos húmicos e fúlvicos), e conseqüentemente facilmente transportável pelas águas (Zhang et al., 2005; Denaix et al., 2005). Considerando a extensa área altamente contaminada no entorno da fábrica Plumbum, de no mínimo 60 km² (área circular de 4,5 km de raio comprovada no estudo de Machado, 2010) e possivelmente 300 km² (área circular de 10 km de raio), essa continua fonte de poluição difusa através do escoamento superficial deve ser monitorada por desenvolver um plano de ação eficaz na escala regional.

Objetivo

Objetivou-se estimar as perdas potenciais de solo e o transporte de metais (Pb, Zn) através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), numa área contaminada no entorno da fábrica metalúrgica de Santo Amaro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A erosão do solo consiste no desprendimento de partículas causado por diversos fatores que atuam na natureza. Dentre estes fatores, a erosão hídrica é uma das que ocorre com maior frequência. Portanto a estimativa das perdas de solo por escoamento superficial é importante para quantificar o transporte de sedimentos para o leito dos rios e mananciais, e conseqüentemente propor medidas de controle dos processos erosivos. Esta estimativa tem sido facilitada através do uso de ferramentas de geoprocessamento, que permitem modelar os fatores da EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo) para diversas partes do mundo.

2.1 EROSÃO DO SOLO

Os fatores que influenciam os processos erosivos são: a erosividade da chuva, medida pela intensidade e energia cinética da chuva; a erodibilidade do solo, determinada pelas características físicas, químicas e morfológicas do solo; a cobertura vegetal, pela sua maior ou menor proteção do solo; o declive e comprimento da encosta, as práticas de conservação e o manejo do solo (ALVARES e PIMENTA, 1998). Com a identificação destes fatores, estimativas de perdas do solo por erosão laminar podem ser obtidas por uma equação empírica, desenvolvida com base em experimentação de campo por pesquisadores do Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), denominada “Equação Universal de Perda de Solo” - EUPS ou Universal Soil Loss Equation - USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Esta metodologia permite a previsão das perdas de solo causadas pela erosão e indica quais os fatores que exercem os maiores efeitos sobre as perdas de solo (ALBUQUERQUE, 1997).

A EUPS exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão do solo pela chuva. Os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais do clima e do solo e os fatores C e P das ações antrópicas, ou seja, das diferentes formas de ocupação e uso das terras (SPAROVEK, 1998, apud RIBEIRO 2006).

A EUPS pode ser aplicada para diversas finalidades entre elas, Ranieri (1996) (apud Ribeiro 2006) cita a previsão de perdas médias anuais de terra para áreas com determinadas práticas de utilização; orientações para o planejamento de práticas de cultivo, de manejo e conservação; previsão de alterações nas perdas de solo ocasionadas por mudanças nas práticas de cultivo e conservação; determinação de modos de aplicação ou alteração das práticas agrícolas; estimativa de perdas de solo por usos distintos na agricultura; estimativa de perdas de solos visando a determinação de práticas conservacionistas.

Ranieri (2000) cita como limitações da EUPS: necessidade de se trabalhar com áreas relativamente homogêneas com relação ao solo, uso da terra e declividade; o fato de a equação deixar implícitos diversos parâmetros e seus efeitos; o fato de os cálculos para o fator C serem válidos para condições específicas de cada região; a não consideração de áreas de deposição e a não consideração da erosão laminar.

Segundo Ribeiro (2006), a equação é considerada um bom instrumento para previsão de perdas de solo por erosão laminar por exigir um número de informações relativamente pequeno quando comparado ao exigido por modelos mais complexos, e por ser uma equação bastante conhecida e estudada. Em condições como a brasileira, cuja base cartográfica é escassa, aplicação de outros modelos para estimativa de perda de solo para fins de planejamento agrícola e ambiental é muito limitada.

2.1.1 Diferentes formas de erosão acelerada

Segundo Silva 2009, a erosão é classificada de acordo com os seus agentes erosivos, sendo assim, a erosão relacionada à precipitação das chuvas dita de erosão pluvial; a decorrente da força modeladora dos ventos por erosão eólica; e a atrelada aos processos erosivos dos rios de erosão fluvial. A seguir é apresentada a classificação proposta por Bertoni e Neto (2008):

A erosão pelo impacto das chuvas (efeito splash) constitui em um dos principais processos de erosão, pois está relacionado com a intensidade das chuvas e o uso dos solos. As primeiras gotas que colidem contra a superfície

do terreno desagregam pequenas partículas dos solos, retirando, ao mesmo tempo, a camada mais fértil dos solos; a erosão laminar são feições erosivas oriundas de escoamento difuso das águas, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo. É o tipo de erosão em que finas camadas de solo são removidas em toda uma área, sendo a menos notada visualmente. Pode ser percebida a partir da exposição de raízes de plantas perenes; a erosão em sulcos ocorre com a formação de pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais concentrados. É uma forma de erosão resultante da concentração da enxurrada em alguns pontos do terreno, atingindo volume e velocidades suficientes para formar sulcos mais ou menos profundos. Na sua fase inicial, os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo, porém em estágio mais avançado, podem atingir profundidades que interrompem o trabalho de máquinas; As voçorocas constituem feições de erosões mais complexas e destrutivas no quadro evolutivo da erosão linear e são originados por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o sub-superficial. Constitui erosão de grande porte, de forma variada e de difícil controle. Ela é ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, o qual vai se ampliando pelo deslocamento de grandes massas de solo, formando grandes cavidades em extensão e profundidade (OLIVEIRA., 2011).

2.1.2 Estimativa das perdas de solo por erosão

A importância de se quantificar os processos erosivos reside no fato de ser um processo que ocorre em toda a superfície terrestre e, em conjunto com outros processos naturais, é responsável pela modelagem das formas de relevo. Entretanto, com o incremento da ação antrópica no meio ambiente, através da supressão da cobertura vegetal para a introdução de práticas agrícolas, exploração de bens minerais e implantação de núcleos urbanos os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais do planeta, ou seja, o solo e a água superficial (CARVALHO, 2010).

Os processos de erosão dos solos ocorrem em estágios, isto é, agravando-se à medida que atingem outras fases de degradação, por sua vez, este é fenômeno complexo que desencadeia, a partir deste, diversas alterações ambientais. O processo de erosão é um fenômeno que depende das características ambientais, como erosividade da chuva, erodibilidade dos solos, topografia, usos da terra e cobertura vegetal (SILVA, 2009).

A remoção da vegetação natural através do desmatamento é a primeira etapa da ocupação de um território. A vegetação natural mantém na região um processo de erosão natural, atenuando a ação das chuvas no solo. Quando esta vegetação é removida pode se instalar na região um processo de erosão. Um processo de erosão é dito acelerado quando ele é mais rápido do que os processos de formação do solo, não permitindo que este se regenere. Dentre outros danos, a erosão causa assoreamento de cursos e corpos d'água, degradação do solo prejudicando a manutenção da fertilidade do solo, alterando a profundidade do solo e causando a perda dos horizontes O e A, o qual contém a maior parte da matéria orgânica e dos nutrientes essenciais para as plantas, e tem a melhor estrutura para o desenvolvimento das raízes. A erosão e o assoreamento trazem também como consequências uma maior frequência e intensidade de enchente e alterações ecológicas que afetam fauna e flora (ABDON, 2004).

Vários são os fatores que interferem sobre o processo erosivo: energia cinética da água das chuvas, propriedades químicas e físicas dos solos, comprimento, forma e declividade das encostas, cobertura vegetal, uso e manejo do solo. Em quase todos os casos, o uso e o manejo inadequado levaram à ocorrência dos processos erosivos acelerados, na maioria dos casos, de caráter irreversível (GUERRA e MENDONÇA, 2004).

Deve ser apontado ainda que o processo erosivo não ocorre da mesma forma em solos com diferentes propriedades. O comportamento de um solo frente à ação das águas varia principalmente em função de sua permeabilidade, estrutura, densidade e textura, que definem o grau de erodibilidade do solo. Estas características conferem maior ou menor resistência das partículas do solo à desagregação e capacidade de absorver e

infiltrar água pluvial, aumentando o limite para início do escoamento pluvial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Atualmente os processos de degradação do solo constituem grave problema em escala mundial, com consequências ambientais, sociais e econômicas significativas. Para tanto são de fundamental importância estudos que avaliem a susceptibilidade dos diferentes tipos de solo aos processos erosivos, as taxas com que esses processos ocorrem, suas consequências na paisagem, além do conhecimento dos prováveis fatores desencadeadores, possibilitando uma melhor gestão das práticas desenvolvidas no território da bacia hidrográfica (CARVALHO, 2010).

A erosão do solo caracteriza o resultado da atuação de diversos fenômenos que tendem a modificar o ambiente de uma bacia hidrográfica, dos quais se destaca a transformação da paisagem para utilização agrícola. Tais problemas, conforme enfatiza Tomazoni et al. (2005), são causados principalmente pelo uso inadequado agrícola, que tende a acelerar a erosão e assim poluir e causar assoreamento nos rios e represas com material particulado.

Desta forma, o controle da erosão deve ser efetuado mediante o uso de ações de caráter preventivo e após sua ocorrência através de ações corretivas, sendo que as informações quanto às potencialidades das terras, quanto ao seu uso e cobertura, devem ser obtidas através do mapa de perda de solo (RIBEIRO et al, 2005).

A elaboração e aplicação de modelos matemáticos em estudos de erosão vêm sendo um recurso amplamente utilizado para melhor compreender este processo, conforme as peculiaridades da área de interesse. Ao mesmo tempo, a aplicação de técnicas de geoprocessamento tem colaborado fortemente no sentido de agilizar a obtenção de resultados e produtos, possibilitando, ainda, investigar o processo considerando-se situações hipotéticas (SILVA et al., 2003).

Também, a erosão pode ser classificada de acordo com os seus agentes erosivos, sendo assim, a erosão relacionada à precipitação das chuvas dita de

erosão pluvial; a decorrente da força modeladora dos ventos por erosão eólica; e a atrelada aos processos erosivos dos rios de erosão fluvial.

De acordo com Albuquerque (2005), a EUPS, como atualmente é utilizada, foi desenvolvida a partir de 1953, quando o Soil and Water Conservation Research Division of the Agricultural Research Service reuniu, na Universidade de Purdue (EUA), dados de escoamento superficial e de perdas de solo de 48 estações experimentais localizadas em 26 Estados dos EUA. Com base nesses dados, incluíram-se inovações importantes que melhoraram a precisão da estimativa de perdas de solo, quais sejam: um índice de erosividade da chuva, um método para avaliação dos efeitos do manejo de uma cultura, um método para quantificar a erodibilidade do solo e um método para determinar os efeitos das interações de variáveis como: produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos culturais. As inovações introduzidas possibilitaram que as dificuldades concernentes a fatores de natureza climática ou geográfica existentes nas primeiras equações, fossem superadas, permitindo a sua aplicação em qualquer lugar onde os dados para o seu cálculo pudessem ser obtidos, sendo por isso mesmo chamada Equação Universal de Perdas de Solo.

No Brasil, adequações de alguns fatores às condições climáticas e culturais foram propostas por alguns pesquisadores (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992) ao modelo de Wischmeier e Smith (1978). A equação será entendida, neste trabalho, pela seguinte expressão: $A=R*K*LS*CP$, onde A, representa as perdas de solo em ton/ha/ano, R, erosividade das chuvas, K, erodibilidade do solo, L*S, fator de declividade e comprimento da rampa e C*P, uso da terra e práticas conservacionistas.

→ Fator de erosividade (R)

O conceito de erosividade apresentado por Hudson (1973) e Wischmeier e Smith (1978) descreve a erosividade como sendo uma interação entre a energia cinética presente nas gotas de água de chuva e as partículas da superfície do solo. Esta interação pode resultar num maior ou menor grau de destacamento e um transporte “morro abaixo” das partículas conforme a

quantidade de energia e intensidade de chuva, considerando um mesmo tipo de solo, mesmas condições topográficas e ainda cobertura e manejo do solo.

O Fator R é um índice que mede a capacidade da chuva de causar erosão em solo exposto, sendo sua melhor mensuração o produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1980; BERTOL, 1994, MORETI, 2003). Albuquerque et al. (1994), Bertoni e Lombardi Neto (1993), (apud Baptista 1997, e Lopes e Brito, 1993), compararam índices de erosividade e consideraram o EI_{30} (energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos) como o que melhor se adequa à realidade das regiões tropicais. Devido à exigência de detalhamento de dados de intensidade da chuva (mm/h) para o cálculo do EI_{30} , foi proposta uma simplificação que utiliza séries históricas de totais mensais de precipitação de um determinado local, onde o índice de erosão médio anual, isto é, o fator R para um local, é a soma dos valores mensais dos índices de erosão, utilizando somente totais de chuva, os quais são disponíveis para muitos locais.

Deste modo, foi desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer em 1980, uma função para determinação de um valor médio do índice de erosividade por meio da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação:

$$EI_{30} = a \times (r^2/P)^b \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosividade mensal, em MJ.mm/ha.h;

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm,

a, b = coeficientes a serem ajustados conforme a região.

Os valores de **R** variam de fraco a muito forte, conforme a seguinte escala (Eletrobrás, 1988, apud Carvalho, 2008).

$R < 250$	– Erosividade fraca
$250 < R < 500$	– Erosividade
$500 < R < 750$	– Erosividade moderada a forte
$750 < R < 1000$	– Erosividade forte
$R > 1000$	– Erosividade muito forte

→ Fator de erodibilidade (K)

Esse fator K de erodibilidade do solo é igual à intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais. Representa a susceptibilidade do solo a erosão, sendo a recíproca da sua resistência a erosão. Esse fator está relacionado às propriedades físicas e químicas do solo, representando o grau de erosão de diferentes tipos de solos quando submetidos as mesmas condições de chuva, declive, manejos e práticas conservacionistas (CARVALHO, 2008).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aquelas que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelo escoamento. A erodibilidade do solo é expressa como a perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva - EI, e pode ter seu valor determinado experimentalmente em parcelas ou estimado pelos métodos indiretos, por meio de equações de regressão que contenham variáveis relacionadas às propriedades morfológicas, químicas e físicas do solo, correlacionadas com o fator K (LOMBARDI e BERTONI, 1975; DENARDIM, 1990).

De acordo com Baptista (1997), esse fator pode ser determinado experimentalmente, em condições específicas de declividade e comprimento de rampa, ou de forma indireta por meio de um nomograma desenvolvido por Wischmeier et al., (1971), sendo que os resultados obtidos devem ser multiplicados pelo fator de conversão 0,1317, para que possa ser utilizado no

Sistema Internacional, pois em sua confecção a permeabilidade foi adotada no sistema em inglês.

Os valores de **K** variam de fraco a elevado, segundo a seguinte escala (Eletrobrás, 1988, apud Carvalho, 2008).

$K < 0,15$	– Erodibilidade fraca
$0,15 < K < 0,30$	– Erodibilidade média
$K > 0,30$	– Erodibilidade elevada

→ Fator Declividade e Comprimento de Rampa (L*S)

O Fator LS expressa às relações do relevo no processo de perdas de solos. O fator topográfico combina a declividade média do terreno com o comprimento de encostas (RUHOFF et al., 2006). Conforme Costa (2005), o fator LS incorpora os efeitos da topografia no processo erosivo relacionando o comprimento da encosta (L) e a declividade (S). Embora sejam calculados separadamente, estes parâmetros são representados, para aplicação prática, como um único fator topográfico LS sendo este definido como a taxa de perda de solo por unidade de área de uma parcela padrão de 22,13 m de comprimento e 9% de declive (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Para calcular o fator topográfico da USLE, Wischmeier e Smith (1978), sugere a seguinte equação:

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{10 * (1,36 + 0,975 + 0,1385S^2)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

L = corresponde ao comprimento da rampa e metros

S = grau de declividade

O comprimento é medido diretamente no terreno, ou em uma planta, em metros, desde o ponto de origem do escoamento até onde a declividade decresce, começando os depósitos, ou até o ponto onde as enxurradas entram num canal bem definido; são feitas varias medidas na área e tomada a média.

Também são medidas as cotas iniciais e finais em vários pontos para obtenção do valor médio da declividade, de forma mais simplificada (CARVALHO, 2008).

O fator LS é, dessa forma, calculado a partir de mapas de declividade e comprimento de rampa. Metodologias propostas para cálculo do comprimento de rampa em sistemas de informações geográficas são apresentadas em ROCHA et al. (1996) e MANSOR et al. (2002).

→ Fator Cobertura vegetal (C*P)

A cobertura vegetal é um escudo natural que protege o solo. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de proteção, que cada cultura oferece.

O fator C (uso e manejo do solo) é a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno com cobertura vegetal potencial, ou cultivado, em comparação a um terreno desprotegido. A redução da erosão vai depender do tipo da vegetação ou da cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Para Mata et al., (2007), o fator C pode ser definido como a relação esperada entre as perdas do solo de uma área cultivada, segundo um manejo qualquer, e as perdas correspondentes de um solo na mesma área, mantendo o solo descoberto e cultivado. Carvalho (2008) comenta que em áreas sem nenhuma vegetação, o fator C tende a 1,0, enquanto florestas virgens tem um valor de C próximo a 0,0001. Assim o valor de C depende da cobertura vegetal, do tipo, sequência e estágio das culturas e das práticas de manejo.

A cobertura vegetal reduz a quantidade de energia cinética que chega ao solo durante uma chuva. Outro fator importante é a redução dos processos erosivos nas formas de escoamento superficial e transporte de sedimentos. Guerra (1998) salienta que, em áreas com menos de 70% de cobertura vegetal, o runoff aumenta substancialmente, fazendo com que a perda de solos

e água também aumente proporcionalmente. As práticas de conservação dos solos (Fator P) também atuam nos processos erosivos e nas perdas de solos. Os valores de P variam conforme o tipo de cultura agrícola e as práticas conservacionistas adotadas na área de estudo (RUHOFF et al., 2006).

O fator P (práticas conservacionistas) representa a razão entre a perda de solo que ocorre para uma dada prática conservacionista e aquela que ocorre para cultivos no sentido do declive máximo do terreno ou como denominados usualmente, plantio morro abaixo (RANIERI, 2000). Este conceito é relatado por Mata et al., 2007, que caracteriza este fator como a relação entre a intensidade esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo). O Fator CP de forma conjunta é definido como a relação entre a perda de solo esperada das áreas com cultivos e vegetação e as áreas descobertas.

2.2 USO DE GEOTECNOLOGIAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

As geotecnologias têm contribuído com a análise de processos ambientais visando facilitar, aprofundar e sistematizar o estudo de problemas ambientais. Nesta perspectiva, este tópico apresenta os conceitos básicos de representação computacional de dados geográficos. Os conceitos apresentados visam esclarecer as questões básicas do Geoprocessamento: sensoriamento remoto, projeto SRTM e geração de MDE, utilização do geoprocessamento, confecção de mapas e algoritmo de mapas.

2.2.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto consiste em uma forma de se obter informações de um objeto por fontes naturais como o sol e a terra, ou por fontes artificiais como o radar, realizados através da detecção da energia eletromagnética dele proveniente. Pode ser subdividido em dois subsistemas: subsistema de coleta de dados e subsistema de análise de dados (LILLESAND e KIEFER, 1989; ROSA, 1995; NOVO, 2008).

As imagens orbitais trazem informações que caracterizam diferentes classes de uso do solo com base em seus níveis de reflectância. Uma das vantagens para o uso de imagens orbitais para a caracterização e mapeamento de agroecossistemas é a sua grande abrangência em termos de cobertura e seu custo acessível (MACHADO et al, 2009).

Dessa forma, os sistemas e técnicas permitem o estudo da evolução ambiental de uma região através de análises multitemporais, estabelecendo comparações de uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos de tempo (GRIGIO, 2003).

2.2.2 Projeto SRTM e geração de MDE

O uso das imagens SRTM tem se tornado cada vez mais frequente em estudos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos, dentre outros, em particular para análises tanto quantitativas como qualitativas do relevo e seus agentes modificadores (CARVALHO, 2004), e na elaboração de mapas hipsométricos e clinográficos (declividade), e de perfis topográficos, dentre outros produtos elaborados a partir de variáveis relacionadas à topografia. A utilização de imagens é justificada devido a fácil aquisição e permite que sejam realizados estudos de modelagens de processos ambientais, como os estudados neste trabalho (CARVALHO, 2007).

O Projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) consiste na primeira experiência de interferometria a bordo de um ônibus espacial. No período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, a bordo do Space Shuttle Endeavour, numa altitude de vôo de 233 km e uma inclinação de 57°, um conjunto composto por duas antenas coletou 14 Terabytes de dados que permitiram a avaliação do perfil de altitude para criação de modelo digital tridimensional da Terra entre as latitudes 60°N e 58°S (CREPANI, 2005). Desde agosto de 2003, os dados SRTM da América do Sul estão disponíveis, com acesso livre na rede mundial de computadores.

Os produtos da SRTM fazem parte de um conjunto de imagens de radar e são sensores de visada vertical e lateral, logo são capazes de reproduzir altitudes. Trata-se de um modelo digital do terreno, ou seja, representa em três dimensões espaciais o relevo, latitude, longitude e altitude (x, y, z) (CARVALHO, 2007). Os dados da SRTM apresentam características indesejáveis, além das informadas pelo fornecedor, como falhas negativas e sua sensibilidade a quaisquer objetos presentes sobre a superfície do terreno e mesmo variações da cobertura vegetal (FLORENZANO, 2008).

Visando minimizar estas características indesejáveis a Embrapa obteve os dados brutos SRTM os quais foram corrigidos e padronizados, a fim de se eliminar problemas inerentes aos imageamentos por radar, tais como depressões espúrias, picos e pontos anômalos e áreas com ausência de dados (MIRANDA, 2005). Os exemplos de aplicações permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e com o uso do SIG, variáveis morfométricas (altitude, declividade, orientação das vertentes) que são essenciais em estudos geomorfológicos (OLIVEIRA, 2011).

Esta tecnologia apresenta diversos exemplos de aplicações para o desenvolvimento sustentável da agricultura e do país, dentre elas: programas de manejo de bacias hidrográficas, eletrificação rural, conservação de solos, preservação de recursos florestais, cumprimento do código florestal, gestão dos recursos hídricos, planejamento territorial, implantação de estradas rurais, melhoria da cartografia topográfica disponível, zoneamento ecológico – econômico, monitoramento ambiental, etc. (MIRANDA, 2005).

Os dados da missão SRTM foram usados para gerar os modelos digitais de elevação (MDE). Esses modelos possuem diversas aplicações, como para a geomorfologia, com a elaboração de mapas de concavidade e convexidade; análises de rede hidrográfica, como delimitação automática de bacias e microbacias e áreas inundadas; animações, podendo-se analisar em diferentes ângulos a área em estudo, perfis topográficos e longitudinais (rios), além do uso para correção geométrica e radiométrica de imagens de sensoriamento remoto (FELGUEIRAS, 1997; CARVALHO et al., 2003; CARVALHO, 2004). É importante ressaltar que os produtos SRTM são modelos de elevação da

superfície, ou seja, são referentes ao topo da cobertura da superfície como o dossel das árvores, edificações e demais objetos que se encontram sobre a superfície terrestre. Ao contrário de modelos obtidos através de cartas topográficas (curvas de nível), os quais são denominados de MDTs (Modelos Digitais do Terreno).

2.2.3 Utilização do geoprocessamento em estudos ambientais

Desde 1970, soluções para diversos problemas nas pesquisas geomorfológica e geológica têm sido realizadas pelo avanço da manipulação de ferramentas destinadas a análise da paisagem, através da quantificação dos processos que a modelam. Tais ferramentas, como o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas tornaram-se uteis na pesquisa em geomorfologia, vinculando-a com estudos da paisagem através da inter-relação de escala, fisionomias e processos. Técnicas de cartografia digital, em especial aquelas voltadas a modelagem numérica do terreno, através de interferometria e digitalização de cartas topográficas, contribuem de forma significativa com o campo de pesquisa em geomorfologia aplicada (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004).

Segundo Biais et al. (2010) a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) tem sido facilitada a partir da disponibilização dos dados do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Os modelos digitais de elevação (MDE) possuem diversas aplicações, como para a geomorfologia, com a elaboração de mapas de concavidade e convexidade; análises de rede hidrográfica, como delimitação automática de bacias e microbacias e áreas inundadas; animações, podendo-se analisar em diferentes ângulos a área em estudo, perfis topográficos e longitudinais (rios), além do uso para correção geométrica e radiométrica de imagens de sensoriamento remoto (FELGUEIRAS, 1997; CARVALHO et al., 2003; CARVALHO, 2004). É importante ressaltar que os produtos SRTM são modelos de elevação da superfície, ou seja, são referentes ao topo da cobertura da superfície como o dossel das árvores, edificações e demais objetos que se encontram sobre a superfície terrestre. Ao contrário de

modelos obtidos através de cartas topográficas (curvas de nível), os quais são denominados de MDTs (Modelos Digitais do Terreno) (CARVALHO et al., 2007).

Segundo Oliveira (2011) para a geração dos modelos digitais de terreno é necessário a digitalização das curvas de nível das cartas topográficas, porém com o uso das imagens SRTM este processo não é necessário, pois trata-se de produtos de interferometria, ou seja, são modelos de elevação do terreno (MDE). Um modelo digital de terreno (MDT) é obtido com dados reais da elevação do relevo, já um MDE é um modelo de elevação do relevo e pode ser influenciado por árvores, prédios e etc, já um MDT não, pois se usa dados obtidos através de topógrafos.

2.2.4 SIG – Confecção de Mapas – Algoritmo de Mapas

De acordo com Silva (2009) os Sistemas de Informações Geográficas são aplicativos de manipulação de informações geográficas, nos quais apresentam em sua estrutura os seguintes mecanismos: entrada de dados, armazenagem de banco de dados, análise espacial e saída cartográfica.

Desde sua concepção inicial, mais simplista e voltada para o projeto e construção de mapas, os SIGs têm incorporado uma crescente variedade de funções. Em especial, apresentam mecanismos sofisticados para manipulação e análise espacial de dados, permitindo uma visualização bem mais intuitiva dos dados do que a obtida através de relatórios e gráficos convencionais (OLIVEIRA, 2011).

Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas que permitem armazenar, analisar, recuperar, manipular e manejar grandes quantidades de dados espaciais. Os SIGs são técnicas de manipulação de bancos de dados variáveis espacialmente. Originalmente estas ferramentas foram desenvolvidas para facilitar trabalhos cartográficos, mas estão sendo atualmente utilizadas para inventários, estimativas, planejamento e modelagem (CALIJURI et al., 2000).

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG's utilizam dados geograficamente referenciados (georreferenciados) e dados não espaciais, incluindo operações que dão suporte as análises espaciais. No SIG, o principal objetivo é o suporte à tomada de decisões, para gerenciamento de uso do solo, recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e terrestres, ou qualquer entidade distribuída espacialmente. A conexão entre os elementos do sistema é a geografia, isto é, a localização, a proximidade e a distribuição espacial (CALIJURI et al., 2000).

Rocha (2006) chama a atenção para a importância do tomador de decisão, pois o Sistema de Informação Geográfica (SIG) apenas fornece informações para essas pessoas: “É evidente que o sistema depende de sua interação com o analista e o tomador de decisão, que é quem interpreta os resultados gerados; coloca toda sua experiência, juntamente com um processo de discussão com a comunidade ou seus representantes, para sintetizá-los e analisá-los; gera informações e decisões que afetam esta comunidade e o meio ambiente ao seu redor, podendo ser caracterizado como um importante sistema de suporte à decisão”.

A integração do SIG e de sistema de apoio à decisão possibilitam que o processo de tomada de decisão seja realizado de forma mais fundamentada, pois o agente de decisão tem à sua disposição dados/informações mais prontamente acessíveis, mais facilmente combinados e modificados, além de utilizar argumentos mais claros para a decisão. Esses sistemas de suporte a decisão auxiliam a análise em SIG, possibilitando uma maior flexibilidade, liberando a análise dentro de margens de riscos estabelecidas para uma determinada decisão e permitindo que um critério favorável compense outro desfavorável para obter um resultado ponderado (EASTMAN et al., 1993).

A maior limitação ao uso desses modelos é a dificuldade em trabalhar a grande quantidade de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais, sendo assim, é fundamental a utilização de técnicas de geoprocessamento, que permitem a combinação de diversas variáveis representadas no tempo e no espaço, facilitando a análise e a interpretação (CARVALHO, 2010).

3 CARACTERIZAÇÃO E REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização do meio físico

A área de estudo situa-se no município de Santo Amaro, a 86 km de Salvador, e a 45 km de Feira de Santana. A cidade abrange uma área de 492.916 km² e possui uma população de 57.800 habitantes (IBGE, 2010).

Na figura 1 estão localizados a delimitação do município, rios, estradas, localização da fábrica, área urbana e a área de estudo.

A região possui clima tropical de classe As (classificação de Köppen-Geiger), com temperaturas elevadas e médias anuais que, em geral ultrapassam os 26°C, pluviosidade anual média é de 1400 mm nos últimos 10 anos sendo o período de abril a junho o mais chuvoso, e ocorrência de ventos fortes nos meses de julho e agosto.

A área de estudo se insere inteiramente na bacia do rio Subaé, sendo uma região bem drenada por águas superficiais. A bacia hidrográfica do rio Subaé é formada por sete municípios: Feira de Santana, São Gonçalo dos Campos, Santo Amaro da Purificação, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passe, Amélia Rodrigues e Conceição do Jacuípe. O rio Subaé origina-se nas nascentes da Lagoa do Subaé às margens da cidade de Feira de Santana, possuindo uma extensão de 55 quilômetros. Seus principais afluentes são: Rio Sergi, rio Pirauna, rio da Serra e rio Serji-Mirim, rio Traripe e rio do Macaco. Sua desembocadura (foz) está localizada no município de São Francisco do Conde, na Bahia de Todos os Santos em frente à Ilha de Cajaíba. Há presença de Manguezais em Santo Amaro, nos distritos de Acupe, São Braz e em São Francisco do Conde (ASEVEDO, 2012).

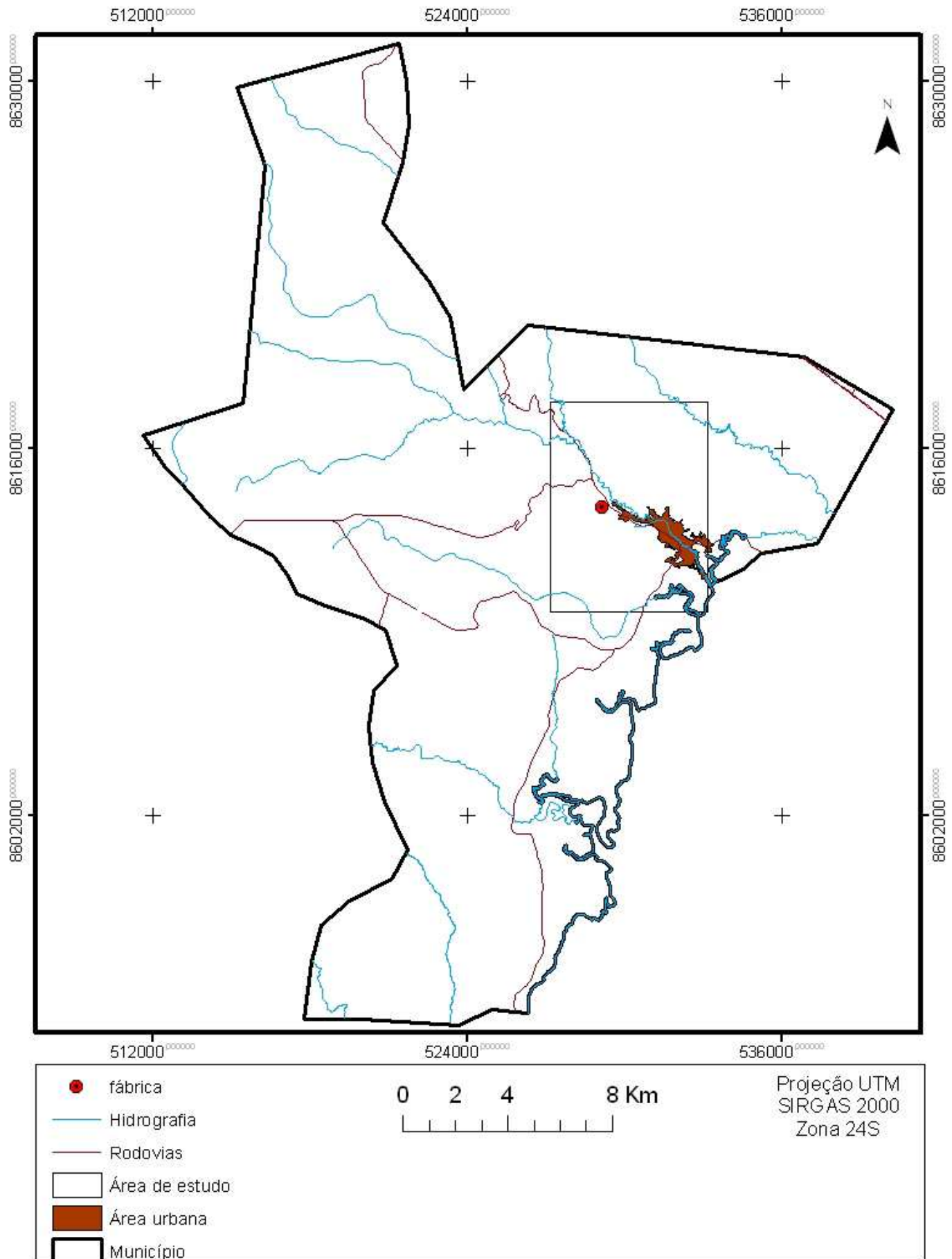


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Apresenta vegetação original de Mata Atlântica com ligeiras incursões de exemplares característicos de caatinga. O histórico de uso da área é urbana e agrícola, as atividades agrícolas são reduzidas e dominadas por pequenos produtores rurais (5-10 ha), cuja maioria pratica a agricultura de subsistência. As principais culturas são citros, dendê, cana-de-açúcar e fumo, A pastagem é a principal utilização de terras na região de entorno da Baía de todos os Santos (BTS) (CRA, 2008).

Segundo o Radam Brasil (1981), na área estudada encontram-se seis formações unidades geológicas: Complexo Ígneo-Metamórfico Caraíba-Paramirim, Grupo Brotas, Grupo Santo Amaro, Grupo Ilhas, Formação Barreiras e Sedimentos Aluvionares e de Mangue do Quaternário.

+ Complexo ígneo-metamórfico Caraíba-Paramirim: ortognaisse migmatítico, charnockítico a granodiorítico, com enclaves máficos, datado do Neoarqueano (aproximadamente 2700 Ma).

Grupo Brotas - datado do período Jurássico superior (154-135 Ma), separado do complexo Caraíba-Paramirim pela falha de Maragogipe, que delimita a bacia do Recôncavo-Tucano, esse grupo se situa na base da sequência sedimentar do preenchimento do rift abortado que ocorreu durante a abertura do Oceano Atlântico (Magnavita et al. 2005). Ele está constituído sobretudo de arenito fino a conglomerático, com alguns folhelhos, formados em ambientes fluvial/lacustre raso de início de rift. O Grupo está subdividido nas formações: Aliança e Sergi. A Formação Sergi possui extensa distribuição areal, com maiores espessuras no sul do Recôncavo, destacando-se na paisagem pelo relevo de cuevas.

Grupo Santo Amaro - datado do período Cretáceo inferior (135-96 Ma), ele corresponde a uma fase mais avançado de rifteamento, com presença de lagos profundos e mar interior. O Grupo Santo Amaro reúne as Formações Itaparica e Candeias. A Formação Itaparica consiste litologicamente em folhelhos e siltitos fossilíferos, esverdeados a cinza esverdeado, bancos de siltitos e folhelhos argilosos castanhos e vermelho-escuros.

A Formação Candeias reúne, basicamente, folhelhos e lamitos, micáceos, duros e fossilíferos, além de siltitos micáceos e arenitos finos, calcíferos. Na porção superior, ocorrem camadas de folhelhos micáceos e calcíferos e arenitos maciços, finos, com bolas de argila e fragmentos de folhelho.

+ Grupo Ilhas: datado do Cretáceo Inferior (135-96 Ma), se sobrepõe estratigraficamente ao Grupo Santo Amaro, e é representado por tabuleiros semiplanos, com altitudes entre 100 e 120 m. Compõe-se, fundamentalmente, de arenitos finos a sílticos, folhelhos, siltitos e calcários criptocristalinos intercalados.

+ Grupo Barreiras: sedimentos não consolidados datados do Paleógeno – Neógeno (65-1,75 Ma), recobrando discordantemente as rochas metamórficas do Complexo arqueano e as rochas sedimentares da Bacia do Recôncavo do Mesozóico. Consiste, principalmente, de sedimentos fluviais arenosos conglomeráticos a argilosos, de coloração vermelha, violeta, branca e amarelada, sendo comum a presença de concreções ferruginosas.

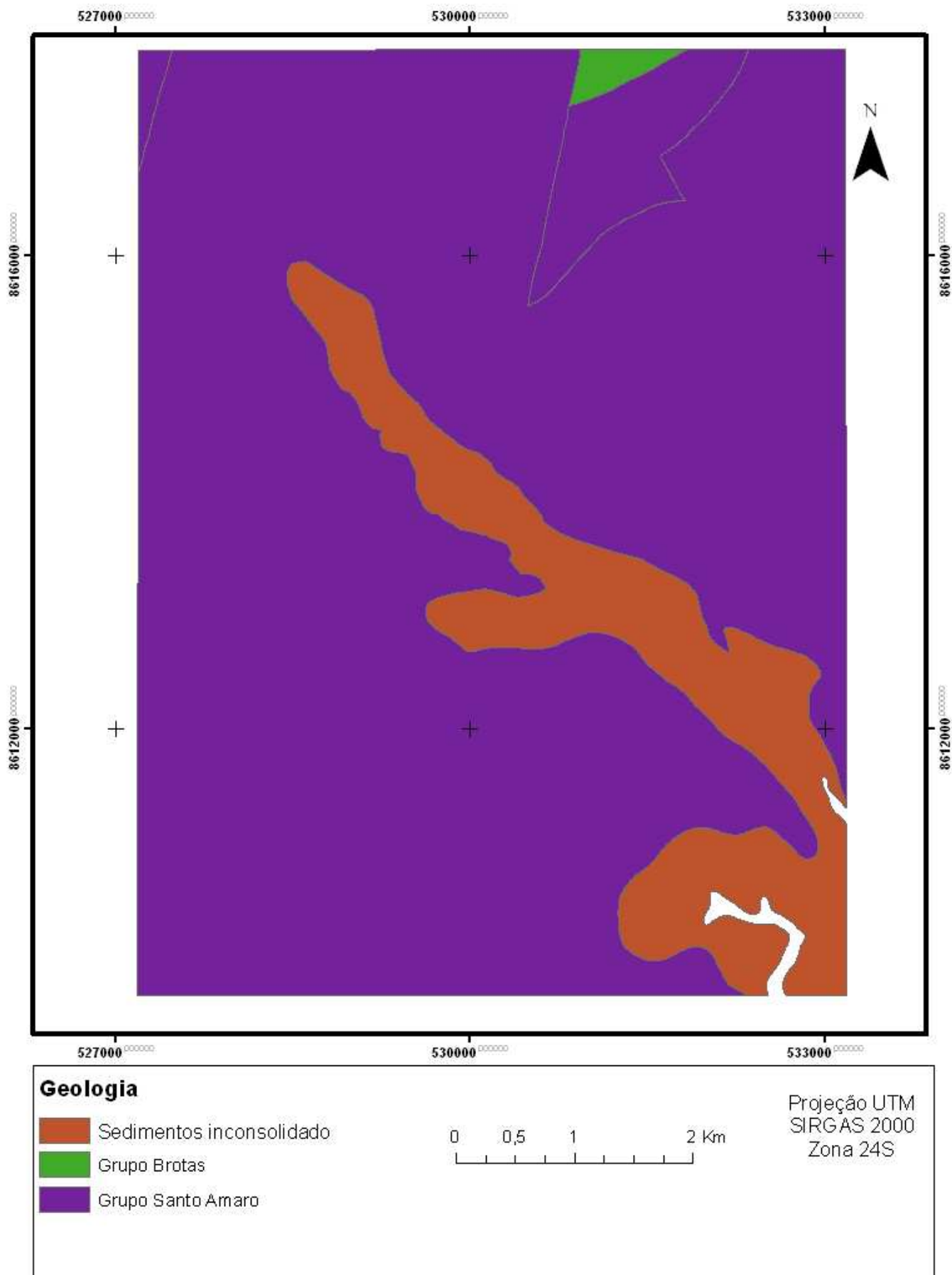


Figura 2 – Mapa de geologia da área de estudo (GONÇALVES, 2008).

Com relação à Pedologia, identificaram-se cinco classes de solos na bacia do Rio Subaé (EMBRAPA, 1999): Argissolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Vertissolos e Solos indiscriminados de Mangue, descritos a seguir: (1) Argissolos - solos com horizonte B textural, com argila de atividade baixa ou argila de atividade alta, (2) Espodossolos - solos minerais com horizonte B espódico abaixo do horizonte A ou E ou abaixo de hístico com menos de 40 cm, (3) Latossolos Distróficos - solos com baixa saturação por bases ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B latossólico (inclusive BA), (4) Vertissolos - solos com teor de argila de, no mínimo, 30% nos 20 cm superficiais, fendas verticais no período seco, com pelo menos 1 cm de largura, atingindo, no mínimo, 50 cm de profundidade, exceto no caso de solos rasos, onde o limite mínimo é de 30 cm de profundidade, e (5) Solos indiscriminados de mangues, possuindo texturas argilosas e arenosas, relevo plano, muito mal drenado, alto conteúdo em sais, considerados mais como tipo de terreno do que classe de solo, terrenos alagados, ocorrendo nas partes baixas do litoral que se localizam próximos a desembocadura dos rios, e/ou nas reentrâncias da costa e margens das lagoas, com influência das marés.

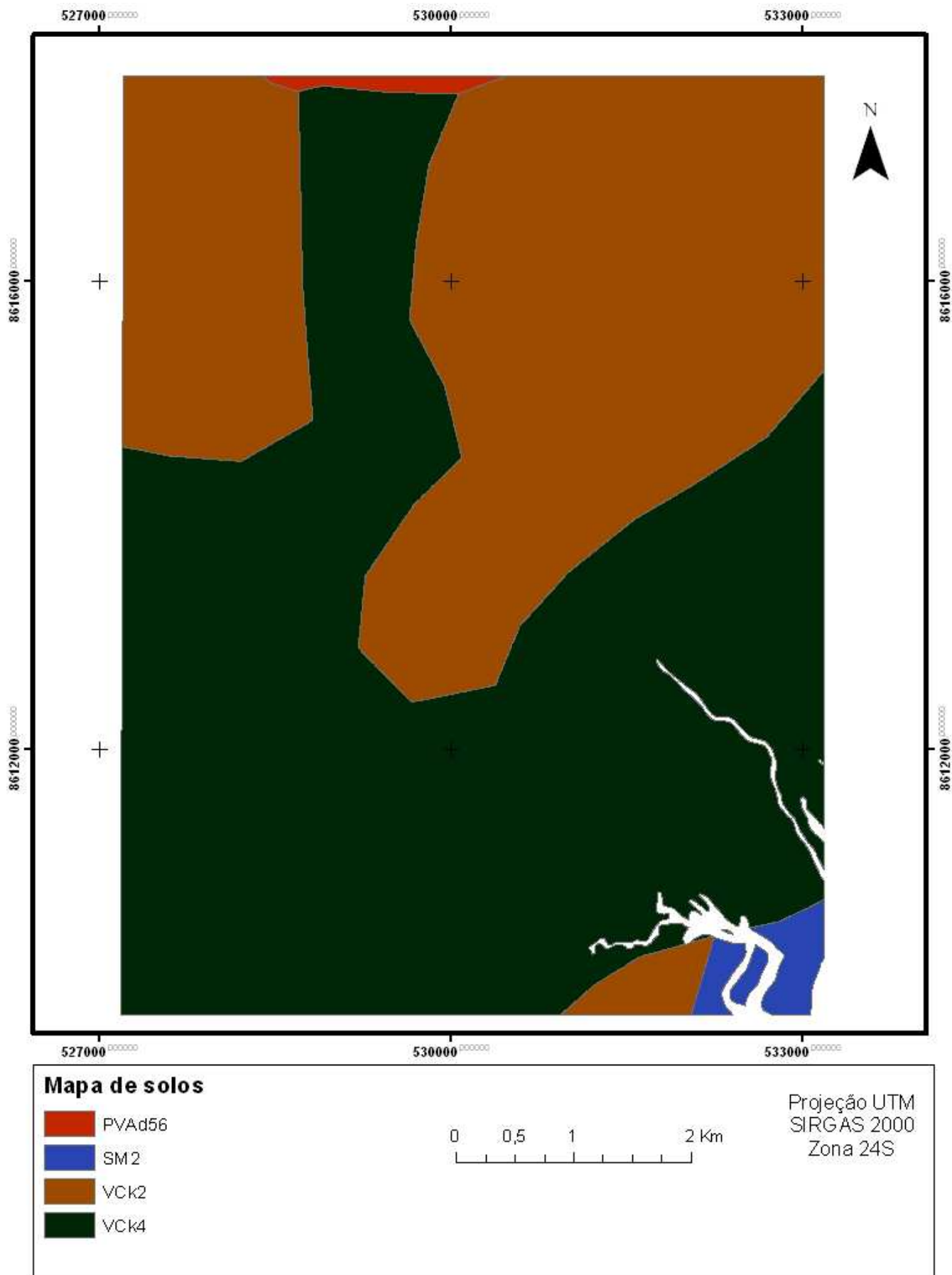


Figura 3 – Mapa de solos para a área de estudo (EMBRAPA, 1999).

4 METODOLOGIA

A área de estudo foi delimitada a partir do ponto de maior contaminação por Pb e Zn, conforme indicado pelo mapa geoquímico realizado nos arredores de Santo Amaro por Asevedo (2012). Esta área corresponde a um retângulo de 8 por 6 km. A justificativa para tal delimitação seguiu critério que foram definidos visando minimizar o erro na estimativa de perda de solos e metais, uma vez que, quanto menor for a área para utilização da EUPS, maior pode ser o controle dos dados a serem utilizados. Por isto não utilizou-se a bacia do Rio Subaé por completa, pois exigiria uma quantidade de dados muitas vezes indisponível. Outra justificativa baseou-se na utilização da carta topográfica de Santo Amaro (Folha Santo Amaro SD.24-X-A-IV-2-NO MI 1958/2-NO), cedida pela CONDER, na escala de 1:25.000, que detalhe a área rural próxima à Santo Amaro.

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes aplicativos: SIG ArcGIS , versão 10; SUFER 8.0, Software Excel 2007; Mapa de Uso e Cobertura do Solo; Mapa de tipos de solo (Embrapa, 1999); carta topográfica de Santo Amaro nº 48, em escala 1: 25.000, editadas pelo IBGE (1971); imagens de satélites, dados do SRTM; série histórica de precipitação, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) – Hidroweb, referente ao período de 1998 a 2011. Os aplicativos, imagens e instrumentos supracitados foram disponibilizados pela UFRB e pela CONDER.

Neste trabalho foram utilizados dados do SRTM, que foi usado para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDEs). A carta topográfica foi utilizada para a geração do Modelo Digital do Terreno, e confecção dos dados para utilização no fator topográfico da EUPS.

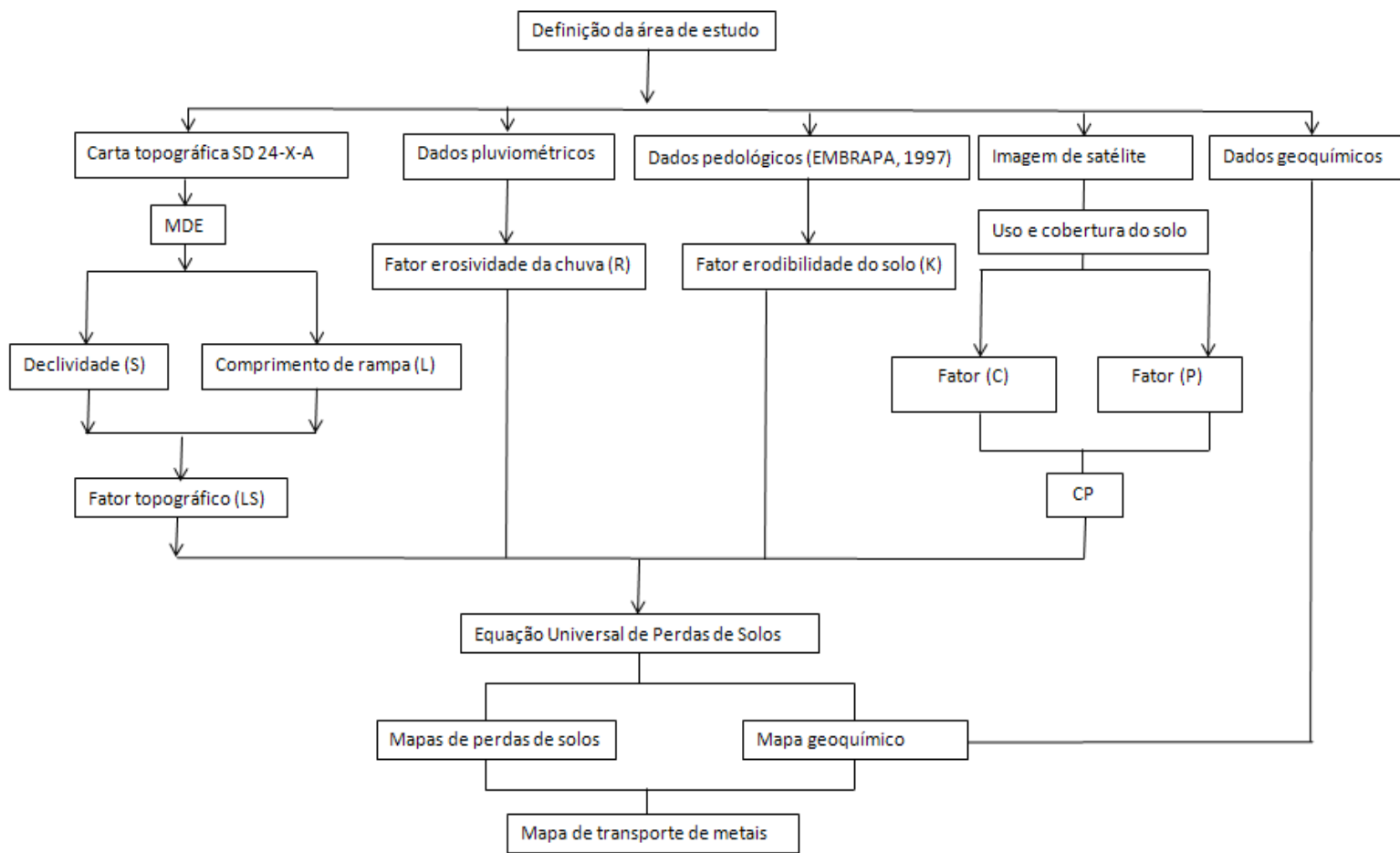


Figura 4 – Fluxograma da metodologia aplicada.

4.1 Comparação entre a Carta Santo Amaro e o SRTM

Visando a comparação entre o MDE gerado a partir dos dados SRTM e do MDT da Carta Topográfica Santo Amaro, procedeu-se a digitalização da Carta Santo Amaro de forma manual no ArcGis, para a área delimitada conforme o parágrafo anterior, e a utilização de pontos cotados, para posterior interpolação, gerando assim o Modelo Digital do Terreno.

Esta etapa do estudo baseou-se inicialmente na obtenção dos produtos cartográficos necessários – Carta Santo Amaro, escala 1:25.000. A carta foi adquirida na sede da CONDER, em meio digital, modelo raster, e posteriormente georreferenciada com os parâmetros constantes na própria carta (Datum Vertical: SIRGAS 2000, Zona 24S) e vetorizada por meio do

módulo Arcscan, disponível na plataforma do aplicativo ArcGIS. A vetorização utilizada foi desenvolvida de forma manual.

Paralelamente, foi realizada a obtenção dos dados SRTM, a partir do site da NASA referente à região de Santo Amaro, a qual possuía Datum Vertical: WGS 84. O datum do dado SRTM foi convertido para SIRGAS 2000, Zona 24S, de forma a uniformizar os dados utilizados, reduzindo distorções entre o mesmo ponto nas duas representações.

Salienta-se que o MDE da missão SRTM, utilizado nesse estudo é do SRTM 3, devido ao fato de os dados terem sido obtidos por meio de um MDE interferométrico de grade de 3 arcos-segundo por 3 arcos-segundo (90 m x 90 m) e não SRTM, pois este se refere ao DEM de elevada resolução espacial com grade de 1 arco-segundo por 1 arco-segundo (30 m x 30 m) de uso restrito e não avaliado no presente estudo.

Posteriormente à vetorização das curvas de nível da carta topográfica, foi gerado o modelo “TIN – Triangular Irregular Network”, utilizando-se as ferramentas do módulo “Spatial Analyst” do aplicativo ArcGIS, e a seguir, gerado o MDT – Modelo Digital do Terreno.

Seguindo os procedimentos metodológicos, foram selecionados todos os pontos cotados da Carta Santo Amaro (161 pontos cotados), por meio de ferramenta de seleção disponível do aplicativo ArcGIS, para a interpolação com base nas curvas de nível.

Foram definidos, de forma aleatória, como amostra mínima, 10 (dez) pontos de controle, para avaliação da precisão entre os dois modelos, o SRTM e a Carta Santo Amaro. Na sequência foram obtidos da Carta Santo Amaro as coordenadas e os valores altimétricos que foram utilizados para avaliação dos dados SRTM e da Carta Santo Amaro.

4.2 Determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE utilizado para comparação com o MDT da carta, possui uma resolução espacial de 45x45 m, obtido gratuitamente do site da NASA e processado através do aplicativo ArcGIS 10. Para a geração da área de drenagem e da hidrografia da bacia hidrográfica do rio Subaé foi necessário o auxílio das ferramentas Spatial Analyst (Hidrology ->Watershed) do software ArcGIS 10, do MDE da bacia hidrográfica e das cartas topográficas da região como referência no processo de georreferenciamento, sendo estas editadas pelo IBGE (1971). A partir da carta topográfica foi gerado o MDT da área de estudo, sendo este utilizado para a modelagem dos processos erosivos.

4.3 Mapa de Declividades

O mapa de declividade foi derivado do MDE. Dentro do programa ArcGIS 10, no módulo Analyst Spatial Tools, Surface, foi escolhida a opção Slope. A declividade é dada, por default, em graus. A carta resultante varia de 0 a 90°. Como 45° corresponde a 100% de declividade, a carta foi reclassificada (comando Reclassify, Spatial Analyst) nos seis intervalos citados no parágrafo a seguir.

As classes de declividade normalmente são subdivididas segundo critérios de declividade, forma de terreno, altura relativa das elevações e tipo e comprimento das vertentes com o objetivo principal de fornecer subsídios ao estabelecimento dos graus de limitação com relação ao emprego de implementos agrícolas e à suscetibilidade à erosão. O critério para adoção das seis classes de declive (0 – 3, 3 – 8, 8 – 20, 20 – 45, 45 – 75, e maior que 75 %) para esta pesquisa considerou os tipos de relevo e as associações com as diferentes classes de solos que ocorrem na área de estudo (RIBEIRO, 2006).

4.4 Análise das Perdas de Solo por Erosão

Para esta etapa foi utilizado a EUPS (WISCHMEIER e SMITH, 1978), que compreende os seguintes parâmetros (Equação 3):

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Equação 3

onde:

A é a perda de solo acumulada por unidade de área ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R é o fator de erosividade da chuva e representa o índice de erosão pela chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

K corresponde ao fator erodibilidade do solo e indica a intensidade da erosão por unidade de índice de erosão da chuva ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

L é o fator comprimento de rampa (m);

S é o fator inclinação da encosta (porcentagem);

C é o fator uso e manejo do solo (adimensional);

P é o fator prática conservacionista (adimensional).

Fator R: erosividade das chuvas

Para este estudo utilizou-se os dados pluviométricos da SUDENE, com uma série de 12 anos, obtidos em instrumentos localizados na própria área de estudo. Optou-se pela série pluviométrica de janeiro de 1999 a dezembro de 2011, obtida no site da SUDENE, uma vez que para anos anteriores não existiam dados completos.

Estes dados foram trabalhados no aplicativo Excel 2007, calculando-se as precipitações médias mensais e anuais e determinando-se os valores da

erosividade da região utilizando a equação 5, sendo que o valor anual foi determinado pela soma dos doze valores mensais.

Neste trabalho o valor de R calculado foi considerado constante, por isto foi adotado um único valor de R para toda a área, a exemplo do que vem sendo feito em alguns trabalhos como o proposto por Cavalcanti e Teixeira (2005), que aplicam a USLE em áreas que não comportam variações climáticas significativas. Para o cálculo do fator R, da pluviometria erosiva anual média (Pea) e do número médio anual de chuvas erosivas (N), foi utilizado as equações proposta por Leprun (1983).

$$R = 0,05Pa^{1,29} \quad \text{Equação 4}$$

R – Erosividade da chuva

Pa – Pluviometria total anual média

$$Pea = 0,82Pa - 47,16 \quad \text{Equação 5}$$

Pea - Pluviometria erosiva anual média

Pa – Pluviometria total anual média

$$N = 0,021Pa + 5,54 \quad \text{Equação 6}$$

N - Número médio anual de chuvas erosivas

Pa – Pluviometria total anual média

Fator K: erodibilidade do solo

Para Lal (1988) e Morgan (1995) a erodibilidade representa o efeito integrado de processos que regulamentam a infiltração de água e a resistência de um corpo de solo à desagregação. Para a obtenção do Fator K neste estudo foi preciso do mapa de tipo de solo (EMBRAPA, 1999), que utilizou de informações obtidas do levantamento pedológico da região estudada, Folhas topográficas de Santo Amaro, em escala 1:25.000, editadas pelo IBGE (1971).

No cálculo da erodibilidade foram utilizadas as informações dos parâmetros físico-químicos das classes de solos presentes na área de estudo obtidas em Asevedo (2012) para leitura do valor de K no nomograma de Wischmeier et al. (1971) (Figura 5).

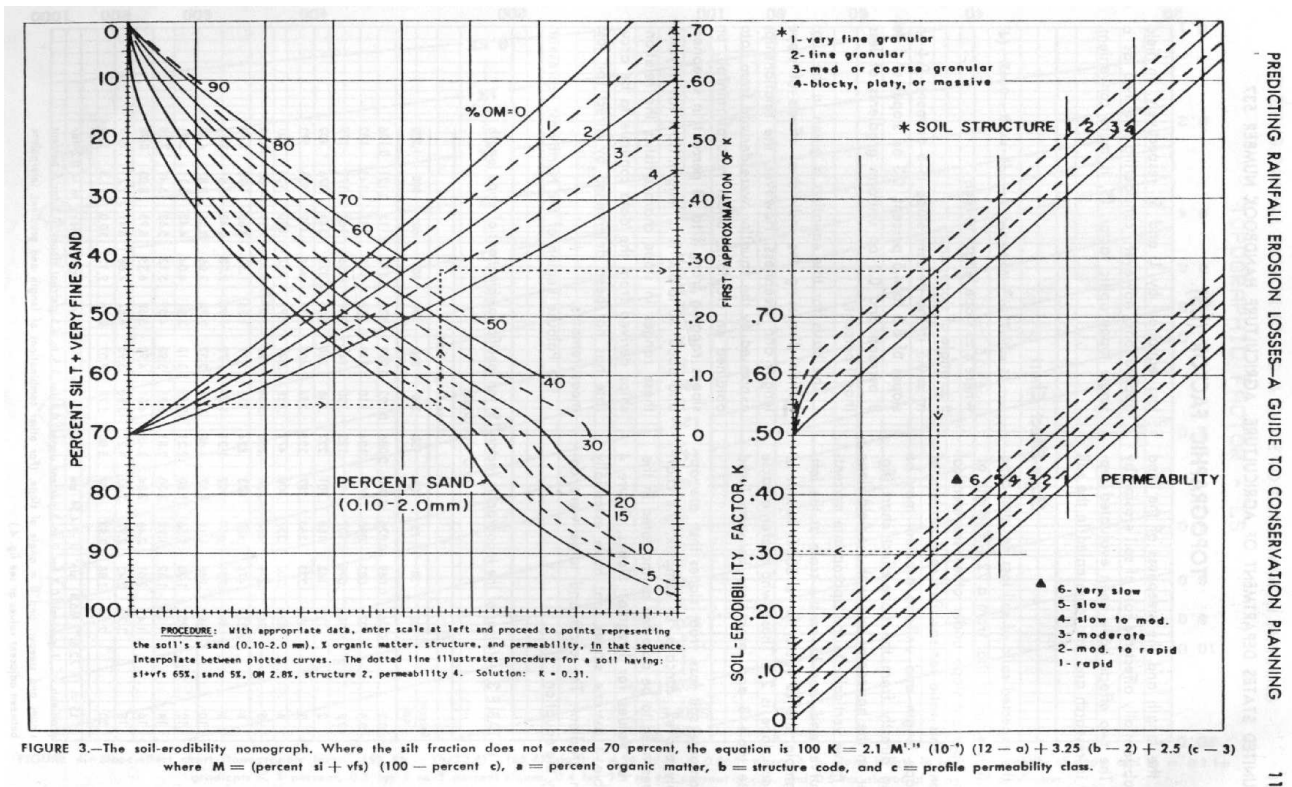


FIGURE 3.—The soil-erodibility nomograph. Where the silt fraction does not exceed 70 percent, the equation is $100 K = 2.1 M^{1.1} (10^{-4}) (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)$ where $M = (\text{percent si} + \text{vfs}) (100 - \text{percent c})$, $a = \text{percent organic matter}$, $b = \text{structure code}$, and $c = \text{profile permeability class}$.

Figura 5 - Nomograma para determinação do fator de erodibilidade do solo (WISCHMEIER et al., 1971).

Fator LS: fatores topográficos

Utilizando o MDT e com o auxílio da extensão Spatial Analyst, via comando Slope do aplicativo ArcGIS 10, gerou-se a declividade da área de estudo. Para este estudo o cálculo da direção de fluxo foi feito com o auxílio da extensão Spatial Analyst, via comando Aspect do software ArcGIS 10, fornecendo o mapa de direção de fluxo da área de estudo.

Os mapas de declividade e direção de fluxo foram reclassificados e combinados de modo a gerar o mapa de comprimento de rampas, de onde foram extraídos os valores de declividade média de rampa e de altura de rampa a partir do mapa de declividade e do MDT, respectivamente.

Os mapas de declividade e comprimento de rampa foram integrados através da Equação 2 para gerar o mapa do fator LS.

Fator C: uso e manejo do solo

Para a obtenção do fator C foi realizado o mapeamento da cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Subaé, a partir de uma composição colorida elaborada através da imagem do satélite Indiano Resourcesat – 1 Sensor LISS 3, de Novembro de 2010.

Na área em estudo, inicialmente foi elaborado o mapa de uso atual do solo, empregando a imagem de satélite Indiano Resourcesat – 1 Sensor LISS 3,. Para a classificação supervisionada da imagem, utilizou-se a composição colorida. Primeiramente procedeu-se a interpretação visual preliminar da imagem, com identificação das diferentes classes de uso da terra ocorrentes na área de estudo. Desta forma, baseado no reconhecimento de padrões representativos de uso da terra, identificados no campo, definiram-se as classes de uso da terra, recebendo valores da variável C: Bambu, Mangue, Urbano, Água, Solo exposto, Floresta, Floresta Secundária, Agricultura, Pasto. A classificação final das imagens se baseou no método supervisionado, utilizando-se o classificador por máxima verossimilhança (CANDIDO, 2008).

Fator P: práticas conservacionistas

O fator P foi classificado considerando-se que áreas com algum tipo de prática conservacionista tivessem valor de $P = 0,5$ e áreas sem medidas conservacionistas valor de $P = 1,0$ (RIBEIRO, 2006).

Mapa de Perdas de Solo por Erosão

Uma vez modelados os fatores da EUPS para as características físicas e antrópicas da área de estudo, eles foram integrados segundo a Equação 4 na Raster Calculator. Assim, definiu-se o mapa de perda de solo por erosão.

4.5 Mapa de transporte de metais por erosão hídrica

A estimativa do transporte de metais através da erosão hídrica foi realizada, por meio da elaboração dos mapas geoquímicos para a área de estudo. Tais mapas foram confeccionados utilizando dados da análise de amostras de solos (ASEVEDO, 2012), através do processo de krigagem no aplicativo ArcGis 10 da ESRI. Após serem gerados estes foram cruzados com o mapa de perda de solos, utilizando a ferramenta de álgebra de mapas no ArcGis 10 da ESRI.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Carta Topográfica X SRTM

Foram selecionadas as amostras mínimas (10 pontos de controle) na Carta Santo Amaro, e no SRTM. Após, calculou-se a média e o desvio padrão para as amostras, conforme pode ser visto no Tabela 1.

Tabela 1- Estatística básica das amostras da carta topográfica e do SRTM.

Fonte de dados	Média (m)	SD
CARTA	2,86	2,21
SRTM	16,16	30,25

Pode-se notar, a partir dos desvios-padrão, que as amostras do SRTM apresentam maior variabilidade em torno da média do que as amostras da carta.

Salienta-se, porém, que o valor médio obtido para o SRTM é superior a 16 metros quando comparado à média da carta.

Os estudos e análises desenvolvidos por diversos autores, entre os quais destacamos Heipke et al. (2002), Rao (2004), indicam que podem ser atingidas precisões melhores do que as estimadas antes do início da missão SRTM. Heipke et al. (2002) estimam em até 6 metros o erro vertical. Para atingir tais metas, os dados devem ser processados a fim de se eliminar imperfeições do sistema, tais como valores espúrios próximos ao litoral e alguns vazios no continente, referentes a áreas de sombra, além da dispersão do sinal em superfícies com água.

Rao (2004), em experimentos de campo, encontrou erros menores que 5 metros na vertical e de 2 a 3 pixels na horizontal, o que chama a atenção para a necessidade de validação também para a possibilidade de deslocamentos dos dados.

Os resultados obtidos por Barros et al. (2005) chamam a atenção dos usuários quanto ao uso dos dados SRTM, indicando que os mesmos não devem ser efetuados de maneira indiscriminada, em razão das imperfeições por eles apresentadas em trabalhos que exigem precisão e rigor altimétrico.

Da avaliação proposta entre os dados SRTM e MDT, gerados a partir de uma carta, Santos et al. (2006) concluíram que o MDE gerado a partir do SRTM apresentou melhores resultados altimétricos quando comparado ao MDT gerado a partir da carta para a escala de 1:100.000. O MDE do SRTM, na comparação com o conjunto de pontos de controle estático, apresentou um índice de acerto de 100 % em relação à tolerância vertical.

Valeriano et al. (2008), ao estudarem a morfometria de pequenas bacias de drenagem na Amazônia, propõem uma metodologia para a reamostragem dos modelos SRTM baseada na interpolação por krigagem. A krigagem é uma técnica geoestatística utilizada para interpolar o valor de uma variável (p.ex., elevação) em pontos não amostrados a partir dos valores de pontos amostrados próximos. A influência que cada valor original exerce sobre o valor interpolado é determinada pela função variograma. O gráfico do variograma (ou semi-variograma) para superfícies com variações suaves, tais como a superfície do nível freático ou da topografia, geralmente pode ser ajustado a

um modelo Gaussiano, que apresenta uma região de baixa inclinação próxima da origem (BURROUGH, 1987).

5.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)

A área de estudo apresenta variações geomorfológicas que vão desde pequenas montanhas (150 m) a planícies (de 0 a 5 m de altitude), passando por colinas e tabuleiros.

A altitude máxima da área extraída do MDE foi de 150 m e a mínima de 1 m. A classe de elevação que abrange maior área é a classe de elevação entre 0 e 5 m. No entanto, uma boa parte da área possui classes de elevação que vai variando de 75 a 150 m, o que contribui muito para a ocorrência da erosão hídrica.

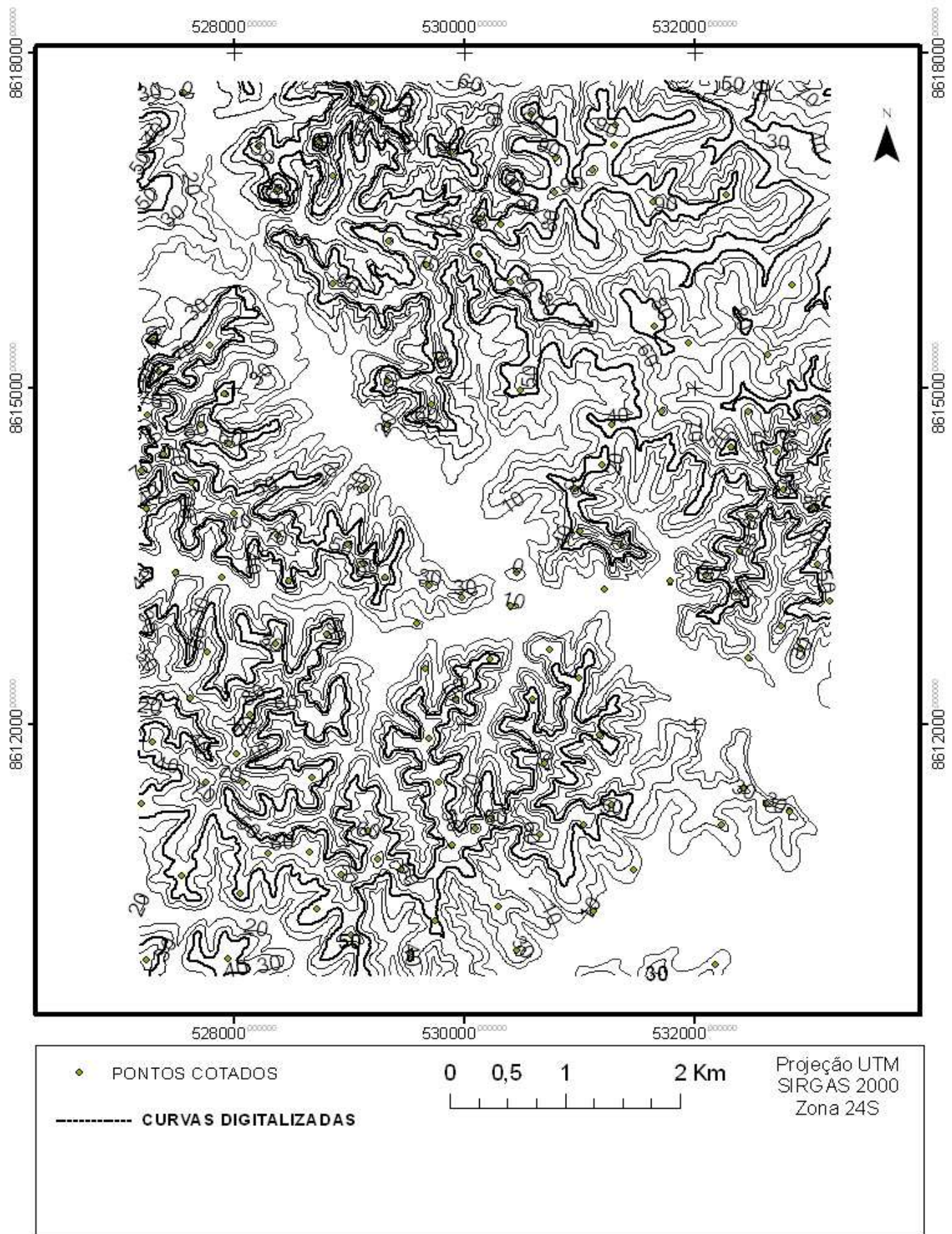


Figura 6 – Pontos cotados e curvas de nível vetorizadas, a partir da Carta Santo Amaro SD.24-X-A-IV-2-NO MI 1958/2-NO.

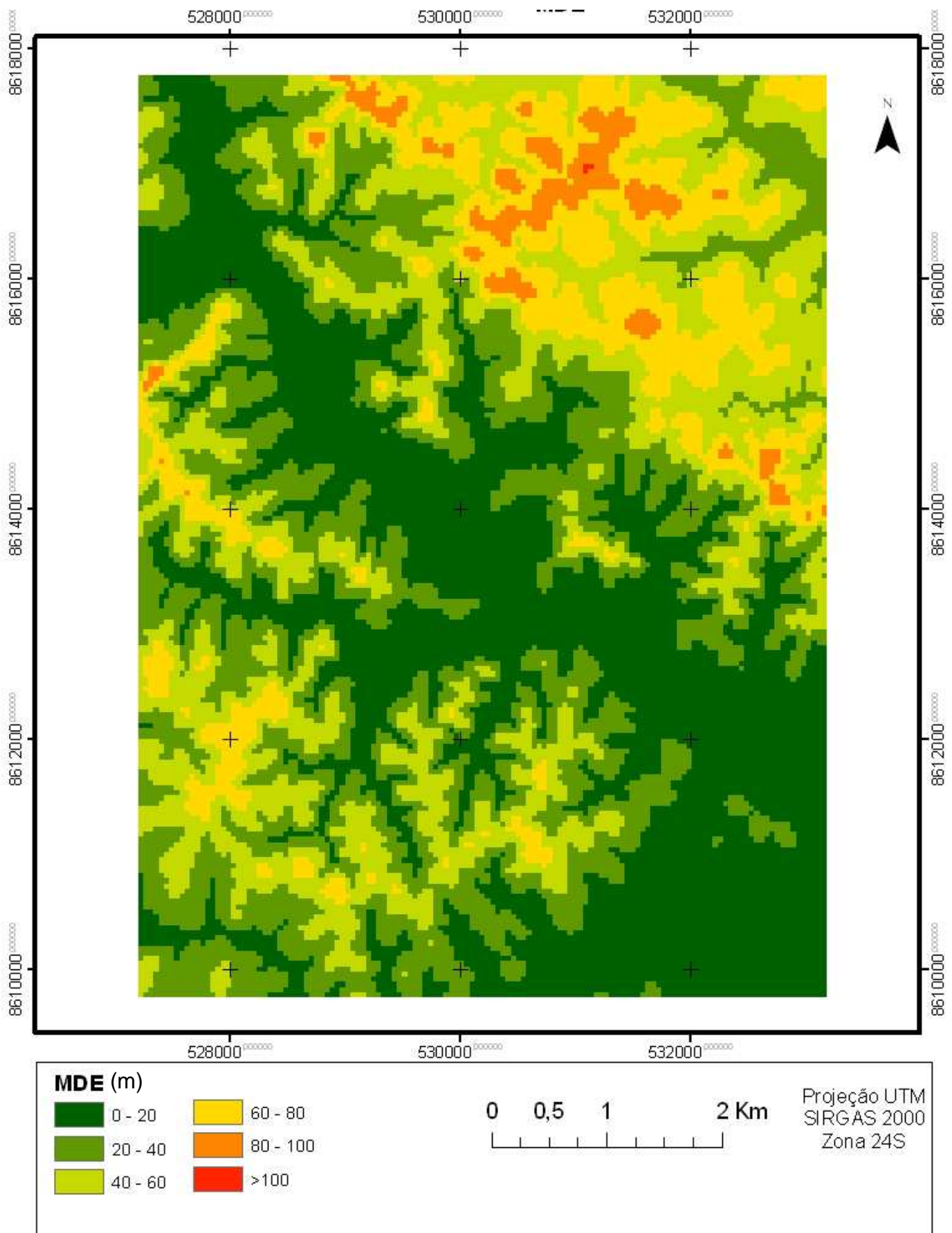


Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da área de estudo.

5.3 Mapa de Declividade e Comprimento de Rampa

A classe de maior abrangência foi a de 20 a 45% de declive, equivalendo a 49,4% do total (Tabela 2), o que está completamente de acordo com a morfologia da área. Isso a caracterizou como relevo forte ondulado. A classe de declives de 0 a 3% foi a segunda de maior ocorrência (21,22%). Nela está inserido o relevo plano figura 8.

A classe de 45 a 75% ocorreu de forma insignificante (apenas 0,04% do total) quando comparada com as demais classes. Na área de estudo não ocorreu a classe de declive maior que 75%, que corresponde ao relevo forte montanhoso.

Tabela 2 – Classificação da área de estudo quanto ao relevo.

Declividade (%)	Discriminação	Área (%)
0-3	Relevo plano	21,22
3-8	Relevo suave ondulado	16,12
8-20	Relevo ondulado	13,22
20-45	Relevo forte ondulado	49,40
45-75	Relevo montanhoso	0,04
>75	Relevo forte montanhoso	0,00

A declividade é informação básica de topografia utilizada nas metodologias de identificação de áreas potenciais aos processos de erosão e nos sistemas de avaliação do planejamento de uso da terra (FUJIHARA, 2002).

A perda de solo inicia-se no momento em que a formação do solo se dá, isto é, quando o intemperismo age sobre a rocha-mãe liberando as primeiras partículas de regolito, o transporte e a sedimentação destas são otimizados pelo declive.

A figura 9 corresponde ao mapa de comprimento de rampa para a área de estudo. Nela pode-se observar que há um predomínio de rampas longas, o que maximiza as perdas de solos, uma vez que, quanto maior for o comprimento da vertente maior será a velocidade com que a água escoará até chegar à um determinado ponto.

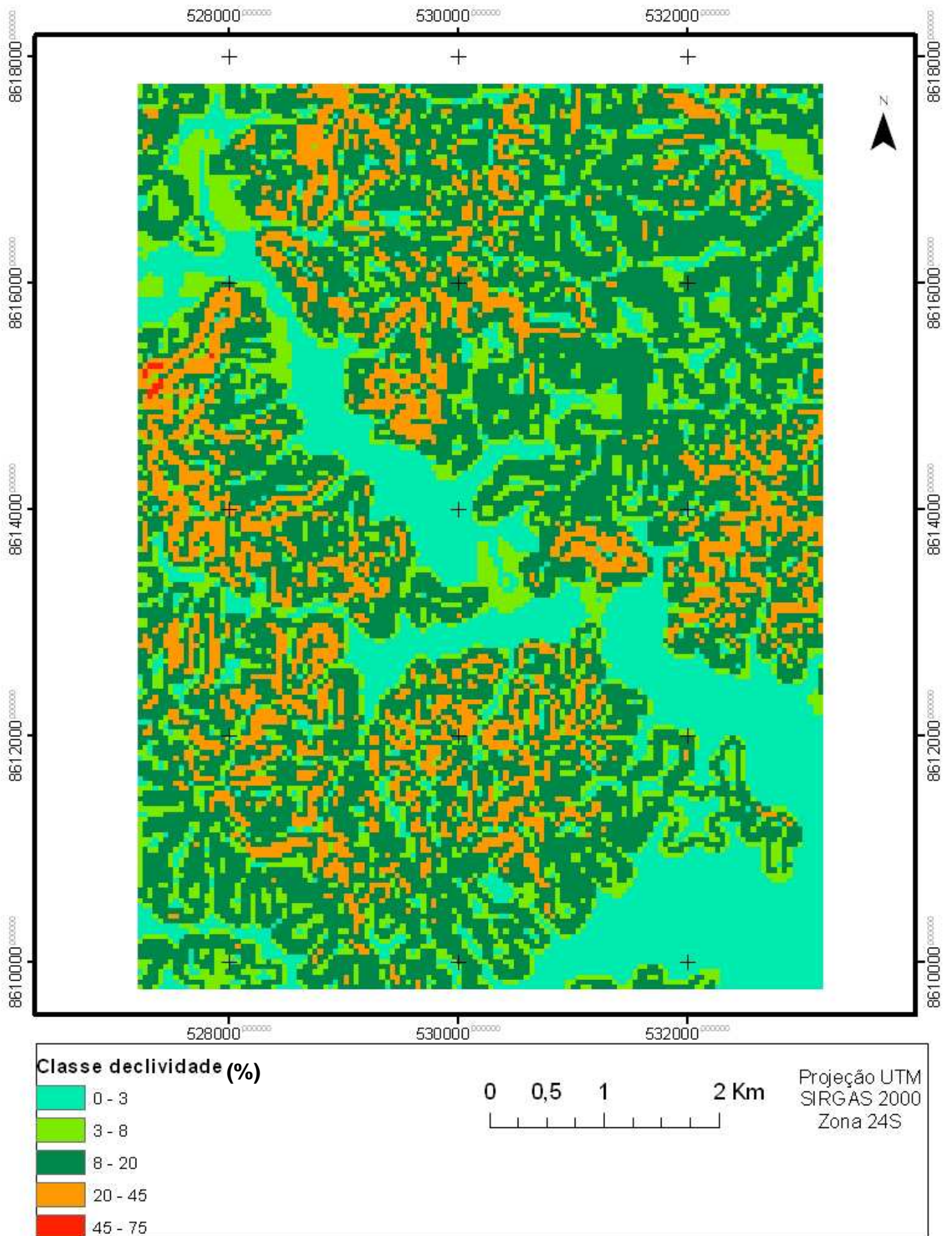


Figura 8 - Mapa de declividade da área de estudo obtido a partir do MDE.

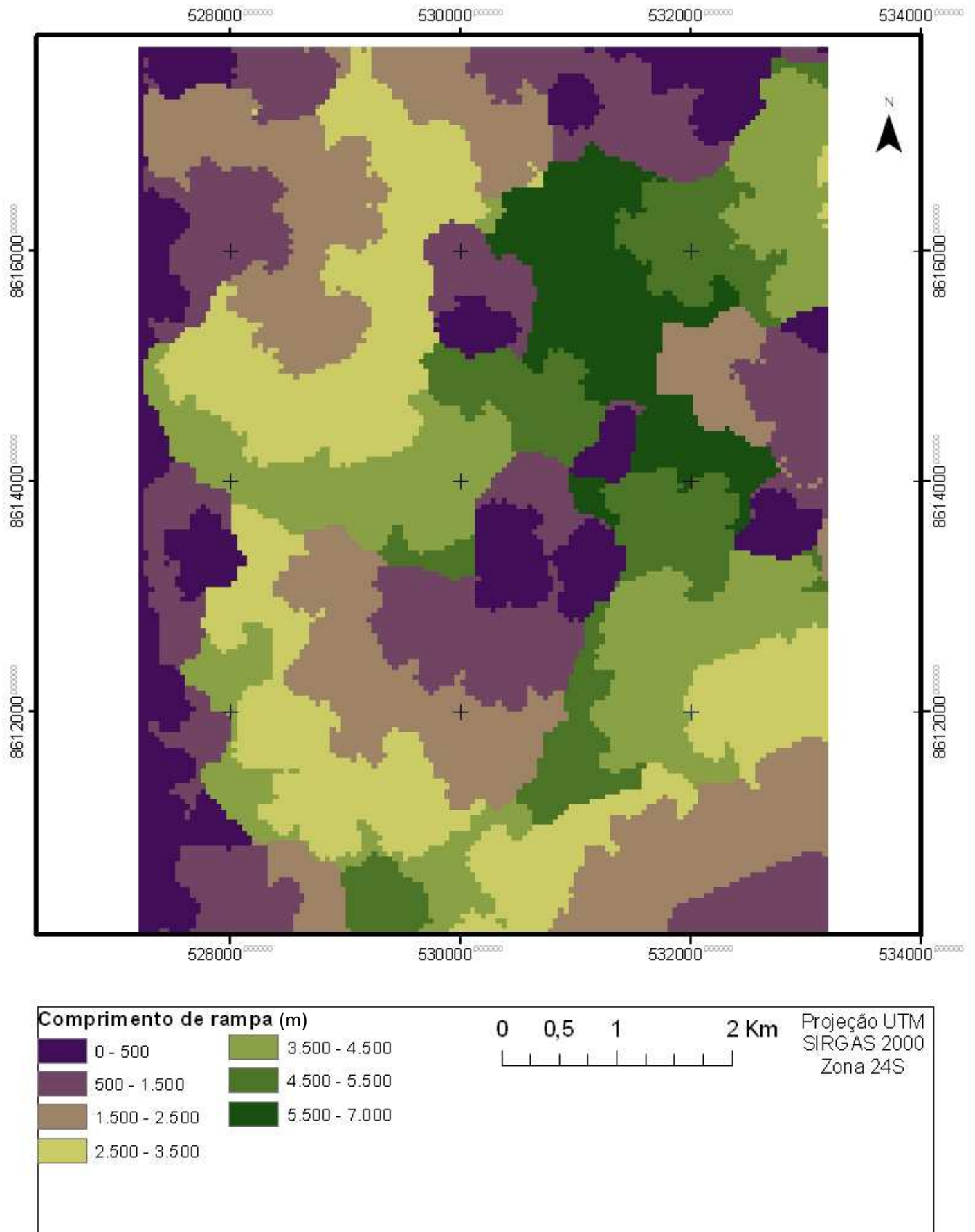
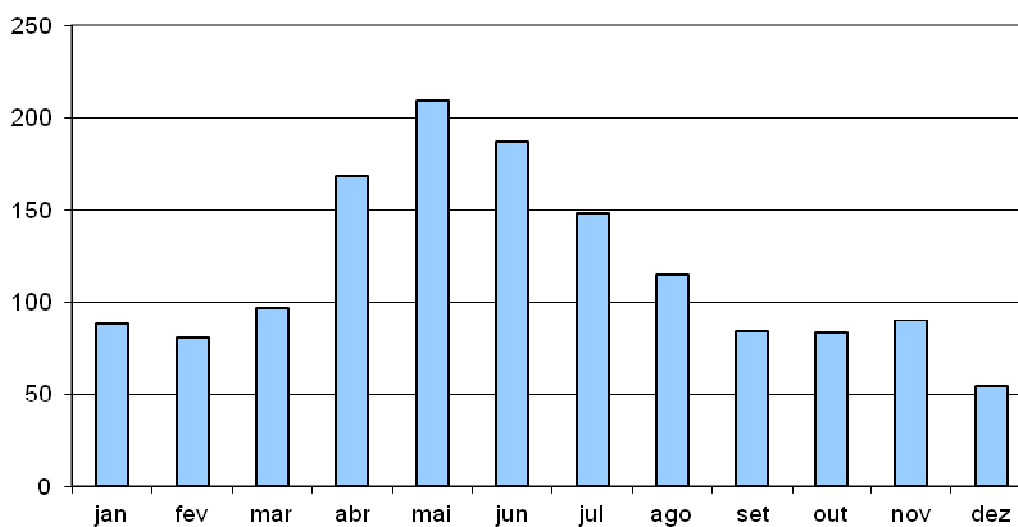


Figura 9 - Mapa de comprimento de rampas da área de estudo.

5.4 Fatores da Equação Universal de Perda de Solo

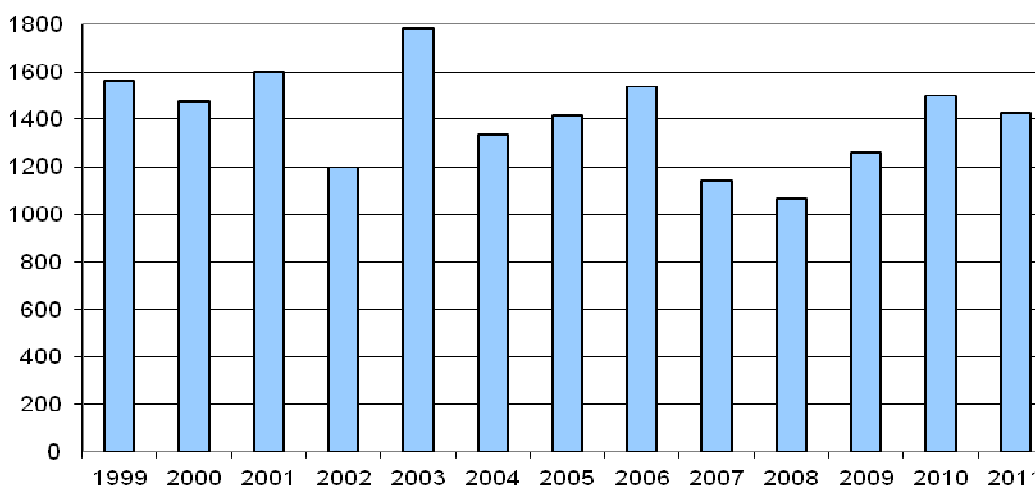
Fator R: Erosividade da Chuva

A partir das figuras 10 e 11 e da tabela 3, pode-se observar os resultados dos dados pluviométricos e de erosividade obtidos para a área em estudo. As informações sobre a pluviometria, foi obtida para um período de 12 anos, tendo como base os anos de 1999 a 2011. Este período justifica-se devido ao fato de não haver informações para anos anteriores.



Figura

10 - Precipitação média mensal em mm, para a área de estudo de 1998 a 2011.



Figura

11 - Precipitação média anual em mm, para a área de estudo.

Tabela 3 - Dados de erosividade (MJ mm ha^{-1}), para a área em estudo.

Ano	Pluviosidade (mm)	Erosividade (MJ mm ha^{-1})	Pea*	N**
1999	1560	657,7	1232	38
2000	1478	613,4	1164	37
2001	1599	678,8	1264	39
2002	1199	468,6	936	31
2003	1782	781,2	1414	43
2004	1335	538,3	1048	34
2005	1417	581,3	1115	35
2006	1539	646,3	1215	38
2007	1139	438,4	887	29
2008	1066	402,5	827	28
2009	1258	498,4	984	32
2010	1497	623,9	1181	37
2011	1426	586,0	1122	35
Média anual	1.407	576,0	1107	35

* Pea - Pluviometria erosiva anual média

** N - Número médio anual de chuvas erosivas

Com base nos gráficos, pode-se verificar que o período chuvoso, na área de estudo, concentra-se entre abril a agosto, com médias que chegam a 210 mm, enquanto que o período menos chuvoso concentra-se entre setembro a março, apresenta médias que atingem 54 mm. As médias anuais variaram entre 1066 mm, média obtida no ano de 2008, a 1782 mm, média obtida no ano de 2003.

Os valores das precipitações médias mensais e anuais obtidos a partir dos referidos dados foram, respectivamente, 117 mm e 1407 mm.

Aplicando esses valores à equação proposta por Leprun, (1983) obtém-se o seguinte resultado:

$$R = 0,05Pa^{1,29}$$

$$R = 0,05 \cdot 1407^{1,29}$$

$$R = 576 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$$

O resultado obtido, significa que cada milímetro de chuva precipitado tem um potencial de energia, para causar erosão em uma área de 1ha, equivalente a 576 MJ.

Pelos dados obtidos na tabela 3, podemos observar que os maiores índices de erosividade na região de estudo são para os anos de 1999, 2000, 2001, 2003, 2006 e 2010, ou seja, períodos em que ocorrem as maiores precipitações.

Como verificado na figura 11 os meses que mais chovem vão de abril a agosto, nesse período a perda de solo pode ser maior, devido a precipitação ser mais constante e o escoamento superficial ser bem maior em relação ao período de setembro a março. Por outro lado no período de setembro a março ocorrem precipitações de forma mais intensa, o que favorece o escoamento superficial, devido a baixa permeabilidade do solo presente na área de estudo. Por isto, áreas sem cobertura do solo em relação a áreas com cobertura do solo vão apresentar também maiores índices de escoamento superficial, e com isso podem apresentar uma maior perda de solo (LEPRUN, 1983; MELO FILHO e SOUZA, 2006).

As fortes precipitações na região provocam erosão e dispersão das argilas nas águas superficiais de escoamento, podendo levar junto grandes quantidades de poluentes nos corpos hídricos. O solo da área de estudo é constituído em sua maioria por Argissolos e por isto possui baixa permeabilidade, aumentando assim o escoamento superficial, principalmente em locais onde não existe cobertura vegetal, podendo assim aumentar as perdas de solos.

Segundo a classificação de Carvalho (1994), os valores de R podem variar de erosividade fraca ($R < 250$) a erosividade forte ($R > 1000$), pode-se afirmar que o valor obtido para a área de estudo ($R = 576$) corresponde a erosividade moderada a forte.

A partir da análise da tabela 3 é possível observar que no ano de 2003, ocorreu maior precipitação (1782 mm), com erosividade média de 781,2 MJ mm, e que desse total precipitado apenas 1414 mm pode ser considerado pluviometria erosiva (Leprun, 1983). É possível observar também que durante todo o ano de 2003 ocorreu 43 chuvas erosivas, sendo o maior número de chuva erosiva para todos os anos estudados.

Fator K: Erodibilidade do Solo

Na área de drenagem estudada da bacia hidrográfica do rio Subaé o solo que predomina é o Vertissolo (Figura 12), seguido de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico com erodibilidade maior em relação a este e por ultimo Gleissolo com erodibilidade menor que os citados anteriormente. Na Tabela 4 encontram-se os valores de erodibilidade dos solos da área estudada e sua ocorrência em área relativa.

Tabela 4 – Fator de erodibilidade para as classes de solos identificados na área do entorno da fábrica em Santo Amaro da Purificação.

Classes de solos	Fator K	Área (há)	Área relativa (%)
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico	0,040	112,43	2,3
Vertissolo	0,030	4666,40	97,1
Gleissolo	0,0040	26,26	0,5

(Wischmeier et al., 1971)

A partir dos dados obtidos com as análises químicas e físicas de amostra de solo da área de estudo (ASEVEDO, 2012), foi calculado os valores referentes a erodibilidade do solo a partir do nomograma de Wischmeier et al., 1971 (Figura 6).

A distribuição do solo segundo sua erodibilidade diz muito sobre a área de estudo. Sparovek (1998) ao diagnosticar o uso e aptidão das terras agrícolas do município de Piracicaba estudando 47 microbacias, concluíram que a alta ocorrência do Argissolo Vermelho Amarelo, cerca de 41,6% do total da área, tornaram a área estudada altamente suscetível à erosão. Do total dos solos, 97,1% são de Vertissolo, com fator K igual a 0,030. A segunda maior ocorrência é de Argissolo, cujo fator K é 0,047, e corresponde a 2,3% da área.

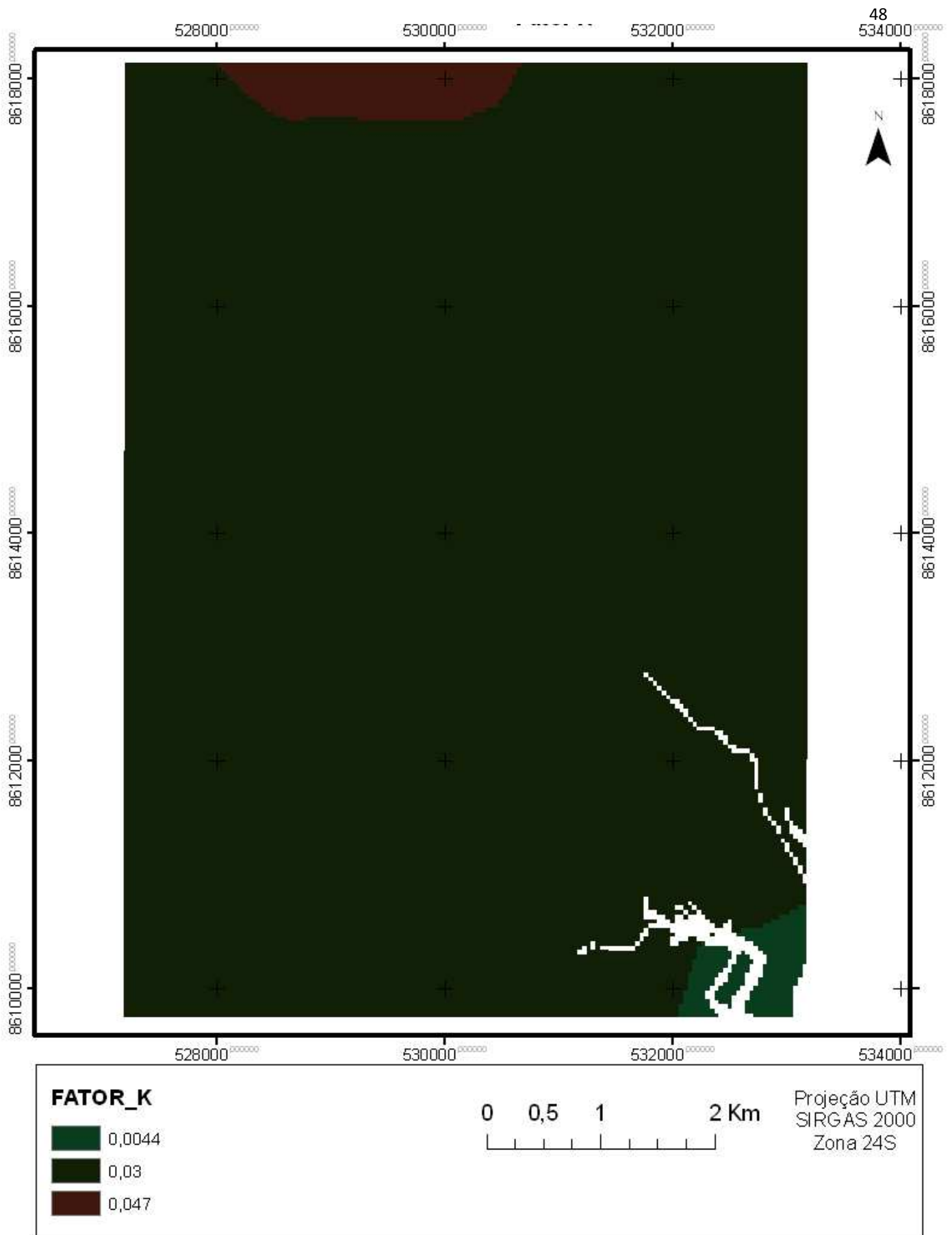


Figura 12 - Mapa do fator erodibilidade do solo (fator K) da Equação Universal de Perdas de Solos para a área de estudo.

Fator LS: Fator Topográfico

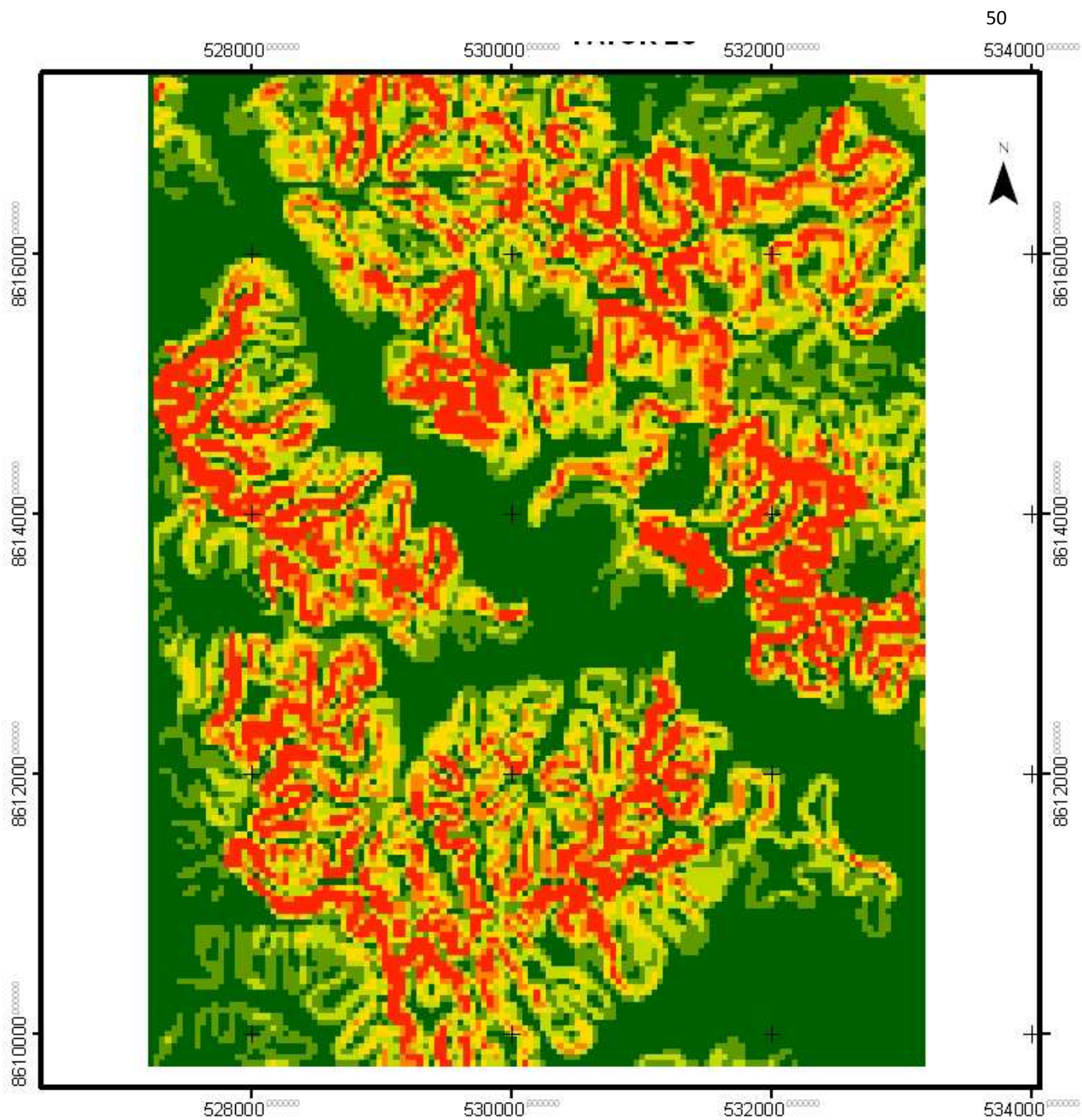
O mapa de declividade (Figura 8) foi dividido em cinco classes. A primeira classe varia de 0% a 3%, a segunda de 3% a 8%, a terceira de 8% a 20%, a quarta de 20% a 45% e a quinta de 45% a 75%. Declividades entre 0% e 10%, predominam na área de estudo, refletindo o relevo plano da região. Declividades acima de 10% ocorrem às margens do Rio Subaé.

Na Figura 9 são apresentados os valores encontrados para o comprimento de rampas da bacia do Rio Subaé, sendo estes de 0 a 6823 m, bem distribuídos na bacia.

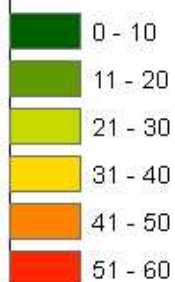
O mapa do fator LS (figura13) revelou que grandes comprimentos de rampa em declividades elevadas resultaram em altos valores de LS. Considerando que na equação os valores da variável comprimento de rampa diminuem ao serem elevados a um expoente menor que a unidade enquanto os valores da variável declividade aumentam porque seu expoente é 18% maior que a unidade, com isto segundo Jacques (1997) a forma da declividade é mais preservada que a do comprimento de rampa. Logo, as rampas situadas nos maiores declives apresentaram fator LS maior.

Na área de estudo é comum encontrarmos extensas áreas com relevo cuja declividade é baixa, mas com comprimentos de rampa longos. Era de se esperar este comportamento do mapa LS: rampas com valores mínimos no relevo de planície, valores intermediários no tabuleiro e valores máximos nas áreas fortemente onduladas.

O efeito da variação do fator LS sobre as taxas de perda de solo é mais acentuado que o efeito da variação dos outros fatores, até mesmo o fator K, pois se o solo é muito erodível, mas situa-se na paisagem em declive suave, a perda por erosão será menor do que se ele estivesse em declive acentuado.



FATOR LS



Projeção UTM
SIRGAS 2000
Zona 24S

Figura 13 - Mapa do fator topográfico (fator LS) da Equação Universal obtido para a área de estudo.

Fator CP: Fator Antrópico (CP)

Este ponto tem o objetivo de ilustrar a distribuição espacial dos fatores (CP) na área de estudo. Os dois fatores foram considerados juntos, pois são tratados individualmente somente quando se buscam formas mais adequadas de produção agrícola conservacionista (PARANHOS FILHO et. al. 2003).

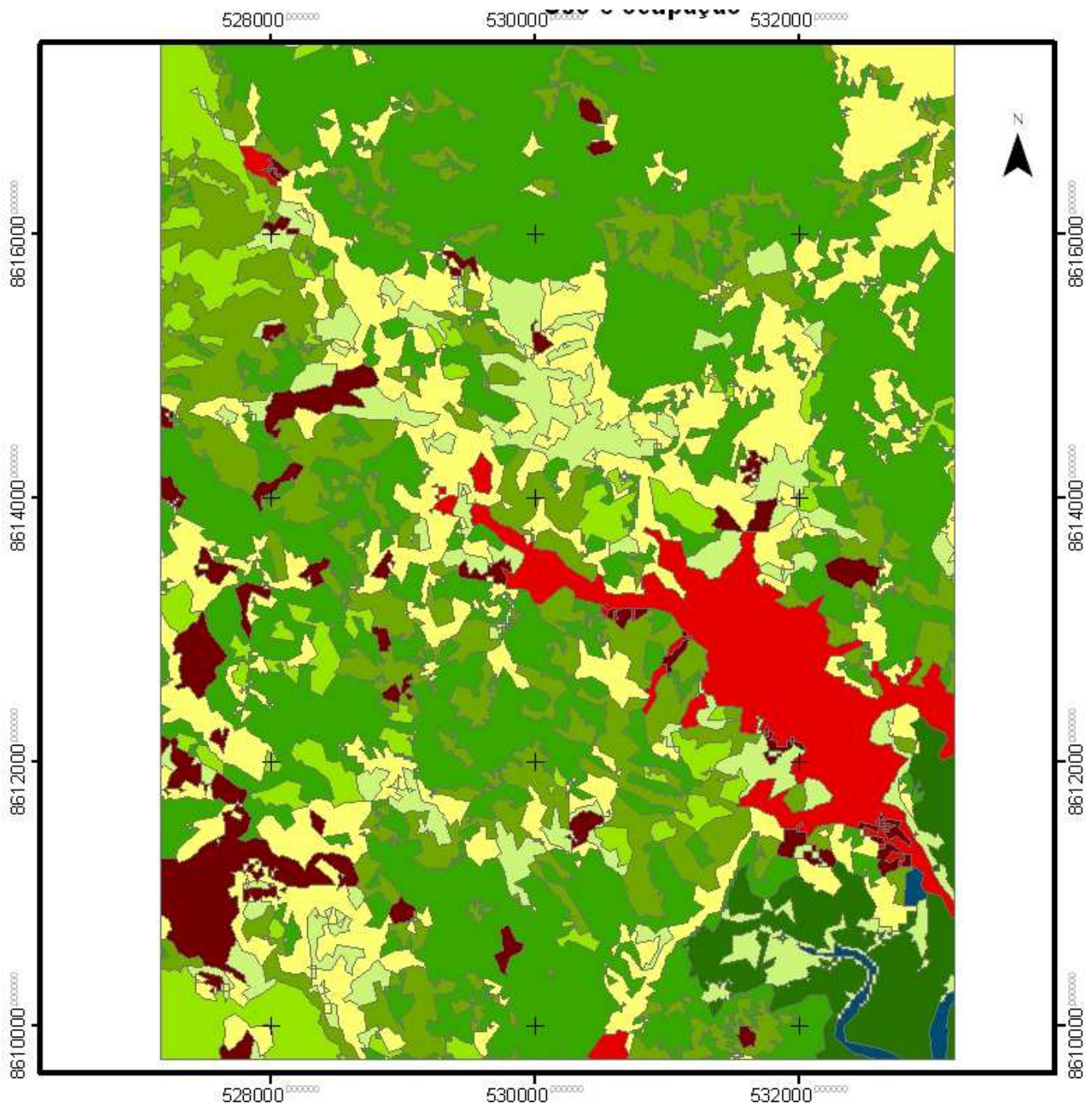
Com a composição colorida devidamente georreferenciada e os pontos de verdade terrestre, foi realizada a classificação supervisionada. Na Tabela 5 são mostrados os resultados de uso e cobertura do solo, encontrados para a área de estudo bem como os valores de CP, área em hectare e área relativa em porcentagem.

Tabela 5 - Valores de CP para cada uso.

Uso	Área total	Área relativa (%)	CP
Bambu	291,99	6,19	0,0030
Mangue	172,77	3,66	0,0001
Urbano	267,22	5,67	0,000
Água	18,48	0,39	0,000
Solo exposto	206,69	4,38	1,000
Floresta	1877,74	39,83	0,001
Floresta Secundária	763,53	16,20	0,180
Agricultura	851,78	18,07	0,100
Pasto	264,09	5,60	0,025

Em termos percentuais, o maior valor de CP (0,180) ocorreu em 16,20% da área, cujo uso é destinado a floresta secundária. Nesta área, foi aplicado fator P igual a 0,5 considerando que há alguma medida conservacionista nesta forma de vegetação. O menor valor de CP foi 0,0001, adotado para área de mangue, correspondendo a 3,66% da área.

A falta de práticas conservacionistas em toda a área tende a aumentar e intensificar a erosão uma vez que deixa a superfície do solo exposta à ação erosiva natural e/ou antrópica. Nestas classes, a única proteção que o solo terá será por conta do porte da cobertura.



USO E OCUPAÇÃO

	Floresta		Mangue
	Pastagem		Solo exposto
	Agricultura		Urbano
	Bambu		Água
	Floresta secundaria		

0 0,5 1 2 Km

Projeção UTM
SIRGAS 2000
Zona 24S

Figura 14 - Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo obtido a partir da análise da imagem LISS 2010.

5.5 Cenários de Perda de Solo

A quantificação do potencial de perdas anuais de solo no município de Santo Amaro é visualizada na Figura 15. Ela traduz o resultado da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (Equação 5).

O mapa de potencial de perdas de solo foi reclassificado em 7 intervalos de valores definidos para esta pesquisa e vistos na Tabela 6. Como base, foram tomados os trabalhos de Jacques (1997), Alves (2005) e Ribeiro (2006) .

Estimou-se que 43,6% da área apresentariam perdas de solo entre 100 e 500 t ano⁻¹, o que caracterizou as perdas de solo na área de estudo como predominantemente moderada a forte e equivaleu a 2050,9 ha. É possível visualizar na figura 15 que a distribuição espacial desta classe foi bastante contínua. Notou-se também que as classes de perdas muito baixa (1 a 10 t ano⁻¹), baixa a moderada (10 a 50 t ano⁻¹) e forte (500 a 1000 t ano⁻¹) mostraram-se espacialmente representativas, com 13,4%,10,5% e 18,0% de área relativa cada uma, correspondendo a 632,4 ha, 494,0 ha e 845,2 ha. As perdas de solo classificadas como baixa e muito forte (1 a 10 t ano⁻¹ e 1.000 a 5.000 t ano⁻¹, respectivamente), embora pouco representativas somaram 6,1% do total da área relativa (288,5 ha).

De uma maneira geral, verificou-se que as maiores perdas de solo nos arredores de Santo Amaro estão diretamente relacionadas ao fator topográfico. De fato as áreas do centro-oeste e do centro-leste, onde o valor do fator LS é elevado, apresentam grandes perdas potenciais de solo. Na área nordeste, o fator predominante na erosão do solo foi o comprimento de rampa (figura 10) pois o terreno é pouco declive; neste caso, rampas compridas leva a aceleração da água e aumento da erosão. Embora Zhou et al. (2008) afirmam que entre os fatores que afetam a erosão do solo, o fator uso e manejo do solo e o fator topográfico são os mais importantes, observou-se que na área de estudo os solos expostos ou utilizados para agricultura não são suscetíveis a maiores taxas de erosão (sudoeste e centro-norte, figura 15), ou seja, a mudança da cobertura vegetal não resulta em variação de perdas do solo. A altitude da região também não leva a aumento da erosão (área norte, figura 8), ou que poderia ser previsível devido à maior energia potencial dos rios.

Tabela 6 - Perdas de solo na área de estudo.

Classes	Perda de Solo (t há ⁻¹ ano ⁻¹)	Área (%)	Área (ha)
Muito baixa	< 1	13,4	632,4
Baixa	1 – 10	3,7	173,4
Baixa a moderada	10 – 50	10,5	494,0
Moderada	50 – 100	8,4	393,4
Moderada a forte	100 – 500	43,6	2050,9
Forte	500 – 1.000	18,0	845,2
Muito forte	1.000 – 5.000	2,5	115,1

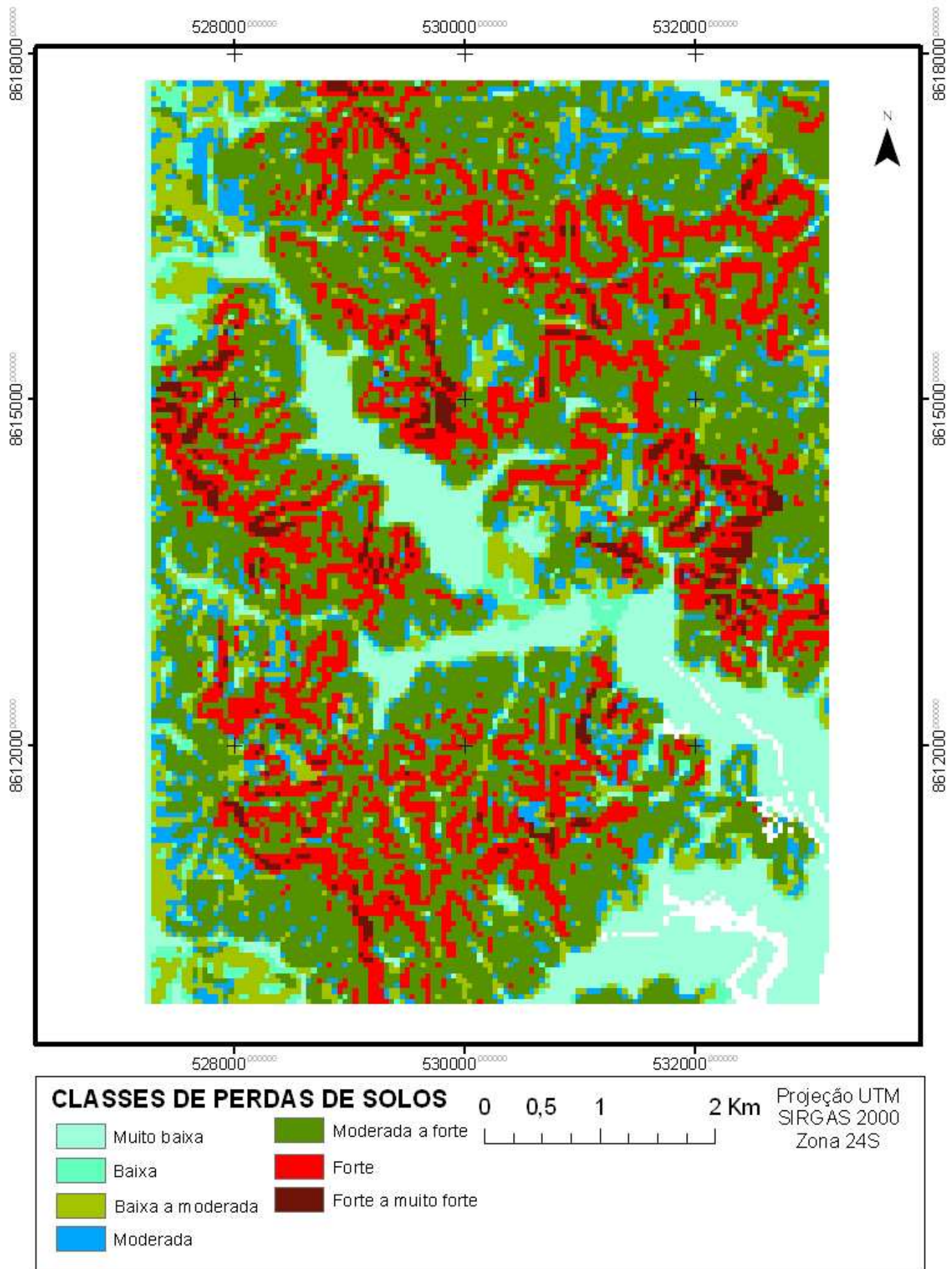


Figura 15 - Mapa das classes de Perdas de Solos para a área de estudo.

5.6 Cenário de Perdas e transporte de Metais

Os mapas de contaminação do solo por chumbo e zinco, revelam, conforme descrito em Asevedo (2012), uma contaminação radial devido à dispersão atmosférica dos poluentes pela chaminé durante os anos de operação da fábrica. No caso da contaminação por Zn, um hotspot foi detectado no sudeste da região de estudo tornando as manchas de contaminação mais longilíneas que circulares.

O mapeamento do transporte de Pb e Zn por erosão laminar, foi realizado a partir da superposição do mapa geoquímico (Figuras 16 e 17) com os mapas de perda de solos (Figura 15). Os mapas resultantes (Figuras 18 e 19) demonstram que na área onde está instalada a fábrica há uma grande perda de Pb e Zn.

O transporte do chumbo é intensificado de maneira muito significativa nas áreas de maior contaminação, verificando-se, portanto que o fator dominante no transporte de metais é a concentração no solo. Comparando as figuras 16 e 19, observa-se que a taxa de perdas potenciais de solos por erosão laminar afeta muito pouco o transporte de metais, como pode ser visto nas áreas centro-oeste e centro-leste, onde a declividade é acentuada levando a perdas fortes a muito fortes de solo, porém, sem transporte expressivo de chumbo (100-1000 g por hectare). Analisando o conjunto inteiro de dados, foi calculado um coeficiente de correlação de Pearson de 0,88 (significativo) entre o transporte de chumbo e a concentração de Pb no solo, enquanto a correlação com as perdas de solos foi somente de 0,07. Concluímos que, no entorno da cidade Santo Amaro, quanto maior a concentração do chumbo, maior será o seu transporte, independentemente da taxa de erosão do solo.

O transporte de zinco tem um comportamento semelhante ao do chumbo, ou seja uma concentração das taxas de transporte no entorno da fábrica, onde o solo é mais contaminado. Porém, há uma maior dispersão dos valores do que no caso do chumbo, anota-se que o transporte do zinco é mais afetado pela topografia local, como por exemplo, na área centro-norte.

Notou-se que a perda de metais vai ser muito baixa perto do canal dos rios, onde a declividade do terreno é menor, diminuindo a velocidade da água de escoamento; possivelmente processos de sedimentação se tornam bastante expressivos. Deste modo, espera-se encontrar um acúmulo de metais nesses locais, caso processos sedimentares superassem processos erosivos, evidenciando a necessidade de um mapeamento mais detalhado nestas planícies aluviais.

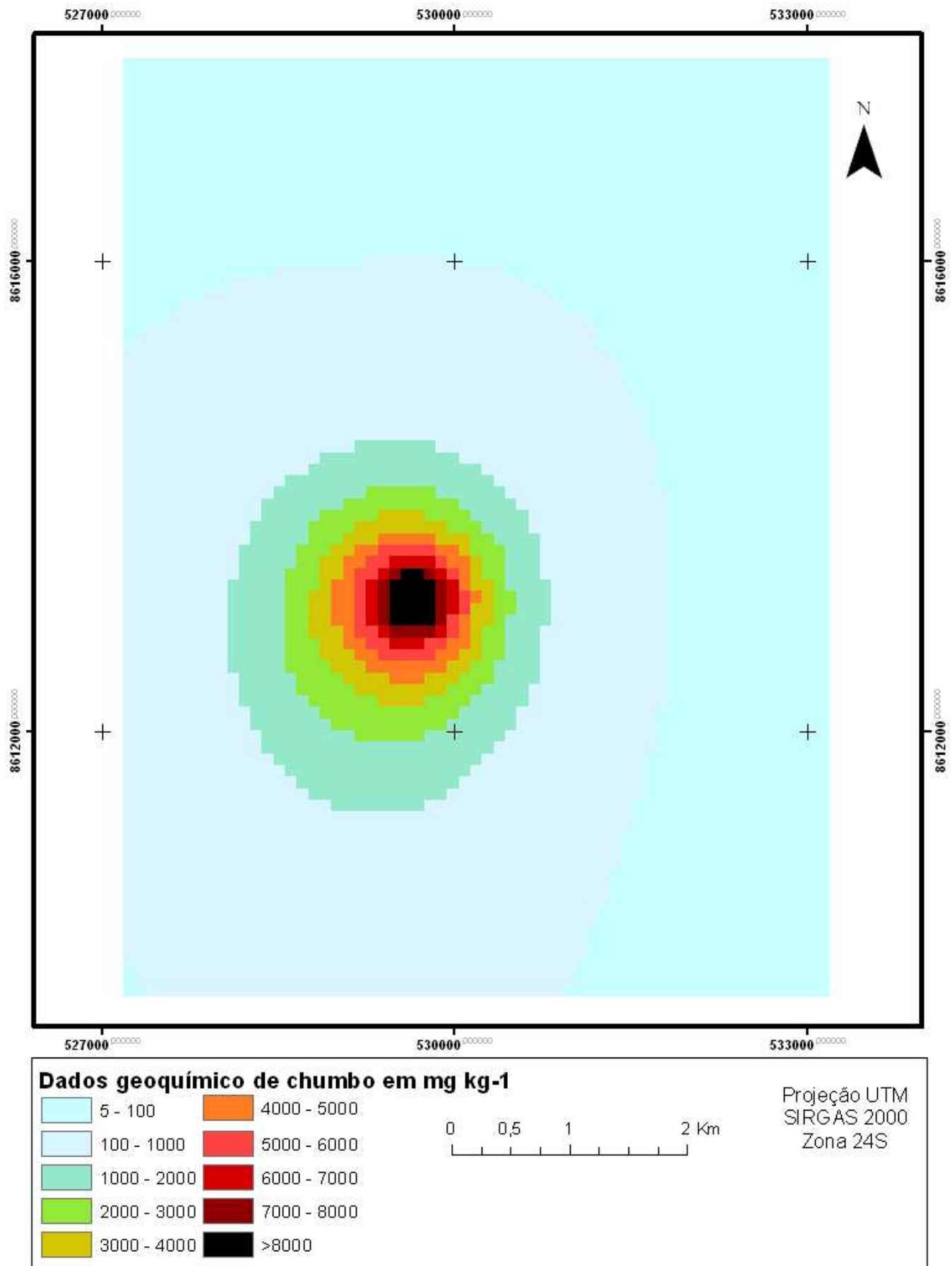


Figura 16 - Mapa geoquímico de chumbo no solo em mg kg⁻¹ na área de estudo.

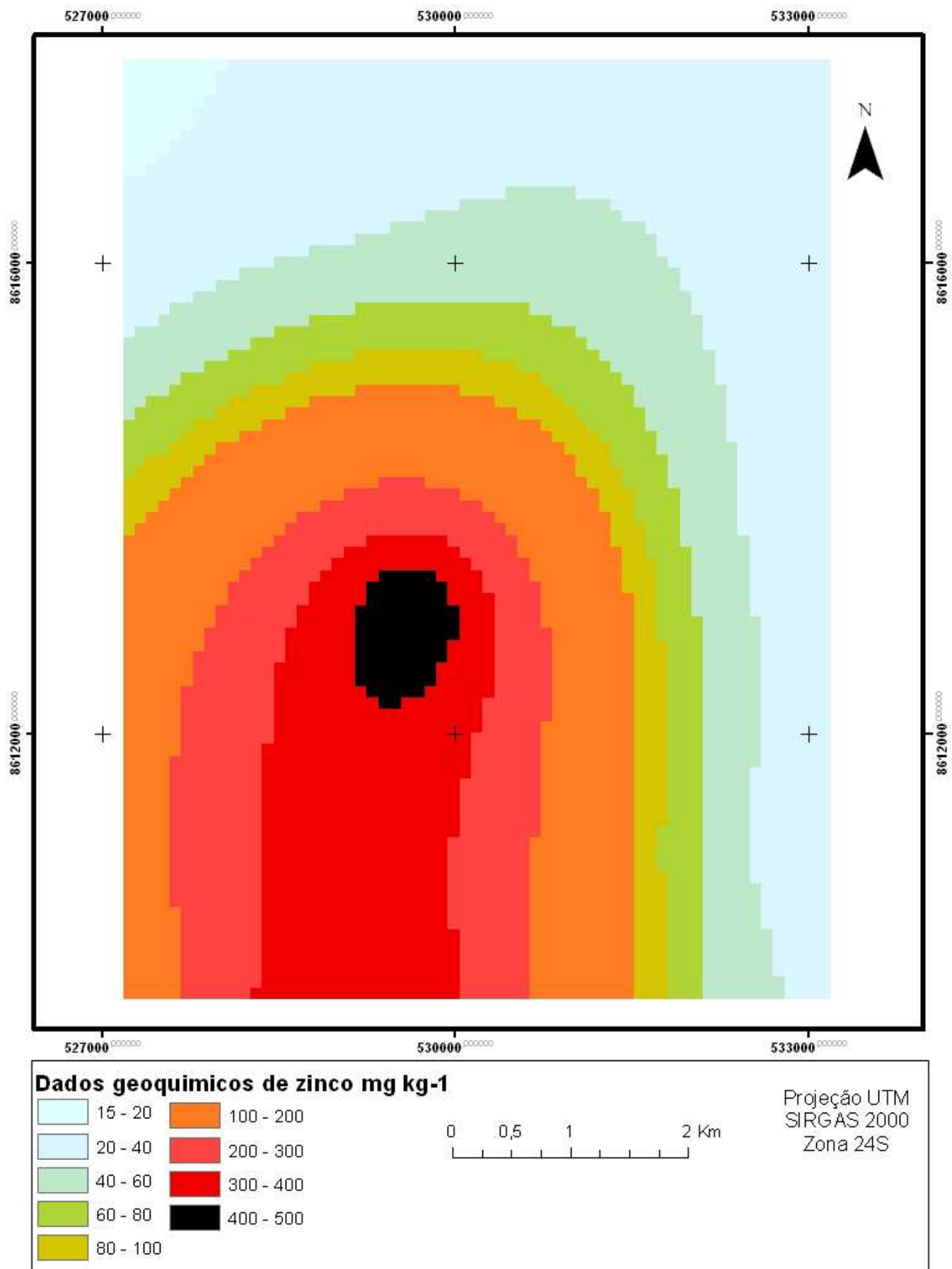


Figura 17 - Mapa geoquímico de zinco no solo em mg kg⁻¹ na área de estudo.

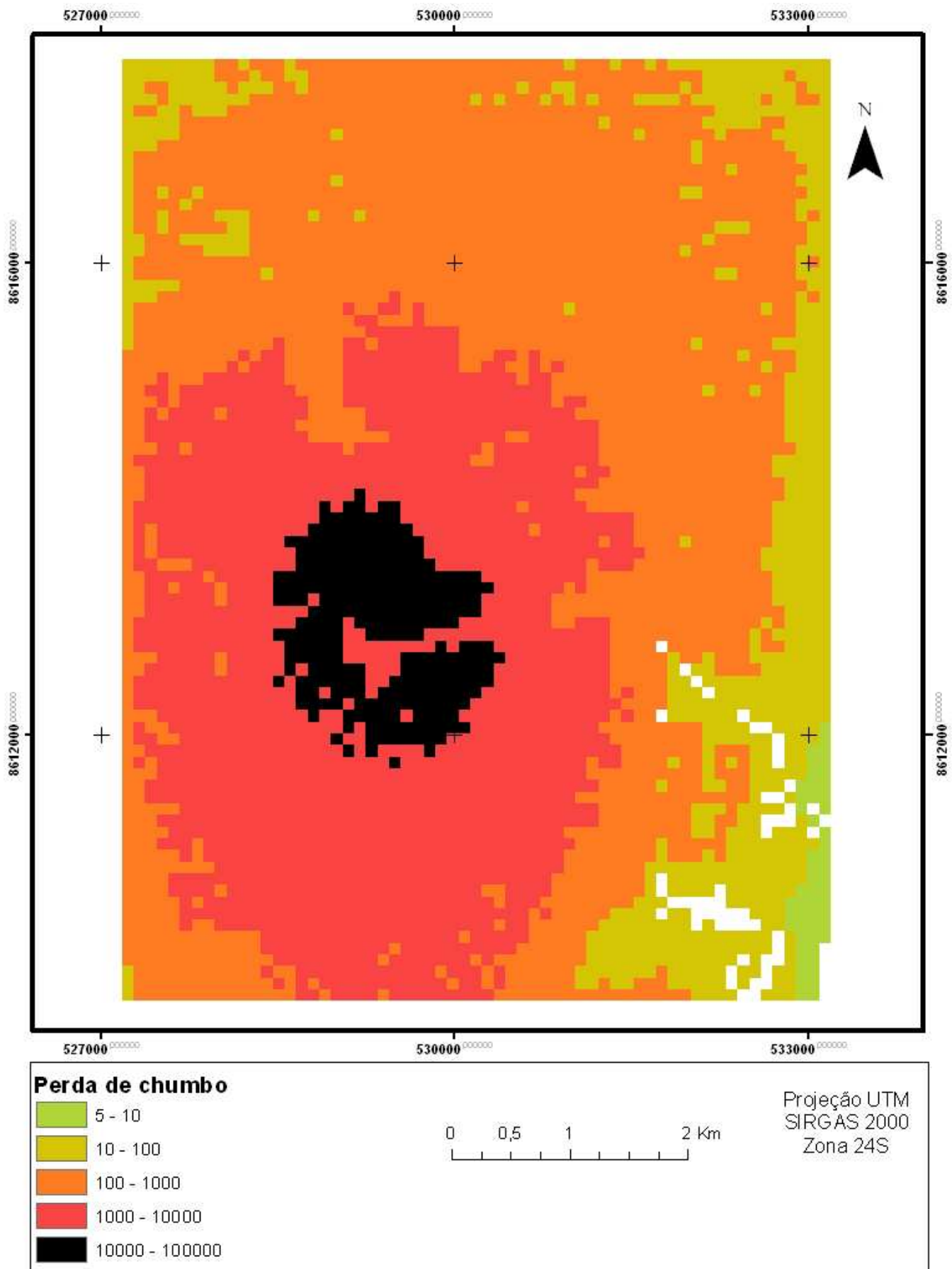


Figura 18 - Mapa de transporte de chumbo por erosão laminar, em $\text{g ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, na área de estudo.

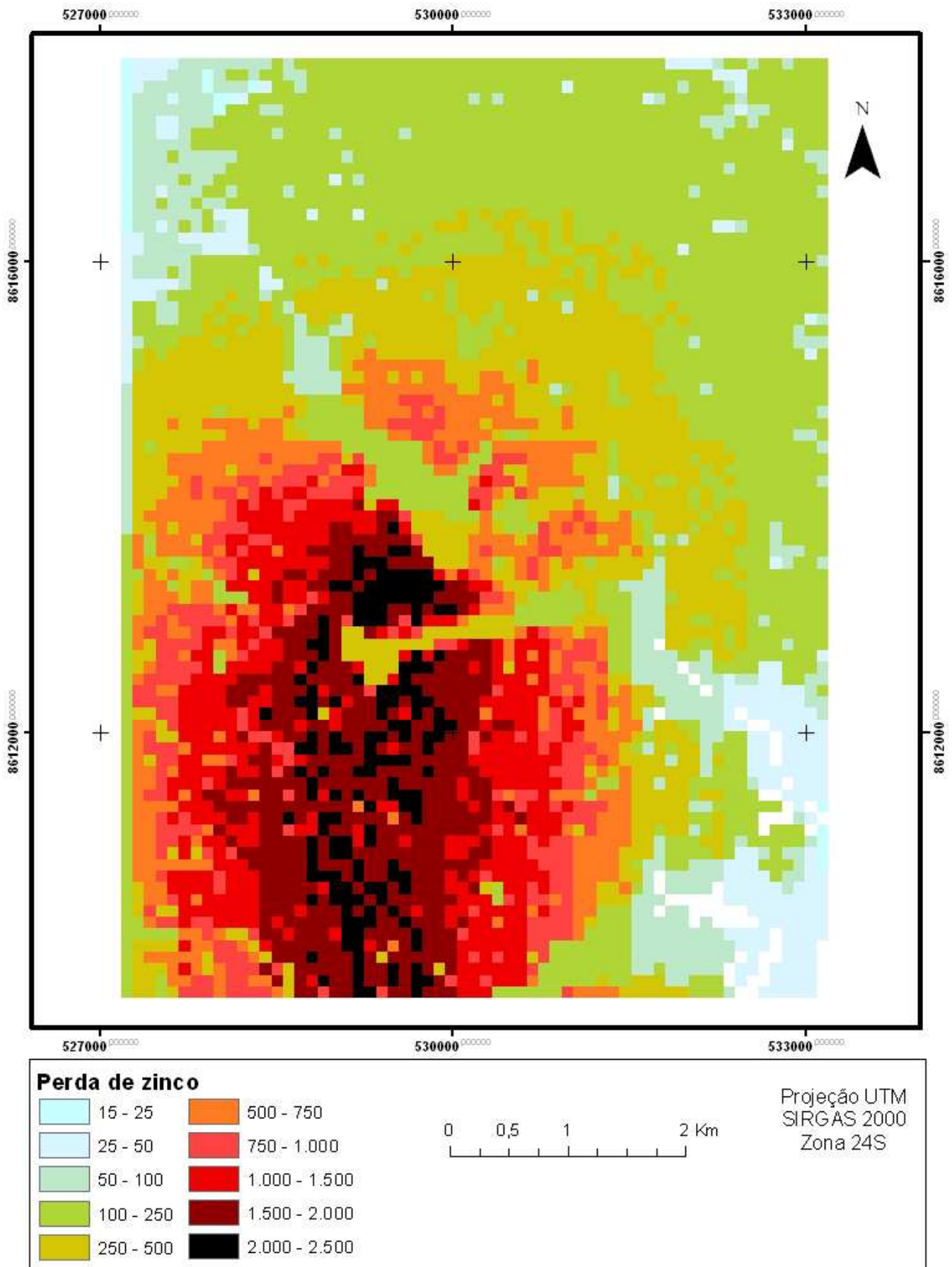


Figura 19 - Mapa de transporte de zinco por erosão laminar, em $\text{g ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, na área de estudo.

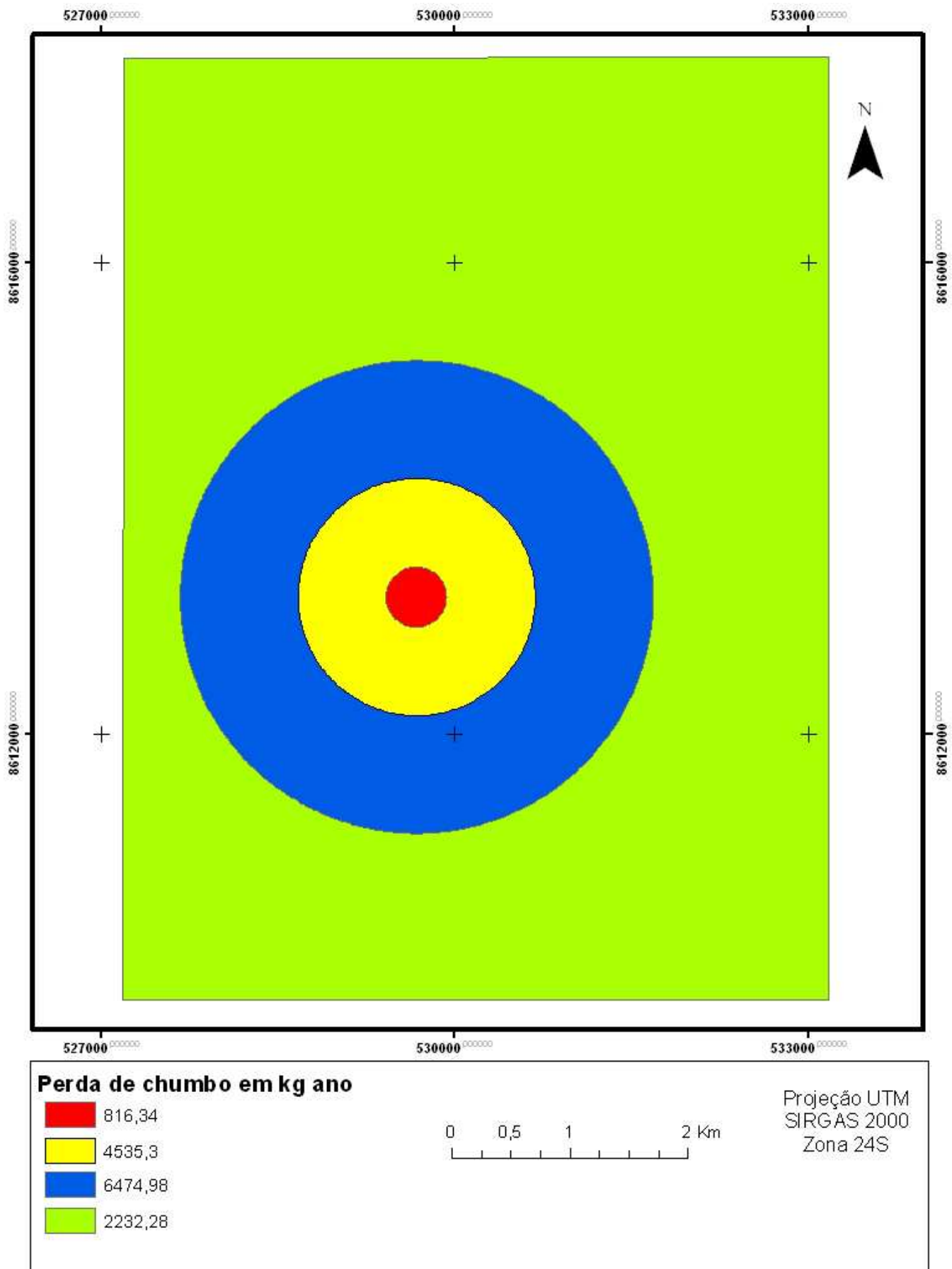


Figura 20 – Mapa de perda de chumbo (kg ano^{-1}). Áreas 1 a 4 definidas na Tabela 7.

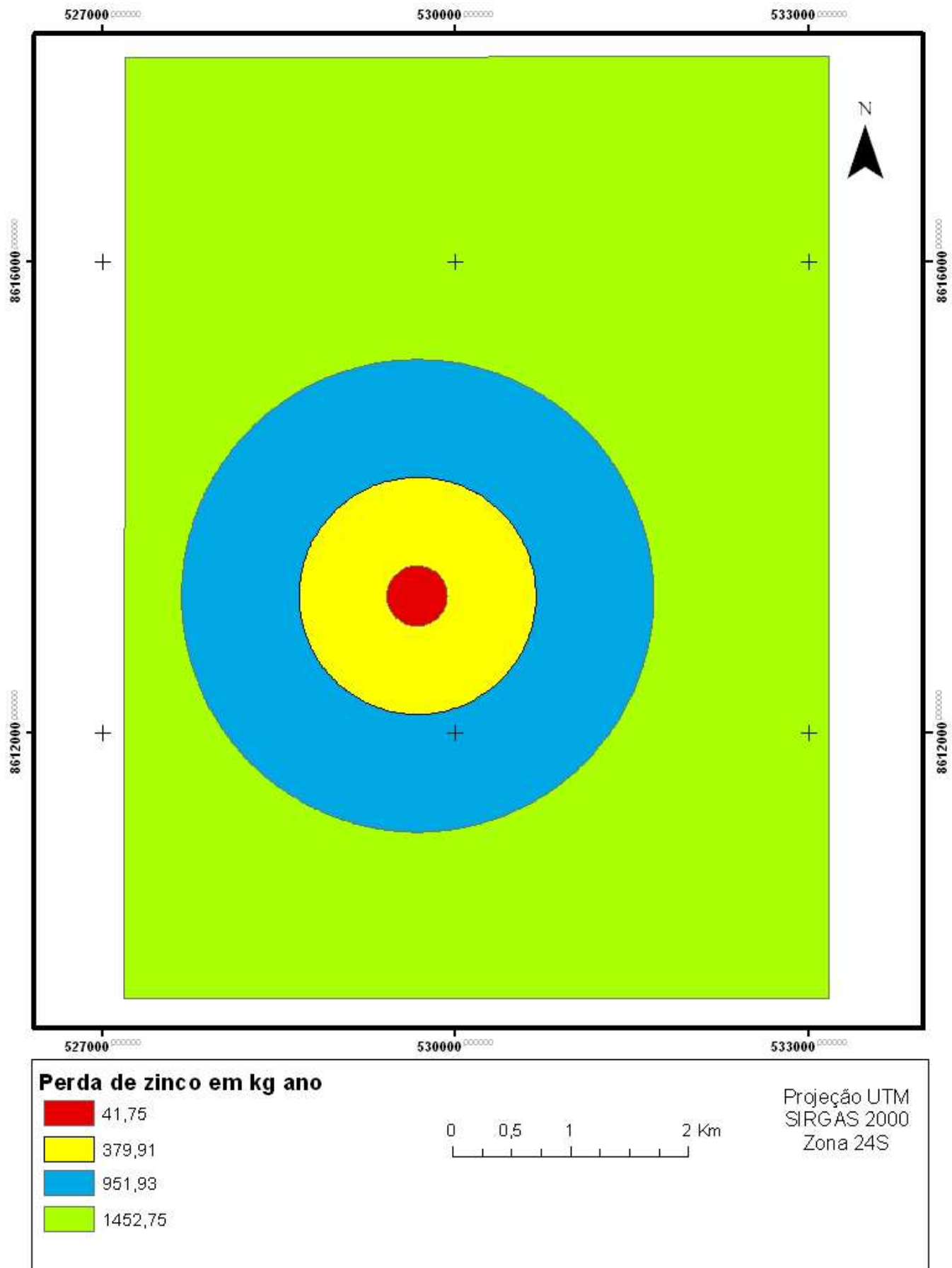


Figura 21 – Mapa de perda de zinco (kg ano⁻¹). Áreas 1 a 4 definidas na Tabela 7.

As Figuras 20 e 21 foram geradas objetivando quantificar a massa dos metais Pb e Zn transporte em áreas conhecidas, de raio de 250, 1000 e 2000 m. Na Tabela 7, onde estão apresentados os valores médios da transporte de Pb e Zn nessas áreas delimitadas, nota-se, conforme previsto, que o maior transporte de metais (Pb e Zn) ocorre em uma área relativamente pequena (19,6 ha) quando comparado com as demais, correspondendo a apenas 1,63% da área total objeto deste estudo. Isto se justifica uma vez que a menor área é a que esta mais contaminada, como demonstra os mapas geoquímicos. Em relação ao zinco, podemos observar que a diminuição da taxa de transporte do Zn a medida que afasta-se da fábrica é contrabalançada pelo aumento da superfície da área delimitada (19,6; 294,5; 942,5 ha, respectivamente), resultando em um aumento sucessiva do total de zinco transportado de 41,75 para 1452, 75 quilogramas nas áreas delimitadas (Figura 21). Porém o inverso ocorre para o chumbo; de fato, embora haja um aumento esperado do total de chumbo transportado da área 1 para a área 2, devido ao aumento da superfície, verificou-se que o mesmo não ocorreu entre as áreas 2, 3 e 4, apesar do importante aumento progressivo da superfície. Assim, o chumbo transportado por erosão atinge o valor máximo na área 2, e diminui a partir da segunda área. Essa observação é explicado pelos valores muito elevados da concentração de chumbo nos arredores da fábrica, que diminuem de forma exponencial com a distancia a chaminé, e resultam em perdas muito elevadas de chumbo (> 4 toneladas, área 2) mesmo em áreas de pequena superfície (<300 hectares). Em toda a area estudada (48 km²), o transporte de chumbo e de zinco foi estimado a 11,5 e 3,5 toneladas por ano, respectivamente.

Tabela 7 - Valores médios estimados de Pb e Zn transportados, referentes as áreas definidas nas figuras 20 e 21.

Identificação	Raio (m)	Área (ha)	Área (%)	Pb (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Zn (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
área 1	250	19,6	1,6	41,65	2,13
área 2	1000	294,5	4,9	15,40	1,29
área 3	2000	942,5	19,6	6,87	1,01
área 4	-	3543,3	73,9	0,63	0,41

Conforme sugerido pelos mapas geoquímicos (Figuras 16 e 17), os mapas de transportes de metais confirmaram que, apesar de toda a área de estudo estar contaminada, o transporte de chumbo ocorre de maneira muito mais expressiva ao redor da antiga fábrica num raio de 1000 m. No entanto, verificou-se que as perdas de zinco por erosão hídrica laminar são mais difusas em toda a área estudada. Finalmente, apesar de a maior parte da área de estudo (área 4 - 3543,3 ha) estar também contaminada, ela tem uma contribuição bem menor (somente 22% do total) para o transporte de metais por erosão. Porém este transporte poderia ser suficiente para contaminar os recursos naturais, em especial o Rio Subaé e a população que fazem uso dessa água.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A equação utilizada para estimar as perdas de solo, EUPS, apresentou-se aplicável quando integrado em sistema de informações geográficas, utilizando produtos de sistemas de sensoriamento remoto. O modelo possibilitou estimar e identificar os locais da área de estudo, onde ocorrem os maiores ou menores potenciais de perdas de solo, fornecendo assim informações para um planejamento adequado. Com o diagnóstico da perda de solo têm-se subsídios para o planejamento de ações futuras, em relação à cobertura e ao manejo da área estudada, usando-se para isso práticas mitigadoras, que priorizem o desenvolvimento sustentável dessa área. Assim, dentro da área estudada, nos

setores que apresentam perda de solos muito-forte, forte e moderado-forte, que representam 64% de toda da área e são caracterizados por uma declividade acentuada, recomenda-se a utilização de cobertura vegetal permanente. No entanto, como foi demonstrado nesse estudo que as perdas de solos por erosão hídrica laminar no entorno da cidade de Santo Amaro são influenciadas predominantemente pela topografia e de maneira menos significativa pela cobertura vegetal, um programa de monitoramento da erosão do solo será fundamental mesmo após a recuperação de áreas degradadas por reflorestamento.

A erosão do solo em Santo Amaro ocorre de maneira expressiva pelo fato de encontrar essencialmente Vertissolos, derivados dos folhelhos do Grupo geológico Santo Amaro: esses solos, muito ricos em argilas 2:1 e com alta CTC, retiveram os metais oriundos da pluma de dispersão atmosférica a partir da chaminé, e apresentam baixa infiltração, o que causa o aumento do escoamento superficial, levando à erosão do solo e ao transporte dos metais adsorvidas nas argilas.

Foi possível nesse estudo estimar o transporte dos metais Pb e Zn, integrando os dados de erosão do solo e de concentração dos metais no solo. Assim, conclui-se que o transporte de chumbo na área estudada depende principalmente da concentração do chumbo no solo, sendo muito pouco influenciado pela taxa de erosão do solo. A área necessitando de medidas emergenciais de controle dessa transferência de chumbo se situa num raio de 1 km a partir da chaminé da fábrica. O transporte do zinco apresentou valores mais dispersos, sendo mais influenciado pela taxa erosiva do solo do que o chumbo. Os mapeamentos realizados permitiram determinar a variabilidade espacial do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica laminar, que foi estimado a um total de $11,5 \text{ ton ano}^{-1}$ (Pb) e $3,5 \text{ ton ano}^{-1}$ (Zn), na área estudada (48 km^2).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDON, M. **Os Impactos Ambientais no Meio Físico – Erosão e Assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em Decorrencia da Pecuária.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2004.

ALBUQUERQUE, A. W; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R; COSTA, J. P. V. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé-PB. **R. Bras. Eng. Agric. Ambient.** V. 9, nº 2, Campina Grande, 2005.

ALBUQUERQUE, A.W., CHAVES, I.B. E VASQUES FILHO, J. (1994). Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regolito eutrófico de Caruaru (PE). **Rev. Bras. Ciên. Solo.** 18, 279-283.

Albuquerque, A.W. **Determinação de fatores para a equação universal de perdas de solo nas condições de Sumé-PB.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 100p. Tese Doutorado

Alvares, M. T. P.; Pimenta, M. T. **Erosão Hídrica e Transporte Sólido em Pequenas Bacias Hidrográficas.** In Congresso da água. 4., 1998. Disponível em:
http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html
Acesso em 12/02/2013.

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA.** 227p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2003.

ASEVEDO, L. P. **Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação.** Cruz das Almas, 2012. (Dissertação de mestrado).

ALVES, M. **Estimativa da Perda de Solo por Erosão Laminar na Bacia do Rio São Bartolomeu-DF Usando Técnicas de Geoprocessamento.** 2000. SER-300 - Introdução ao Geoprocessamento (disciplina). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Trabalhos de alunos. Disponível em
<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/trabalhos/mariza.pdf>>. Acessado em 15 mai0 de 2013.

BAPTISTA, G. M. M. (1997). **Diagnóstico ambiental da Perda Laminar de solos por meio do geoprocessamento. Dissertação de Mestrado.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 112p.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.29, n.9, p.1453-8, set. 1994.

Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. (1993). **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editor Ícone, 1990, 335 p.

BERTONI, J. e NETO, F. L. **Conservação do solo**. 6ª ed. São Paulo: Editora Ícone, 2008.

BIAS, E. S. **Vantagens e limitações das imagens de alta resolução como suporte ao planejamento urbano**: O exemplo de Sobradinho – Distrito Federal. Tese de Doutorado. UNESP – RC, São Paulo, 280p. 2010.

BURROUGH, P.A. **Spatial aspects of ecological data**. In: JONGMAN, R.H.; ter BRAAK, C.J.F. & TONGEREN, O.F.R., eds. *Data analysis in community and landscape ecology*. Wageningen, Pudoc, 1987. p.213-251.

CALIJURI, M. L.; MEIRA, A.; LORENTZ, L.; BHERING, E. M. **Fundamentos de sistemas de informação geográfica**. SIGEO; Universidade Federal de Viçosa; (2000), 82p.

CÂNDIDO, A. K. A. A; SANTOS, J. W. M. C.. **Mapeamento das áreas com solos com alto potencial de erosão na área da bacia do rio Manso - MT**. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 747-755.

CAVALCANTE, S. de P. P.; TEIXEIRA, A. dos S. Avaliação espacial da erosão através do uso de SIG - Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Tecnológica**, Fortaleza, v. 26, n. 2, p. 186-195, dez. 2005.

CARVALHO, E. M; PINTO, N. B S. A. F; SEPE, P. M; ROSSETTI, L. A. F. G. Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: estudo de caso da bacia do Rio Passa Cinco/SP. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. rev. e ampliada, Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, T. M. O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 5(1): 2004, p.85-93.

CARVALHO, F.M; TAVARES, T.M; SANDRA P; SOUZA, S.P; LINHARES, P. Absorção e intoxicação por chumbo e cádmio em pescadores da região do Subaé. **Ciência e Cultura**, 35(3), 360-366, 1983.

CARVALHO, T. M. LATRUBESSE, E. 2004. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, ano 5, nº. 1, p. 85-93.

COSTA, A N. **O uso do mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento para o planejamento da expansão urbana no município de Campos dos Goytacazes/RJ.** 2005. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

CRA. Centro de Recursos Ambientais. **Diagnóstico da concentração de metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo nos sedimentos e biota da Baía de Todos os Santos:** volume II - diagnóstico da contaminação química. Salvador: Governo do Estado da Bahia, 2004. 394 p. (Relatório Técnico. Consórcio BTS Hydros CH2M Hill). Diagnóstico da contaminação.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: Geomorfologia: **Uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CEPRANI, E; MEDEIROS, J. S; PALMEIRA, A. F; SILVA, F. E. Zoneamento Ecológico-Econômico. In: **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

CREPANI, E. & MEDEIROS, J. S. Imagens CBERS + Imagens SRTM + Mosaicos GeoCover LANDSAT em ambiente SPRING e TerraView: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2637-2644

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** 1990. 113 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DANIEL, T. C; SHARPLEY, A. N; EDWARDS, D. R; WEDEPOHL, R; LEMUNYON, J.L. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorous management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.49, n. 2, p. 30-38, 1994.

DEBUSK, T.A.; LAUGHLIN, R.B. Jr; SCHWARTZ, L.N. **Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland microcosms.** *Water Research*, 30(11), 2707-2716, 1996.

DESMET, P. J. J. & GOVERS G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, 51 (5): 427-433 1996.

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica.** Vitória, 2006. (Monografia de conclusão de curso).

EASTMAN, J. R.; JIN, W; KYEM, P.A.K.; TOLEDANO, J. Gis and Decision Making,. In. **Explorations in Geographic Information System Technology.** Genebra: UNITAR. Vol. 4, 112 p, 1993.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Manual on integrated soil management and conservation practices. Land and Water Bulletin**, Roma: FAO, n.8, 228 p., 2000. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. De Las Naciones Unidas, Roma: FAO, n.81, 207 p., 1967.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento Remoto para Geomorfologia**. In: **Florenzano, Teresa Gallotti. (Org.). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, v. 2, p. 31-71.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

FELGUEIRAS, C.A. (1997) Modelagem Numérica do Terreno. Introdução ao Geoprocessamento, cap. 6. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Acessado em 15 ago. 2012.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental no Município de Guamaré (RN): Simulação de Risco às Atividades da Indústria Petrolífera Natal**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

GUERRA, A. J. T. e MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental**. In: **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas Encostas. In: Guerra, A. J, T. & Cunha, S. B. **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GONÇALVES, J. C. Materiais de construção civil na região metropolitana de Salvador. **Programa geologia do Brasil**. Salvador, CPRM, 2008. 53P.

GUPTA, S.S; BHATTACHARYYA, K.G. **Interaction of metal ions with clays: I. A case study with Pb(II)**. Applied Clay Science, 30(3-4), 199-208, 2005.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. **Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia**. Rev. Geogr. Acadêmica v.2 n.2 (viii.2008) 73-83.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320 p.

JACQUES, P. D. **Geoprocessamento na identificação de áreas susceptíveis à erosão laminar na bacia do rio Ubatiba, Maricá – RJ.** 1997. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

HEIPKE, C; KOCH, A; LOHNANN, P. **Analysis of SRTM DTM – Methodology and Practical.** ISPRS Commission – IV Symposium. Ottawa. 2002.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion research methods.** Wageningen, Netherlands: Soil and Water Conservation Society/International Soil Science Society, 1988. p.140-160. ISBN 0-935- 73418-X.

LEPRUN, J.C. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste brasileiro (1982-1983). Recife: SUDENE DRN, 1983. 290p.

LILLESAND T. M; KIEFER, R. W.. **Remote Sensing and image interpretation.** John Wiley & Sons, Inc., 2 ed., 1989, 721p.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas.**Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 27).

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva:** sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, Campinas, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. (1980) **Erosividade da chuva:** sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, 51 (2): 189- 196.

LOPES, P. R. C.; BRITO, L. T. L. **Erosividade da chuva no médio São Francisco.** R.Bras. Ci. Solo, Campinas, v.17, p.129-133, 1993.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. (Tese de Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MACHADO, S. L; CARVALHO, M. F; DELGADO, C. W. C.; ANJOS, J.A.S.A.; DOURADO, K. A; AMPARO, N. S; CARDOSO, L. P; LIMA, A.V. M; SANTOS, D.M; SANTOS, D. B; KIPERSTOK FIRST, A; SÁNCHEZ, L; BOTELHO, M.A.B; OLIVEIRA NETO, F. **Relatório do Projeto PURIFICA** - Proposta para remediação de áreas degradadas pela atividade extrativa do chumbo em Santo Amaro da Purificação, DHS, EPUFBA, 2003. Disponível em: <http://www.geoamb.eng.ufba.br>

MACHADO, M. L., ALVES, J. S., GOMES, I., VIEIRA, E. M., SIMÃO, M. L. R., NAIME, U. J. **Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais).** Anais

XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7733-7739.

MACHADO, S. L; PORTELLA, R. B; CESANA, E; RABELO, T. S; LOPES, D. O. M. Estudo da influência na contaminação do solo por Metais pesados derivada das emissões atmosféricas de uma Metalúrgica desativada no município de Santo Amaro – BA. **X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Maceió, 2010.

MACHADO, S. L; RIBEIRO, L. D; KIPERSTOK, A. BOTELHO, M. A. B; CARVALHO, M. F. DIAGNÓSTICO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS EM SANTO AMARO – BA. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vol. 9 - Nº 2 - abr/jun, 140-155.

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

MANSOR, M. T. C. FERRIRA, L. ROSTON, D. M. TEIXEIRA FILHO. J. 2002. **Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão**. In: *I Simpósio de regional de Geoprocessamento e Sensoriamnto Remoto*. Aracaju/SE. Anais... CDROM.

MATA, C. L. CARVALHO JÚNIOR, O. A. CARVALHO, A. P. F. GOMES, R. A. T. MARTINS, E. S. GUIMARÃES, R. F. **Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do rio urucuia (mg) por meio da equação universal de perda de solos**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.8, n.2, p.57-71, 2007.

MELO FILHO, J. F. SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano: **desafios para a sustentabilidade**. Bahia Agríc., v.7, n.3, nov. 2006.

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2010.

MORETI, D. **Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP)**. Rev. Bras. Cienc. Solo,.Campinas, v. 1, n. 1, 2003. p. 713-726.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. London: Longman, 1995. 198p. ISBN 0-582-24492-7.

NEVES, S. M. A; NEVES, R.J; FORNELOS, L.F. **Aplicação de imagens do radar interferométrico (SRTM) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego Cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela / MT**. Rev. Geogr. Acadêmica v.2 n.2, 2008, 124-137.

NOVO, E. M. L. M.. **Sensoriamento remoto – Princípios e aplicações**, 2^o Edição, Editora Edgard Blücher Ltda, 1995, 308p.

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

PAOLIELLO, M. M. B. E; CHASIN, A.A.M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001. 144 p.(Cadernos de referência ambiental, v. 3).

PARANHOS FILHO, A C., FIORI, A P., DISPERATI, L., LUCCHESI, C., CIALI, A, LASTORIA, G. **Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho-MS**. In: Boletim Paraense de Geociências, nº 52, p. 49-59, 2003. Editora UFPR.

QUINTON, J. N; CATT, J. A; HESS, T. M. The selective removal of phosphorus from soil: is event size important? **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.30, p.538-545, 2001.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. 2003. **The Shuttle Radar Topography Mission** — a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.57, p.241-262.

RANIERI, S. B. L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando Sistemas de Informação Geográficas (SIG)**. 1996. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo , Escola de Engenharia de São Carlos.

RANIERI, S. B. L; **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLE e WEPP**. 2000. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

RAO, K. S. Validation of Digital Elevation Model Derived from Shuttle Radar Topography Mission using GPS Field measurements. 2004 Site: www.gisdevelopment.net/technology/gps/ma03033abs.htm. Acesso:19/02/2013.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V.P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M.. **O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente**. Revista Árvore. v. 29 n.2. Viçosa, 2005.

RIBEIRO, L. S. **Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento**. (Dissertação de mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ. Fevereiro – 2006.

RIBEIRO, L. S. ALVES, M. G. **Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento.** Mestrado da primeira autora, apresentada junto VIEIRA, V. F.. Estimativa de perdas ao Departamento de Engenharia Civil da UENF. Anais XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3039-3046.

ROCHA, J. V.; Sistema de informações geográficas no contexto do planejamento integrado de bacias hidrográficas. In: ORTEGA, E. (Org.). **Engenharia ecológica e agricultura sustentável.** Campinas: [s.n.], 2006. cap. 20, p. 1-13.

ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. **Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo.** In: Anais do Simpósio De Usuários Idrisi, Campinas, Unicamp, 1996. p.3-6.

RUHOFF, A. L. **Avaliação dos processos erosivos na bacia do Arroio Grande, RS, através da equação universal de perdas de solos.** Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.229-238.

SANTOS, P. R. A; GABOARDI, C; OLIVEIRA. L. C. Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM para a Amazônia. **Rev. Bras. Cartografia**, No 58/01, Abril, p.101-107. 2006.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: Editora Rima, 2003, 138 p.

SILVA, A. M; SCHULZ, H. E; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: Editora Rima, 2003, 138 p.

SILVA, R. C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do arroio pelotas (RS), com auxílio do geoprocessamento.** Dissertação apresentada à Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Geografia, 2009.

SILVA, R. C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do Arroio Pelotas (rs), com auxílio do geoprocessamento.** (Dissertação de Mestrado). Rio Grande, RS, 2009.

SPAROVEK, G., SCHNUG, E. **Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss.** Soil Science Society American Journal, 65, p. 1479-1486, 1998.

TEIXEIRA, A; MATIAS, L; NOAL, R; MORETTI, E. **Qual a melhor definição de SIG, FACTOR GIS**, 1995, 11, 21-26. Brasil.

TOMAZONI, J. C; MANTOVANI, L.E; BITTENCOURT, A.V.L; ROSA FILHO, E.F. A sistematização dos fatores da Eups em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.3, n.1, p.1-21, jan./jun. 2005.

VALERIANO, M. M; KUPLICH, T. M.; STORINO, M.; AMARAL, B. D.; MENDES Jr., J. N.; LIMA, D. J. 2006. **Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90m data**. *Computers & Geosciences*, v.32, p.1169-1181.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planing**. Whashington: Department of Agriculture, 1978. 47p. (USDA Agriculture handbook, 537)

YIN, X; GAO, B; MA, L.Q; SAHA, U.K; SUN, H; WANG, G. Colloid-facilitated Pb transport in two shooting-range soils in Florida. **Journal of Hazardous Materials**,177(1-3), 620-625, 2010

ZHANG, M; Li, W; YANG, Y; CHEN, B; SONG, F. Effects of readily dispersible colloid on adsorption and transport of Zn, Cu, and Pb in soils. **Environment International**, 31(6), 840-844, 2005.

WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C. B. e CROSS, B.V. (1971). **A soil erodibility nomograph for farmland and constrution sites**. *Jour. Soil Wat. Conserv.*, v.26, 189-193.

Zhang, M; Li, W.; Yang, Y.; Chen, B.; Song, F. **Effects of readily dispersible colloid on adsorption and transport of Zn, Cu, and Pb in soils**. *Environment International*, 31(6), 840-844, 2005.

8 ANEXOS



Figura
22 –

Antiga fábrica de processamento de chumbo na área de estudo.



Figura

23 – Rio Subaé na área de estudo.



Figura 24 – Vegetação em estágio de regeneração na área de estudo.



Figura 25 – Escórias de chumbo misturado com solos na área de estudo.