UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

AILTON MOISES XAVIER FIORENTIN

Efeitos da mecanização agrícola da cultura da cana-de-açúcar nos processos erosivos: dimensionamento de terraços com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

São Carlos
2016

AILTON MOISES XAVIER FIORENTIN

Efeitos da mecanização agrícola da cultura da cana-de-açúcar nos processos erosivos: dimensionamento de terraços com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – EESC/USP, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Ciências da Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Assoc. Frederico Fábio Mauad.

São Carlos
2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Fiorentin, Ailton Moisés Xavier
F518e Efeitos da mecanização agrícola da cultura da cana-de-açúcar nos processos erosivos: dimensionamento de terraços com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) / Ailton Moisés Xavier Fiorentin; orientador Frederico Fábio Mauad. São Carlos, 2016.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

1. EUPS. 2. Fator LS. 3. Dimensionamento terraços agrícolas. 4. Cana-de-açúcar. 5. Mecanização. 6. Erosão. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **AILTON MOISÉS XAVIER FIORENTIN.**

Título da dissertação: "Efeitos da mecanização agrícola da cultura da cana-de-açúcar nos processos erosivos: dimensionamento de terraços com base na equação universal de perdas de solo (EUPS)".

Data da defesa: 31/03/2016

Comissão Julgadora: **Resultado:**

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad** Aprovado
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Marcílio Vieira Martins Filho** Aprovado
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP - Jaboticabal)

Dr. **Júlio César Pascale Palhares** Aprovado
(EMBRAPA)

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:
Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Dedico este trabalho primeiramente ao senhor Jesus
que me deu sabedoria,
minha esposa pela paciência
minha família que me sustentou como pilares e
aos meus amigos pela torcida.

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À Universidade de São Paulo (USP), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) e Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA) pelo ambiente criativo e amigável que me proporcionaram. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pelo aporte financeiro, o qual possibilitou o desenvolvimento deste estudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad pela orientação, amizade e confiança.

Aos professores e pesquisadores, pelo apoio, humildade, pelo tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

Aos funcionários do CCEAMA – cozinheiros, jardineiros, seguranças, manutenção, secretários e faxineiros, pelos cuidados com a estrutura e a manutenção deste ambiente tão agradável.

Aos professores em especial Silvio Crestana e Marcílio Vieira Filho pela simplicidade, paciência e dedicação ao apoio neste estudo.

Aos amigos de pesquisa Maridélia Gonzaga, Bruno dos Santos, Fábia Cruz, Felippe Fernandes, Heidi Robayo, João Villela, Keila da Silva, Mayra Silva, Vitor Calcenoni, Cláudio Bielenki Jr, Dalva Vitti, Fernanda Veronez, Franciane dos Santos, Júlio Kuwajima, Marcus Estigoni e Paulo Ponce.

Ao meu amigo Raphael Machado pelo apoio e auxílio nos momentos difíceis.
Ao amigo Gustavo Scarpinella pela inspiração, parceria, cuidado e humildade.

Ao amigo de vida Renato Miranda, pelo ser humano, índole, genialidade, dedicação, paciência e todos os predicados possíveis, sem você seria difícil.

Aos meus pais, Amauri Sergio Fiorentin e Telma Lúcia Xavier Fiorentin, heróis que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Minhas irmãs Magali e

Mônica, e meus demais familiares pelo apoio incondicional aos caminhos que percorro, pela mão que me deram quando eu já não tinha forças.

À minha esposa Taís Diane Nicolleti Fiorentin pela doçura, paciência e amor que me fizeram chegar ao final deste ciclo.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Posso todas as coisas em Cristo que me fortalece.
(Bíblia, Filipenses 4:13)

RESUMO

FIORENTIN, A. M. X. **Efeitos da mecanização agrícola da cultura da cana-de-açúcar nos processos erosivos - dimensionamento de terraços com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

A cultura da cana-de-açúcar é a segunda maior movimentação econômica na cadeia do agronegócio no Brasil. Gera riquezas através da fabricação de açúcar, etanol e cogeração de energia elétrica, além de outros subprodutos. Considerada fonte de energia renovável, a cana-de-açúcar a princípio tinha sua imagem associada a impactos negativos principalmente devido as queimadas realizadas nas lavouras para colheita manual. Nos últimos anos, baseado em decretos e no Protocolo Agro-ambiental, essa prática vem sendo abolida. Para se manter e até mesmo aumentar o rendimento das colhedoras nos canaviais, os gestores têm adotado práticas para reduzir os terraços agrícolas, com impacto nos sistemas de conservação de solos. Assim, este trabalho teve como objetivo identificar os impactos ambientais provocados pela mecanização agrícola decorrente do mau manejo e dimensionamento dos mecanismos de conservação do solo. Neste estudo também se realizou uma análise à Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), como ferramenta para o dimensionamento de terraços agrícolas. O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica, denominada Ribeirão da Bocaina, localizada na UGRHI-13 (Tietê - Jacaré). Foi possível identificar a variabilidade amostral do solo para o dimensionamento conservacionista, gerando curvas de nível com Desníveis Verticais (D.V) desuniformes, contrariando a sistemática atual de terraços que respeita cotas múltiplas ou mesmo dimensionamentos empiristas, segundo o conhecimento local e o histórico recente da área. Algumas sugestões também foram feitas afim de torná-la uma ferramenta ainda mais eficiente, considerando condições particulares à cultura da cana-de-açúcar, tais como a influência da palhada, sulcos de plantio e diversos tipos de terraços como meios de controle à erosão. A metodologia foi satisfatória, no que tange a compreensão pelos meios de correlação entre as práticas conservacionistas e modelos de predição de perda de solo, trazendo luz à ciência na interpretação das ferramentas existentes e as lacunas a serem preenchidas.

Palavras-chave: EUPS. Fator LS. Dimensionamento de terraços agrícolas. Cana-de-açúcar. Mecanização. Erosão.

ABSTRACT

FIORENTIN, A. M. X. **Effects of the agricultural mechanization of sugarcane culture on erosive processes - sizing terraces based on Universal Soil Loss Equation (USLE).** 2016. 121 f. Dissertation (Master of Science in Environmental Engineering) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

Sugarcane culture is the second largest economic movement in the Brazilian agribusiness chain. It generates wealth through the manufacture of sugar and ethanol and cogeneration of electricity and other products. Although sugarcane has been considered a renewable energy source, its image was first associated with negative impacts mainly due to burnings in fields for manual harvesting. In recent years, decrees and Protocolo Agro-ambiental have abolished such a practice. To maintain and even increase the yield of harvesters in cane fields, managers have adopted practices so as to reduce agricultural terraces, which have impacted on soil conservation systems. This study identified the environmental impacts caused by agricultural mechanization resulting from mismanagement and design of soil conservation mechanisms. An analysis of Universal Soil Loss Equation (USLE) was conducted for the design of agricultural terraces. The study was developed in a watershed, called Ribeirão da Bocaina, located in UGRHI-13 (Tietê - Jacaré). The sample variability of soil for the conservation design was identified and contours with unsteady Vertical Gaps (VG) were generated. Such gaps contradict the current system of multiple terraces, which respects quotas or even empiricist sizing, according to the local knowledge and the recent history of the area. Some suggestions are provided for improvements in the tool, based on specific conditions for the cultivation of sugarcane, such as influence of trash, planting furrows and various terraces as erosion control means. The methodology was satisfactory regarding the understanding of the correlation between conservation practices and soil loss prediction models and has brought light to science for the interpretation of the existing tools and gaps to be filled.

Keywords: USLE. Factor LS. Design of agricultural terraces. Sugarcane. Mechanization. Erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fabricação de veículos por tipo de combustível 12
Figura 2 - Tendência de expansão da cana-de-açúcar pelo Brasil 13
Figura 3 - Pirâmide representando a proporcionalidade qualitativa populacional para cada situação possível em casos de exposição ao produto da queima da biomassa..... 15
Figura 4 - Vinte fatores de risco mais importantes para a saúde, quantificados como porcentagem de anos de vida. 16
Figura 5 - Distribuição espacial de potenciais impactos ambientais da queima da cana-de-açúcar no Brasil..... 17
Figura 6 - Diminuição de poluentes provenientes da queima da cana-de-açúcar desde 2007 (início do Protocolo Agro-ambiental) 19
Figura 7 - Efeito estufa e efeito mitigação no Brasil (milhões de t. de CO_2/ano)..... 20
Figura 8 - Zoneamento Agro-ecológico da cana-de-açúcar (ZAE cana) 21
Figura 9 - Máquinas agrícolas utilizadas para colheita mecanizada da cana-de-açúcar..... 23
Figura 10 - Evolução do emprego formal no setor sucroalcooleiro brasileiro, na indústria de açúcar 24
Figura 11 - Comparativo de quantidade de manobras entre planejamentos de sulcação de propriedades rurais. 26
Figura 12 - Rompimento de terraço agrícola mal dimensionado..... 28
Figura 13 - Processo inicial da erosão hídrica 30
Figura 14 - Cobertura do solo com palhada da cana-de-açúcar..... 36
Figura 15 - Terraço do tipo embutido 37
Figura 16 - Dispositivos conservacionistas para controle e represamento de águas pluviais.. 39
Figura 17 - Nomógrafo de Wischmeier 45
Figura 18 - Mapa de localização da microbacia do Ribeirão da Bocaina..... 55
Figura 19 - Colheita de cana-de-açúcar no município de Bocaina 58
Figura 20 - Estrutura para elaboração do banco de dados em SIG 59
Figura 21 - Quadrículas imagens programa MAPEIA..... 60
Figura 22 - Distância entre a estação hidrometeorológia FATEC-JAHU e a microbacia Ribeirão da Bocaina 62
Figura 23 - Estação hidrometeorológica FATEC-JAHU 63
Figura 24 - Mapa com a nuvem de pontos da microbacia Ribeirão da Bocaina..... 66
Figura 25 – Representação das situações variando o termo “t” 68

Figura 26 - Imagem de satélite da microbacia do Ribeirão da Bocaina 71
Figura 27 – Mapa cartográfico IBGEmicrobacia do Ribeirão da Bocaina..... 72
Figura 28 - Uso e ocupação da microbacia do Ribeirão da Bocaina 73
Figura 29 - Descrição de relevo com base no intervalo de porcentagem de inclinação. 75
Figura 30 - Média histórica dos índices pluviométricos microbacia Ribeirão da Bocaina (2006-2014) 77
Figura 31 - Precipitação anual microbacia Ribeirão da Bocaina (2006-2014)..... 78
Figura 32 - Valor do Fator de erosividade obtido a partir do *software* Net Erosividade SP 79
Figura 33- Mapa pedológico da microbacia do Ribeirão da Bocaina 80
Figura 34 - Reta e equação de correlação entre o fator C e NDVI..... 82
Figura 35 - Algumas imagens NDVI durante o período estudado. 82
Figura 36 - Mapa altimétrico da microbacia do Ribeirão da Bocaina..... 83
Figura 37- Fator P da microbacia Ribeirão da Bocaina 84
Figura 38 - Tolerância de perda de solos Bacia Ribeirão da Bocaina 85
Figura 39 - Terraços agrícolas mapeados com o uso e ocupação do solo 86
Figura 40 - *Raster* variável "t"..... 88
Figura 41 – Planialtimétrico da microbacia Ribeirão da Bocaina 89
Figura 42 - Curvas de nível com transectos 90
Figura 43 - Cenário A - Dimensionamento de terraços agrícolas mediante conceito de tolerância de perda de solos agronômico..... 92
Figura 44 - Cenário B - Dimensionamento de terraços agrícolas mediante conceito de tolerância de perda de solos ambiental. 93
Figura 45 - Mapa de localização da Fazenda Carretão..... 95
Figura 46 - Relevo e classe pedológica da Fazenda Carretão 96
Figura 47 - Visitas à campo Fazenda Carretão..... 97
Figura 48 - Dados de erosividade município de Jaboticabal 98
Figura 49 - Dimensionamento de terraços na Fazenda Carretão por meio da modelagem EUPS 99
Figura 50 - Comparativo entre antes (a) e depois (b) da fazenda Carretão 100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Formas de erosões e suas características. 31
Quadro 2 - Agentes erosivos 32
Quadro 3 - Tipos de erosão 32
Quadro 4 - Alguns modelos utilizados para simular processos erosivos em bacias hidrográficas 42
Quadro 5 - Base de dados para os fatores da EUPS 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do Fator de erodibilidade (K) de alguns solos do Estado de São Paulo.... 45
Tabela 2 - Classes de interpretação para os valores do Fator k 47
Tabela 3 - Fator de cobertura para algumas culturas agrícolas..... 48
Tabela 4 - Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta 49
Tabela 5 - Valor do Fator P para algumas práticas conservacionistas..... 50
Tabela 6 - Valores de algumas práticas conservacionistas - Fator P 51
Tabela 7 - Tolerância de perdas de solo por erosão para alguns solos do Estado de São Paulo..... 52
Tabela 8 - Perdas de solos de algumas culturas agrícolas..... 53
Tabela 9 - Tolerância de perdas de solo..... 54
Tabela 10 - Características gerais da Bacia Hidrografia do Tietê-Jacaré 56
Tabela 11 - Informações gerais município de Bocaina..... 57
Tabela 12 - Área colhida de cana crua, com queima e total colhido em Bocaina 57
Tabela 13 - Principais informações sobre a microbacia Ribeirão da Bocaina..... 58
Tabela 14 - Uso e ocupação da microbacia Ribeirão da Bocaina..... 73
Tabela 15 - Descrição do relevo conforme os intervalos de porcentagem de inclinação. 74
Tabela 16 - Dados pluviométricos da Estação da FATEC-JAHÚ/SP 76
Tabela 17 - Valor do Fator de erosividade mensal 78
Tabela 18 - Fator K para os solos da microbacia do Ribeirão da Bocaina 80
Tabela 19 - Valores de NDVI das imagens de satélite e equações de correlação do Fator C para NDVI..... 81
Tabela 20 - Comprimento total de curvas de nível em desníveis verticais diferentes realizados a partir de MDT das imagens Emplasa. 87
Tabela 21 - Dados dos terraços dimensionados 99

LISTA DE SIMBOLOS

A - Expressa volume de perda de solo por hectare por ano (na Equação Universal de Perdas de Solo, página 41);

C - Fator que representa a cobertura do solo na Equação Universal de Perdas de Solo;

CO - Monóxido de carbono;

CO_2 - Dióxido de carbono;

CH_4 - Metano;

C_4- Plantas cujo primeiro composto estável formado durante as reações da fotossíntese contém 4 átomos de carbono;

K - Fator que representa a pedologia na Equação Universal de Perdas de Solo;

km² - Quilômetros quadrados;

LS - Fator que representa a topografia na Equação Universal de Perdas de Solo;

$MP_{2,5}$ - Material particulado;

NO_x - Óxidos de nitrogênio;

N_2O - Óxido nitroso;

P - Fator que representa as práticas agrícolas na equação universal de perdas de solo;

R - Fator que representa a precipitação da área na equação universal de perdas de solo;

% - Porcentagem;

R$ - Real – Unidade monetária (Brasil);

ρIVP - Reflectância no infravermelho próximo;

ρV- Reflectância no vermelho;

t (página 66) – variável para o cálculo do dimensionamento dos terraços agrícolas proposto;

LISTA DE ABREVIATÚRAS

ANA - Agência Nacional de Águas;

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica;

APP - Áreas de Preservação Permanente;

Art. - Artigo;

CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral;

CRHEA - Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais;

CN - Curvas de Nível;

CTC - Centro Tecnológico de Campinas;

CTH/DAEE - Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo;

DEMA - Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura;

DV - Desnível Vertical;

EESC - Escola de Engenharia de São Carlos;

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA;

EUPS - Equação Universal de Perdas de Solo;

FATEC - Faculdade de Tecnologia;

GEE - Gases do Efeito Estufa;

GSD - *Ground Sample Distance*;

GWh - *Gigawatt-hora*;

ha - Hectare;

Hab - Habitantes;

IAA - Instituto do Açúcar e do Álcool;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

KM - Quilometro;

L - Litros;

M - Metros;

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento;

MDT - Modelo Digital do Terreno;

Min. - Minuto;

mm- Unidade de volume, milímetros;

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*;

NE - Nordeste;

NH - Núcleo de Hidrometria;

NO - Noroeste;

Nº - Número;

NP - Nuvem de Pontos;

OMS - Organização Mundial da Saúde;

ORPLANA - Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-sul do Brasil;

Proálcool - Programa Nacional do Álcool;

PSA - Pagamentos por Serviços Ambientais;

S.A - Sociedade Anônima;

SAEMJA - Serviço de Água e Esgoto do município de Jahu;

SE - Sudeste;

SIG - Sistema de Informação Geográfica;

SIGAM - Sistema Integrado de Gestão Ambiental;

SIN - Sistema Interligado Nacional;

SIRGAS - Sistema de Informação Geográfica da América do Sul;

SMA - Secretaria do Meio Ambiente;

SO - Sudoeste;

SP - São Paulo;

T- Tonelada;

UNICA - União da Indústria da Cana-de-açúcar;

USGS - *United States Geological Survey*;

USP - Universidade de São Paulo;

UTM - Universal Transversa Mercator;

ZAEcana - Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA 7

2. OBJETIVOS 9

2.1 Geral 9

2.2 Específicos 9

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11

3.1 Importância econômica da produção da cana-de-açúcar no Brasil – de alimento à solução energética 11

3.2 Impactos socioambientais causados pelas queimadas na produção da cana-de-açúcar 14

3.2.1 Impactos sobre a sociedade 14

3.2.2 Impactos sobre o meio ambiente 16

3.3 A sustentabilidade na produção da cana-de-açúcar 18

3.4 Necessidade da mecanização agrícola na colheita da cana-de-açúcar 21

3.5 Consequências da colheita mecanizada e os mecanismos atuais de conservação de solos 23

3.5.1 Consequências sociais e o mercado de trabalho 23

3.5.2 Consequências e alternativas para redução dos impactos econômicos enfrentados pelas unidades sucroalcooleiras 25

3.5.3 Consequências ambientais - de mudanças às propriedades físicas dos solos à problemática de processos erosivos 28

3.6 Erosão: mecanismos, formas, agentes, tipos e ocorrência 29

3.7 Práticas conservacionistas e sistemas de manejo 34

3.7.1 Práticas de caráter vegetativo 35

3.7.2 Práticas de caráter mecânico 36

3.7.3 Práticas de caráter edáfico 37

3.8 Potencialidade de armazenamento de águas nos dispositivos conservacionistas agrícolas como método de recarga dos aquíferos 38

3.9 Legislação e iniciativas governamentais relacionadas à conservação dos solos 39

3.10 Equação de perda de solos por erosão 40

3.10.1 Modelos de equações de perda de solo 41

3.10.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) 43

3.10.3 Fatores que afetam as perdas de solo 43

3.11 Tolerância de perdas de solo 51

3.11.1 Tolerância agronômica 51

3.11.2 Tolerância ambiental 53

4. MATERIAIS E MÉTODOS 55

4.1 Caracterização da área de estudo 55

4.1.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré 55

4.1.2 Caracterização do Município de Bocaina 56

4.1.3 Caracterização da microbacia do Ribeirão da Bocaina 58

4.2 Levantamento da base cartográfica para a elaboração de um banco de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) 59

4.2.1 Dados matriciais 59

4.2.2 Levantamento de dados vetoriais 61

4.3 Determinação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos 61

4.3.1 Dados Pluviométricos (Fator R) 61

4.3.2 Dados pedológicos (Fator k / Fator A) 63

4.3.3 Dados de uso e ocupação (Fator C) 64

4.3.4 Dados de práticas de conservação (Fator P) 65

4.4 Plano de informações para determinação de LS 65

4.5 Etapas para análise da variação da constante LS para diferentes desníveis verticais (DV) 67

4.6 Dimensionamento dos terraços agrícolas 69

4.7 Mapeamento dos terraços agrícolas existentes na microbacia e comparação com dimensionamento proposto 69

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 71

5.1 Vetorização das feições da microbacia 71

5.2 Fatores da Equação Universal de Perdas de Solo 75

5.2.1 Fator de erosividade (R)..... 75

5.2.2 Fator de erodibilidade (K)..... 79

5.2.3 Fator de cobertura do solo (C) 81

5.2.4 Fator de conservação (P)..... 83

5.2.5 Resultante de perda de solos (A)..... 84

5.3 Mapeamento dos terraços agrícolas existentes na microbacia do Ribeirão da Bocaina 86

5.4 Dimensionamento dos terraços agrícolas com base na EUPS 87

5.4.1 Etapas para dimensionamento dos terraços 87

5.4.2 Dimensionamento dos terraços agrícolas..... 90

5.5 Aplicação da metodologia proposta em uma área comercial – usina sucroalcooleira..... 94

5.5.1 Caracterização da área de experimento..... 94

5.5.2Fatores da EUPS para dimensionamento de terraços na área experimental 97

5.5.3Viabilidade econômica do dimensionamento de terraços proposto..... 100

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 105

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 107

APÊNDICE A..... 119

APÊNDICE B 121

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A produção de cana-de-açúcar tem se tornado cada vez mais importante no agronegócio brasileiro e concomitantemente para a economia do país. Como principais produtos, há a fabricação de açúcar, etanol e cogeração de energia elétrica, além de diversos subprodutos. Sua economia se estabeleceu nas exportações de açúcar, ganhou força na produção de etanol sustentada pelos carros "*flex power*" e nos últimos anos tem sido importante na matriz energética do País para a geração de energia elétrica.

Embasada em todos os níveis de produtos gerados, o fortalecimento do setor no país se deu de tal forma que detém a maior produção e comercialização mundial dos derivados da cana-de-açúcar, tendo o estado de São Paulo como destaque do país, sendo o maior produtor.

No entanto, na contramão do rótulo de energia limpa, a produção da cana-de-açúcar oferecia grandes impactos ambientais, já que para uma melhor colheita manual desta cultura se fazia necessário o emprego de fogo, a fim de aumentar o rendimento operacional, em ganhos com extração de açúcar e diminuição de impurezas. Tal queima também causa transtornos à saúde pública, como problemas respiratórios.

Sendo assim, o País não atendia às recomendações dos projetos de redução de emissões de carbono assinadas, através do Protocolo de Kyoto. Por conta dessa percepção, em 1997, surge o Decreto Estadual nº 42.056 que propõe o fim gradual da queima da palha dos canaviais no Estado de São Paulo. Seguido desse decreto, houve uma série de regulamentações para o fim da queima.

Esses mecanismos de controle, criados pelo governo, tornaram além dos seus produtos, propriamente a produção em uma cultura sustentável, já que ao invés de emitir CO_2, fruto das queimadas, provoca o sequestro deste gás pela ação fotossintética da planta.

O enfoque ambiental aliado à maior necessidade por mão-de-obra na colheita manual, rendimentos satisfatórios e menores custos, fizeram com que o setor investisse fortemente em tecnologias para a mecanização desta cultura, com a intenção de mitigar os impactos que a produção oferecia. Essa tecnificação forneceu ao campo uma maior precisão, eficiência e controle nas operações, dando estabilidade e arranjo às agroindústrias canavieiras.

Nesta nova arquitetura de produção, baseada em máquinas, os terraços agrícolas oferecem prejuízos operacionais à mecanização relacionadas principalmente ao baixo rendimento operacional, maiores gastos com combustíveis (manobras com máquinas), além

de efeitos com pisoteio nas linhas de plantio e compactação do solo, prejudicando o desenvolvimento radicular da planta e o estado físico do solo.

Com esses efeitos negativos e por falta de uma metodologia padrão para dimensionamento de terraços agrícolas para a cultura da cana-de-açúcar (cultura semi-perene, cobertura vegetal espessa sobre o solo, sulco profundo), na busca de uma melhor *performance* dos equipamentos, os mecanismos de conservação dos solos (terraços agrícolas), estão sofrendo mudanças, sendo redimensionados afim de atender também aos interesses da mecânica dos equipamentos, podendo ser menos seguros com respeito aos processos de erosão.

Esse novo cenário (do aumento de máquinas e retirada de terraços) tem oferecido riscos ao meio ambiente na susceptibilidade à erosão, compactação dos solos e assoreamento de rios. Propicia ainda a redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios, prejudicam o abastecimento público e a geração de energia hidroelétrica, intensificando problemas como as enchentes nos centros urbanos.

A retirada errônea de terraços também implica em efeitos colaterais na recarga dos aquíferos, já que os mesmos caracterizam um grande potencial de armazenamento de água, além de ferir a legislação conservacionista que visa assegurar a conservação do solo e qualidade da água.

Neste sentido, percebe-se a necessidade de uma investigação mais profunda quanto ao dimensionamento dos terraços, buscando atender primordialmente aos interesses ambientais de conservação do solo adequada à bacia. Assim, pretende-se dimensionar os terraços agrícolas, através da modelagem da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Propor a conservação do solo e da água através de geotecnologias, por meio do dimensionamento de terraços agrícolas com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

2.2 Específicos

- ✓ Elaborar um banco de dados cartográficos e tabulares para efetuar as simulações;
- ✓ Quantificar o valor médio do fator de cobertura do solo (Fator C da EUPS), para a cultura da cana-de-açúcar e desenvolver uma equação de correlação entre o NDVI;
- ✓ Calcular o valor de erosividade para a microbacia do Ribeirão da Bocaina;
- ✓ Desenvolver uma rotina computacional (*lisp*) para análise do fator LS;
- ✓ Dimensionar terraços agrícolas na microbacia do Ribeirão da Bocaina a partir do modelo EUPS, com base nos conceitos de tolerâncias de perda de solos agronômico e ambiental e realizar comparativo entre esses dois métodos;
- ✓ Comparar o método atual de dimensionamento de terraços agrícolas com a proposta por meio da EUPS;
- ✓ Verificar se a EUPS atende como uma metodologia interessante para dimensionamento de terraços agrícolas, e
- ✓ Avaliar a metodologia proposta neste estudo em uma área comercial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância econômica da produção da cana-de-açúcar no Brasil – de alimento à solução energética

A produção açucareira no Brasil se estabeleceu entre 1530 e 1540, trazida pelo colonizador Martins Afonso de Souza e tinha como características os pequenos engenhos, sendo a maioria do tipo trapiche, movidos por cavalos ou bois e alguns usavam força hidráulica. Em relação à mão-de-obra, no início o uso era extensivo de trabalhadores indígenas. Posteriormente houve uma transição para o emprego da mão-de-obra africana, já que os mesmos possuíam uma larga experiência com a atividade açucareira na Península Ibérica (BRAIBANTE *et al.*, 2013).

De acordo com Marin e Nassif (2013), no século XIX, a expansão dos polos produtores de açúcar pelo mundo reduziu a importância do Brasil no mercado mundial, comprometendo a viabilidade econômica da atividade interna. Neste período, São Paulo e Rio de Janeiro se firmaram como polos fornecedores para as regiões Sul e Sudeste.

Em 1933 foi criado o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) com a finalidade de regular a produção interna e desenvolver pesquisas sobre a cultura. Em 1973 o Brasil iniciou, com a primeira crise do petróleo, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com o objetivo de inserir o etanol na matriz energética brasileira (MARIN; NASSIF, 2013).

Em 1979 iniciou-se a produção de veículos movidos a etanol no Brasil. O baixo preço do produto atraiu a classe média e em 1985, 96% dos veículos fabricados no País eram movidos a etanol (CHEN; NUÑEZ; XU, 2014).

Porém, na segunda metade da década de 80 houve escassez de crédito para os produtores de cana-de-açúcar, diminuição nos preços pagos ao produtor de álcool e preços atrativos do açúcar no mercado internacional, culminando na escassez de etanol no mercado interno e no comprometimento da credibilidade do setor perante o consumidor final. Sendo assim, o Proálcool entrou em declínio comprometendo a produção de etanol no país, que anos mais tarde voltou a se reerguer com a fabricação de carros *flex power* (ou bicombustíveis, abastecidos tanto a álcool como gasolina) (LIMA, 2009).

A Figura 1 ilustra a mudança do comportamento pelos fabricantes na produção de carros pelo tipo de combustível.

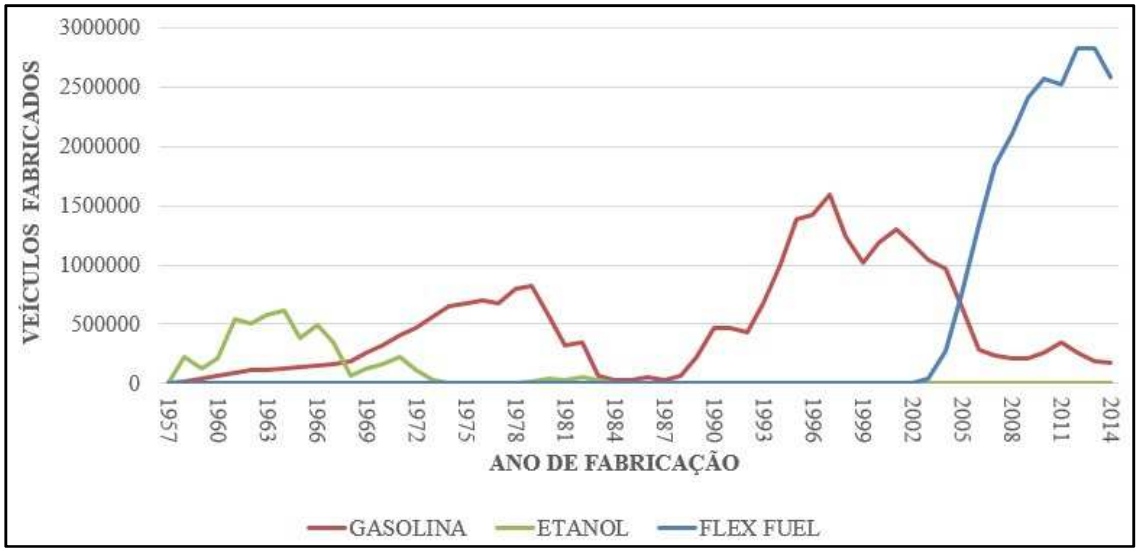


Figura 1 - Fabricação de veículos por tipo de combustível

Fonte: ANFAVEA (2015)

Voltado para o consumo interno, outro importante produto na cadeia da cana-de-açúcar, o etanol se destaca protagonizando um caso de sucesso de combustível verde do mundo. Isso porque a demanda mundial por alternativas aos combustíveis fósseis tem sido maior, uma vez que além de serem finitos, são responsáveis por grandes desastres ambientais e pela emissão de gases poluentes (FARGIONE, 2008).

Sachs (2005) afirma que para suprir essa necessidade o etanol tem se apresentado como uma das principais fontes energéticas a fim de sanar a carência por combustíveis menos poluentes, por atender às boas práticas do Protocolo de Kyoto[1] e responder positivamente como uma energia limpa na matriz energética do País.

Também não se pode esquecer o papel da geração de energia, proveniente da queima de bagaço da cana. Pelo fato do Brasil ser destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da matriz energética do país, a contribuição do setor sucro-energético tem papel essencial nesta participação, uma vez que somente os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do País. (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2014a; BORGES *et al.*, 2014).

No Balanço Energético Nacional de 2013, a fonte de biomassa atingiu uma produção de 39.679 GWh, incluindo tanto a energia elétrica destinada para o auto-consumo das

[1]Protocolo de Kyoto foi um tratado internacional firmado em 1997, com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como causa antropogênicas do aquecimento global. GREENPEACE. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: <www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf>. Acesso em: 05/06/2014.

unidades industriais quanto a encaminhada para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Comparado os dados de 2013 com 2012 é possível observar um aumento de 14%, o equivalente à geração total que a Usina Belo Monte produzirá a partir de 2019, quando estiver funcionando plenamente. Atualmente, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as 480 termelétricas a biomassa em operação têm 11.571 MW instalados, representando 8,4% da matriz elétrica do Brasil (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR, 2014b; ALMAZAN, 1999).

Atualmente o Brasil detém a maior produção e comercialização dos derivados da cana-de-açúcar, tendo o estado de São Paulo o maior produtor brasileiro. No relatório final de safra 2013/2014 da região centro-sul, o Estado de São Paulo foi responsável pela colheita de cerca de 367 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar, representando mais de 60% da produção desta região (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR, 2014d). Além do Estado de São Paulo a produção canavieira se concentra nas regiões centro oeste e litoral nordestino do país, como ilustra a Figura 2.

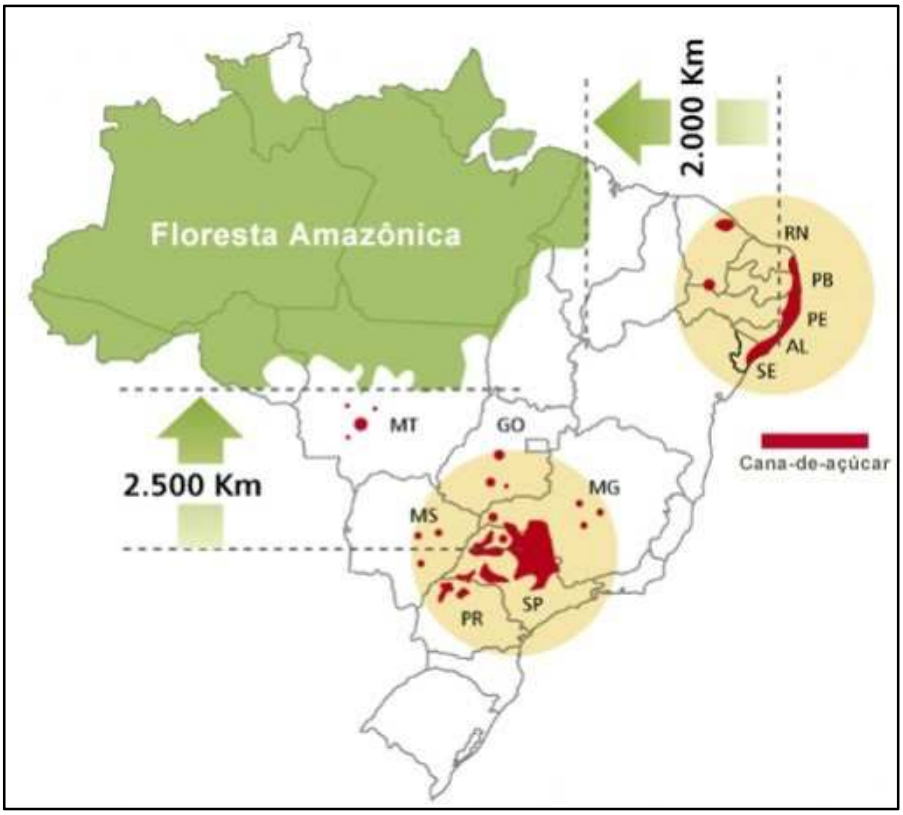


Figura 2 - Tendência de expansão da cana-de-açúcar pelo Brasil

Fonte: UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR (2014c)

No contexto global, o Brasil é conhecido pela sua produção sucroalcooleira em grande escala, principalmente no seguimento do açúcar. Segundo Neves (2013), o País respondeu por 50% do total de 58 milhões de toneladas de açúcar comercializadas em 2012/13, seguido por Tailândia (16%), Austrália (5%), Índia (4%), União Europeia (4%) e vários outros países, que somam os restantes 21%.

3.2 Impactos socioambientais causados pelas queimadas na produção da cana-de-açúcar

Apesar de sua importância econômica, a produção de cana-de-açúcar gera impactos socioambientais, principalmente aos relacionados à prática da queima. Geralmente, a principal razão para o uso de queima prévia nos canaviais é a eliminação da palha para facilitar o corte manual (CAPAZ; CARVALHO; NOGUEIRA, 2013).

A *World Health Organization* (Organização Mundial de Saúde, 1999), em sua publicação "Diretrizes de Saúde para Eventos de Fogo em Vegetação", descreve que a queima de biomassa gera problemas resumidamente em duas áreas ambientais:

- ✓ Poluição atmosférica: a fumaça tem um impacto direto sobre a saúde humana e na economia, influência de gases e emissões de partículas na composição da atmosfera;
- ✓ Biodiversidade: as queimadas contribuem com a mortandade da fauna e flora presentes na paisagem.

3.2.1 Impactos sobre a sociedade

As emissões provenientes da queima da cana-de-açúcar exercem impactos negativos sobre a saúde da população, reforçando a necessidade de esforços públicos para reduzir e eventualmente eliminar essa fonte de poluição do ar (CANÇADO *et al.*, 2006).

Os problemas trabalhistas relacionados aos cortadores de cana concentram-se em problemas de saúde ocupacional. Esses trabalhadores têm um nível elevado de acidentes de trabalho e estão propícios ao desenvolvimento de câncer de pulmão, bem como infecções crônicas que diminuem a sua produtividade (PHOOLCHUND, 1991).

A maior parte da literatura que trata do tema emissões atmosféricas produzidas pela queima de biomassa, aponta que estas causam efeitos prejudiciais à saúde humana. A Organização Mundial da Saúde (OMS) afirma que essas emissões atmosféricas causam

impacto sobre a mortalidade diária, admissões hospitalares, visitas à emergência dos ambulatórios e sobre a função pulmonar OMS[2](1999 *apud* LOPES; RIBEIRO, 2006), como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Pirâmide representando a proporcionalidade qualitativa populacional para cada situação possível em casos de exposição ao produto da queima da biomassa.
Fonte: OMS (1999 *apud* LOPES; RIBEIRO, 2006)

Uriarte *et al.* (2009) também foram uns dos pesquisadores que avaliou os efeitos das queimadas associadas ao cultivo de cana-de-açúcar sobre a saúde respiratória de idosos e crianças e destacaram os riscos dessa prática.

Ribeiro e Pesquero (2010), relatam que com a queima da cana, a colheita e o transporte são mais baratos do que os custos relacionados à "cana crua" (sem a prática de queimadas). A produtividade de cortadores manuais em cana queimada chega a ser o dobro do verificado na "cana crua". Portanto, os cortadores também preferem cortar cana queimada, apesar de ficarem expostos a maiores níveis de poeira e fuligem.

Com queima da cana-de-açúcar os gases e fuligem podem ser carregados pelo vento e chegar aos centros urbanos. Em um estudo de revisão realizado pelo *Global Burden of Diseace* em 2010 foram relacionados os 20 principais fatores de risco à saúde dapopulação, considerando seus efeitos a longo prazo, onde a $MP_{2,5}$[3] ambiente e a queima doméstica de combustíveis sólidos (como carvão mineral ou vegetal, madeira, resíduos diversos e lixo) estão incluídas. Dentre os 20 fatores, estão presentes os decorrentes dos combustíveis

[2] OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Guias para La Calidad del Aire. Genebra: World Health Organization; 1999.

[3]Mistura de partículas em suspensão no ar com características de chegar até os pontos mais profundos dos pulmões. RIGUERA, D.; ANDRÉ, P. A.; ZANETTA, D. M. T. Poluição da queima da cana e sintomas respiratórios em escolares de Monte Aprazível, SP. **Rev. de Saúde Públ.**, v. 45, n. 5, p. 878-886, 2011. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rsp/article/view/33031/35688>. Acesso em: 24 set. 2014.

(principalmente fósseis), bem como material particulado, no qual a foligem se enquadra, em destaque na Figura 4 (LIM *et al.*,2013).

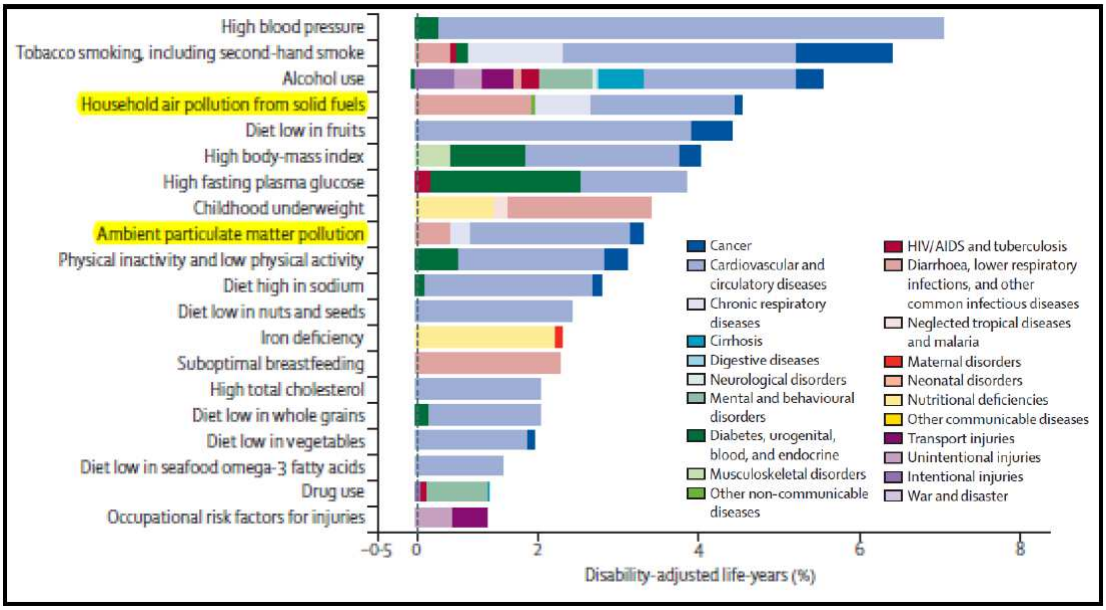


Figura 4 - Vinte fatores de risco mais importantes para a saúde, quantificados como porcentagem de anos de vida.
Fonte: Lim *et al.* (2013)

Reforçando o que os últimos autores descrevem, um estudo realizado pelo Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da faculdade de medicina da Universidade de São Paulo (LPAE, 2014), relata que a qualidade do ar, apesar das intervenções para controle das emissões implementadas principalmente nas últimas décadas, constitui uma das formas mais severas de agressão à saúde humana, dada suas fontes de emissão estarem fortemente associadas às ações antropogênicas, e portanto, presentes indistintamente em todos os aglomerados populacionais.

3.2.2 Impactos sobre o meio ambiente

A cultura da cana-de-açúcar é de grande importância para o território nacional, assim como para o Estado de São Paulo. No entanto, os problemas de queima de sua palha vêm trazendo desdobramentos ambientais e econômicos negativos, os quais culminaram na criação de uma lei que proibisse sua queima (MIRANDA *et al.*, 2014[4])

[4] Artigo elaborado a partir de informações desta dissertação.

Os benefícios econômicos apresentados pelo setor sucroalcooleiro são muitos. No entanto, alguns aspectos ambientais precisam ser melhorados, sendo que um dos mais importantes é a prática da queimada antes do corte, que apresenta um alto potencial de impacto ambiental. Geograficamente são apresentados os potenciais impactos causados pelas emissões de monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxido nitroso (N_2O) causados pela queimada de cana-de-açúcar no Brasil (OMETTO *et al.*, 2005; FERNANDES; CORREIA, 2014), conforme apresentado na Figura 5.

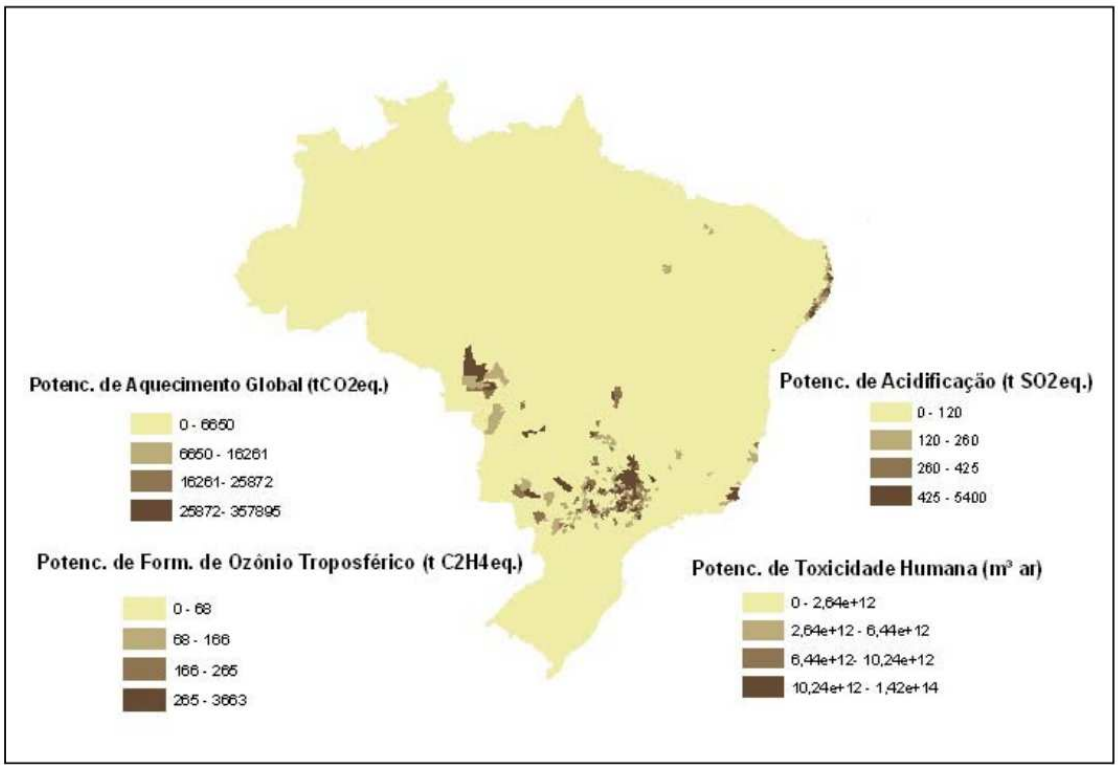


Figura 5 - Distribuição espacial de potenciais impactos ambientais da queima da cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: OMETTO *et al.* (2005)

Araújo *et al.* (2005) relatam que a queimada dos canaviais causa uma série de inconvenientes ao meio ambiente e em particular à entomofauna[5] associada à cultura. Em seu trabalho avaliam o efeito da queima controlada da palhada da cana-de-açúcar sobre a comunidade de insetos locais e concluem que o fogo afeta significativamente a estrutura da comunidade destes insetos.

O uso do fogo na agricultura traz sérios problemas para o solo e a fauna local, altera as composições químicas, físicas e biológicas do solo, traz prejuízos na ciclagem dos nutrientes e

[5]Fauna constituída de insetos. AZEVEDO, FR de *et al.* (2011). Composição da entomofauna da Floresta Nacional do Araripe em diferentes vegetações e estações do ano. **Ceres**, v. 58, n. 6, p. 740-748, 2011.

induz o uso de agrotóxicos para a fertilização do solo, destruindo um número ainda incalculável de espécies da fauna nativa, desde insetos até mamíferos (LIMA; SOARES; SIZENANDO, 2011; MATAVELI *et al.*, 2014).

3.3 A sustentabilidade na produção da cana-de-açúcar

Frente aos impactos ocasionados pela queima dos canaviais, Souza *et al.* (2005) salientam que a queima da palha da cana-de-açúcar tem provocado mudanças na legislação vigente exatamente por conta dos danos ambientais que este processo resulta. Assim, os autores afirmam que devido às mudanças ocorridas na legislação brasileira, especialmente quanto à redução/eliminação da queima prévia do canavial, a tecnologia manual vem sendo substituída pela mecanizada. Por conta dessa percepção em 1997, surge o Decreto Estadual nº 42.056, que propõe o fim gradual da queima da palha dos canaviais no estado. Seguido desse Decreto, veio, em 1998, a Resolução Conjunta SAA/SMA n. 1, que segue o proposto no Decreto Estadual nº 42.056 (SÃO PAULO, 1997). Posteriormente, surgem outras regulamentações e em 2003 o Decreto Estadual nº 47.700 de 11 de março de 2003, regulamenta a Lei nº 11.241, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Esse foi um importante passo que o estado impôs às unidades sucroalcooleiras, ao principal risco oferecido à sociedade e meio ambiente que a produção dessa cultura oferecia (SÃO PAULO, 2003).

Dando continuidade ao processo de combate às queimadas da cana-de-açúcar, segundo Perosa, Fredo e Belik (2012), o Protocolo Agro ambiental do Estado de São Paulo foi aprovado em 2007 visando complementar a legislação em vigor que previa a redução das queimadas e a produção sustentável da cana-de-açúcar. Resultado de uma coalizão de interesses públicos e privados, essa ação foi produto de um acordo entre a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Secretaria do Meio Ambiente, Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-sul do Brasil (ORPLANA) e União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA). Esse importante tratado, desde a sua criação em 2007 até a safra de 2012/2013, já contribuiu de forma significativa na redução da emissão de CO_2 como mostra a Figura 6.

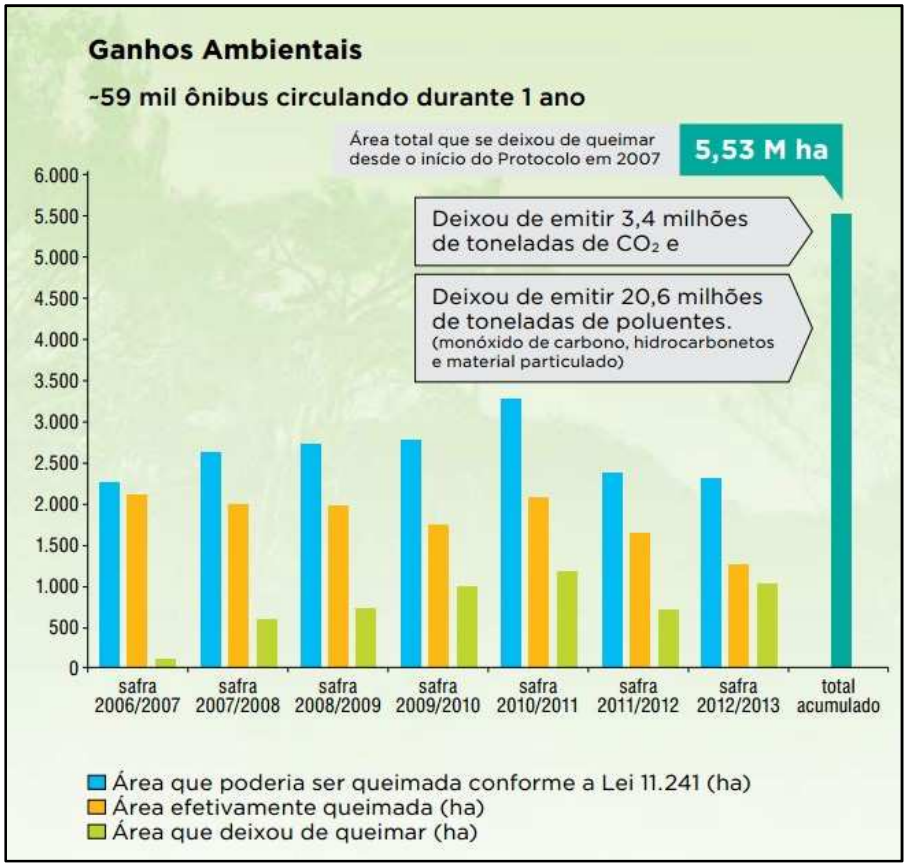


Figura 6 - Diminuição de poluentes provenientes da queima da cana-de-açúcar desde 2007 (início do Protocolo Agro-ambiental)
Fonte: UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR (2014e)

A eliminação da queima da palha da cana e sua manutenção na superfície do solo significaram um grande avanço para o setor sucro-energético, gerando benefícios agronômicos e ambientais (CARVALHO; BRAUNBECK; CHAGAS, 2012; JESUS; CARDOSO; TORQUATO, 2015).

Deste modo, a cultura gradativamente passa a ser mais sustentável, já que anualmente como prevê a lei o setor sucroalcooleiro deixa de praticar uma parcela de queima. Por trás do impasse das queimadas, existe uma cultura sustentável, que produz combustíveis limpos e que ao invés de gerar gases tóxicos, realiza a captação dos mesmos.

Assim, a sustentabilidade no processo de produção de cana-de-açúcar está essencialmente relacionada a projetos de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), desde sua concepção, conforme preconiza o artigo 12 do Protocolo de Kyoto, onde os projetos de redução de emissões deverão necessariamente contribuir para o desenvolvimento sustentável (SOUZA *et al.*, 2005), fato este ilustrado na Figura 7.

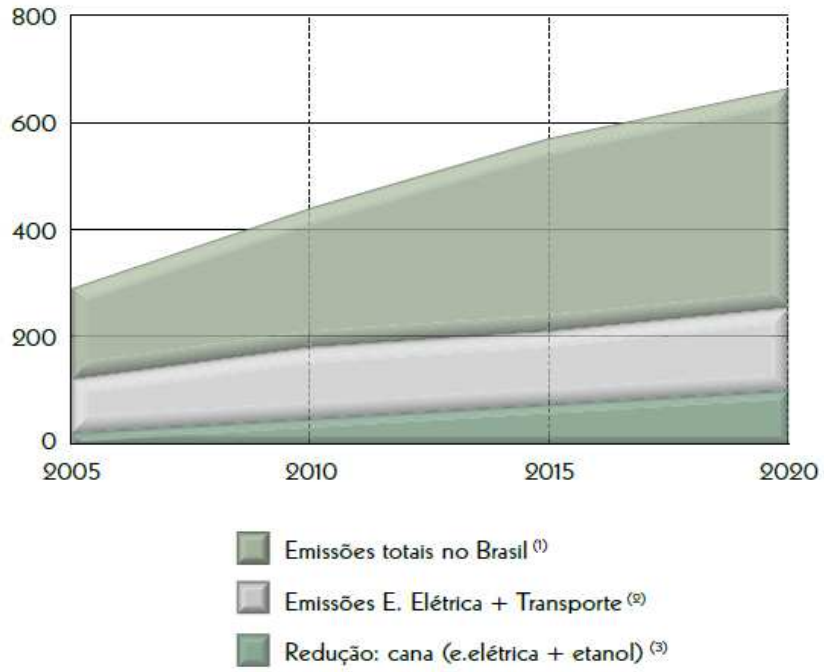


Figura 7 - Efeito estufa e efeito mitigação no Brasil (milhões de t. de CO_2/ano)
Notas: (1) Excluindo desmatamento. Estimativas: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Plano Nacional de Energia (PNE) 2030. (2) Emissões dos setores de Geração de energia elétrica mais Transportes. Estimativas: EPE, PNE 2030. (3) Mitigação, cana: etanol + energia elétrica. (Cenário deste estudo).
Fonte: Meira Filho e Macedo (2009)

Meneguello e Castro (2007) destacam que no caso das usinas de geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar, apesar de ser emitido carbono na fase da queima do combustível, ocorre o sequestro do mesmo durante a fase do crescimento da cana-de-açúcar e os créditos de carbono podem ser obtidos devido às emissões que são evitadas pela geração de energia elétrica nestas usinas em substituição às usinas térmicas a gás natural ou a óleo combustível, que possuem um balanço de emissões desfavorável.

Cabe também ressaltar que a cana-de-açúcar realiza o sequestro de carbono além da absorção da radiação solar, por ser altamente produtivo nos processos fotossintéticos, por se tratar de uma planta C_4[6], com 4,8% de eficiência energética de conversão da radiação solar (ODUM, 1971).

Um importante passo tomado pela política nacional para a produção da cana-de-açúcar, que se orienta na expansão sustentável da cultura, com base em critérios econômicos, ambientais e sociais, foi a elaboração do programa Zoneamento Agro-ecológico da Cana-de-

[6]Considerada C_4 plantas cujo primeiro composto estável formado durante as reações da fotossíntese contém 4 átomos de carbono, estas plantas apresentam uma alta taxa de fotossíntese líquida associado com um alto ponto e saturação de luz e taxa fotossintética elevada.LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Clima e solo. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sistemas de Produção 1, n. 6, set. 2010.Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/climaesolo.htm>. Acesso em: 21 maio 2014.

Açúcar (ZAEcana) ,que regula o plantio da cana, levando em consideração o meio ambiente e a aptidão econômica da região. Este programa foi criado, a partir de um estudo minucioso, estipulando as áreas propícias ao plantio com base nos tipos de clima, solo, biomas e necessidades de irrigação (MINISTÉRIO da AGRICULTURA PECUÁRIA e ABASTECIMENTO, 2009), sendo apresentado na Figura 8.

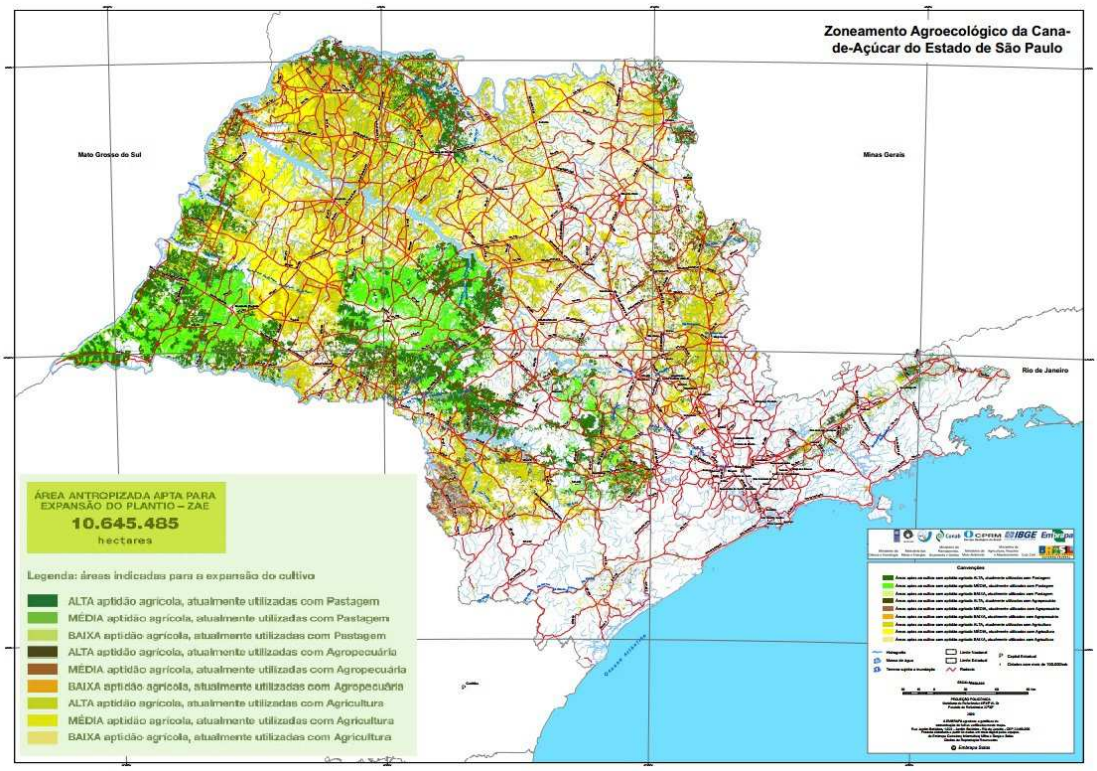


Figura 8 - Zoneamento Agro-ecológico da cana-de-açúcar (ZAE cana)

Nota: A legenda de cores ilustra as áreas indicadas para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar e sua utilização atual (agropecuária ou pastagem). As cores representam o grau de aptidão agrícola (alto, médio baixo).

Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2009.

3.4 Necessidade da mecanização agrícola na colheita da cana-de-açúcar

Para garantir a colheita crua, ou seja, sem a queima de sua palhada, houve a necessidade das indústrias investirem na mecanização da sua lavoura, já que o corte manual da cana-de-açúcar se faz muitas vezes inviável sem sua queima (ZORZO; JESUS; TORQUATO, 2015).

O maior grupo sucroalcooleiro do mundo, que é brasileiro (Grupo Raizen), afirma que a lei de proibição das queimadas acabou forçando os produtores a mecanizarem a colheita. A

adoção dessa prática trouxe vantagens na redução de custos da produção e das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, que inclusive podem causar danos à saúde (CAMPOS, 2014).

Segundo Reis (2009), a colheita mecanizada da cana-de-açúcar representa a necessidade de mão-de-obra, aliada à busca por rendimentos satisfatórios, menores custos de produção e leis ambientais a cumprir. Por isto, foi acordado para 2014 e 2017 o término da queima para áreas mecanizáveis e não - mecanizáveis, respectivamente (aos signatários do Protocolo Agro-ambiental). As usinas que aderirem ao cumprimento das regras estabelecidas garantirão o selo ambiental, o qual contribuirá para facilitar a comercialização de seus produtos.

As máquinas agrícolas que constituem o sistema de colheita mecanizado dessa matéria-prima (cana-de-açúcar) são consideradas pelas usinas como as mais dispendiosas (SANTOS *et al.*, 2014).

De acordo com Oliveira (2011), as usinas de açúcar e álcool vêm buscando cada vez mais mecanizar os canaviais, mas com a preocupação de controlar custos, não perder a qualidade e diminuir cada vez mais as perdas no campo. Portanto, a mecanização da colheita da cana-de-açúcar aumenta o rendimento operacional e reduz seu impacto ambiental, por dispensar a queima de resíduos.

A colheita mecanizada possibilita duplo ganho ambiental, resultando em menor emissão de gases de efeito estufa e na melhoria da qualidade do solo. No mesmo estudo, o autor aborda o balanço de carbono do etanol e enfatiza pontos positivos em relação à agricultura. Um exemplo se dá durante o processo de colheita da cana que retira esse gás da atmosfera e estoca-o no solo, ou seja, promove o sequestro de carbono (MISRA; SHRIVASTAVA, 2008; AGUIAR, 2010;).

A Figura 9 mostra as máquinas agrícolas utilizadas para a realização da colheita mecanizada. Sendo uma colhedora que corta e pica em toletes a cana-de-açúcar e um trator que acompanha toda operação para o armazenamento dos toletes. Em seguida, o mesmo descarrega a carga em carretas que serão transportadas à indústria canavieira.

Figura 9 - Máquinas agrícolas utilizadas para colheita mecanizada da cana-de-açúcar

3.5 Consequências da colheita mecanizada e os mecanismos atuais de conservação de solos

Com a maior mecanização da lavoura da cana-de-açúcar, trabalhos outrora realizados pelo homem foram desempenhados pelas máquinas, interesses menos ponderados se tornaram essenciais para a sobrevivência do setor. Os terraços agrícolas, por exemplo, que antes eram vistos como ostentação de modelos de segurança, atualmente apresentam desvantagens para o rendimento operacional das máquinas agrícolas e causadores da compactação de solos.

Esse conjunto de fatores gerados com o advento da mecanização agrícola na lavoura acarretou consequências negativas, tanto sociais, quanto econômicas e ambientais (SILVA; CASTRO, 2014).

3.5.1 Consequências sociais e o mercado de trabalho

Com o advento da mecanização nas atividades industriais e comerciais desenvolvidas pela sociedade moderna, acarretaram na substituição da mão-de-obra de algumas dezenas, às

vezes milhares de homens (dependendo da escala em que se trabalha). A competitividade natural do mercado sucroalcooleiro trouxe impactos importantes no mercado de trabalho.

O Estado de São Paulo, entre os anos de 1995 e 2009, gerou mais de 33 mil postos de trabalho formal somente na indústria de açúcar e álcool. Muito embora esse número seja somente de postos na área industrial, enquanto na lavoura houve uma perda de quase 9 mil postos de trabalho. O fato da perda desses postos de trabalho sugere que o Estado esteja com seu índice de mecanização do setor avançado e/ou com escassez de terra para essa lavoura, como ilustrado na Figura 10 (FERNANDES; SHIKIDA; DA CUNHA, 2013).

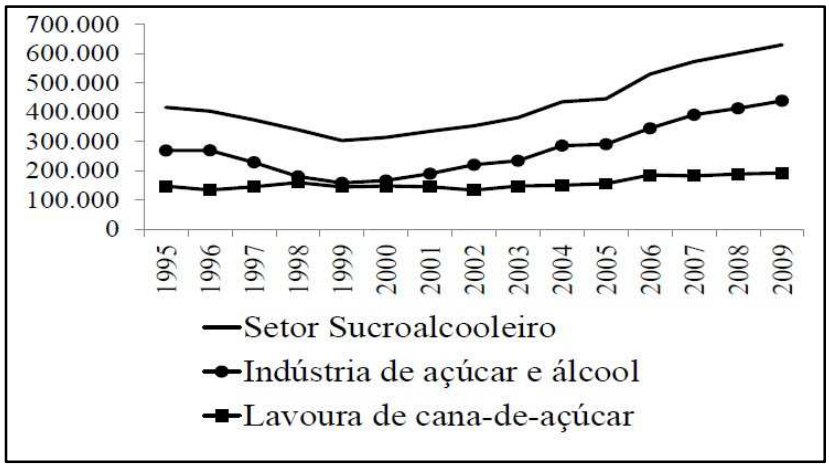


Figura 10 - Evolução do emprego formal no setor sucroalcooleiro brasileiro, na indústria de açúcar

Fonte: FERNANDES; SHIKIDA; DA CUNHA (2013).

No interior do Estado de São Paulo, na cidade de Ribeirão Preto (polo nacional do cultivo da cana-de-açúcar), a decisão da adoção da mecanização da colheita, além da viabilidade econômica, fez com que os empresários considerassem a redução da dependência na mão-de-obra rural contratada (RICCI; ALVES; NOVAES, 1994).

Para Moraes (2007), as alterações no ambiente institucional, como exemplo a proibição da queima da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e a aplicação mais efetiva da legislação trabalhista, induziram à mecanização da lavoura e reduziram o número de empregados envolvidos com a colheita manual do canavial. Apesar desses danos sociais (desemprego), houve impactos positivos como o aumento da formalização, o crescimento dos níveis salariais e a redução do uso de trabalho infantil, principalmente no Estado de São Paulo.

3.5.2 Consequências e alternativas para redução dos impactos econômicos enfrentados pelas unidades sucroalcooleiras

Na colheita mecanizada os maiores entraves dizem respeito às manobras ocasionadas pelos terraços agrícolas, como citam os autores Benedini e Donzelli, 2007:

> O sistema conservacionista tradicional da cana-de-açúcar, apesar de ser eficiente no controle de erosões, prejudica todas as operações mecanizadas, devido à construção de terraços. Como não existe paralelismo entre os terraços e estes são guias da sulcação, as linhas de cana tornam-se descontínuas, necessitando de manobras em máquinas e equipamentos e originando as ruas mortas que prejudicam o sistema operacional. O revolvimento exagerado do solo no preparo tradicional também prejudica o controle das águas da chuva, pois dificulta a infiltração, aumentando o escoamento superficial. O processo erosivo é causado basicamente pelo impacto direto das gotas de chuvas contra a superfície do solo descoberto. As partículas desagregadas selam a porosidade superficial, reduzindo a infiltração de água. Na medida em que a taxa de infiltração se reduz, começa a segunda fase do processo que é a erosão (BENEDINI e DONZELLI, 2007, p.3).

Benedini e Donzelli (2007) destacam que o conjunto de perdas agrícolas influenciados pelo baixo rendimento da mecanização da colheita da cana-de-açúcar, trouxe prejuízos financeiros às unidades sucroalcooleiras, no aumento do quadro de funcionários e de implementos agrícolas para sanar o baixo rendimento operacional, maior consumo de combustível, decorrente do maior número de manobras, bem como perdas na produtividade, em função do pisoteio e compactação do solo.

Para Furlani Neto (1994), a presença de “bicos” ou “ruas mortas[7]” nos talhões de cana-de-açúcar implica em aumento das manobras da colhedora e do veículo de carga sobre o talhão.

O impacto dessas manobras recai de tal forma sobre o custo agrícola, que segundo a unidade sucroalcooleira da região de estudo, o consumo médio da sua frota de colhedora é de cerca de 750 ml de diesel por manobra, e que cada manobra tem uma duração média de 90 segundos (BRISOLARI, 2014[8]).

Segundo o Grupo agroindustrial da região de estudo, em uma de suas fazendas, com cerca de 120 ha, com o novo planejamento de carreadores, sistematização da área e principalmente a retirada de terraços, evitou-se cerca de 770 manobras, o que representa uma redução de cerca de 540 litros de diesel e quase 20 horas de trabalho de uma colhedora, conforme ilustrado pela Figura 11.

---

[7] Sulcos que interceptam outra rua de plantio, necessitando fazer manobra para realização de colheita, no interior dos talhões (BENEDINI; CONDE, 2008).

[8] Brisolari A. **Consumo e duração média por manobra**. Informação recebida por adriano.brisolari@tononbioenergia.com.br em 20 mar. 2014.

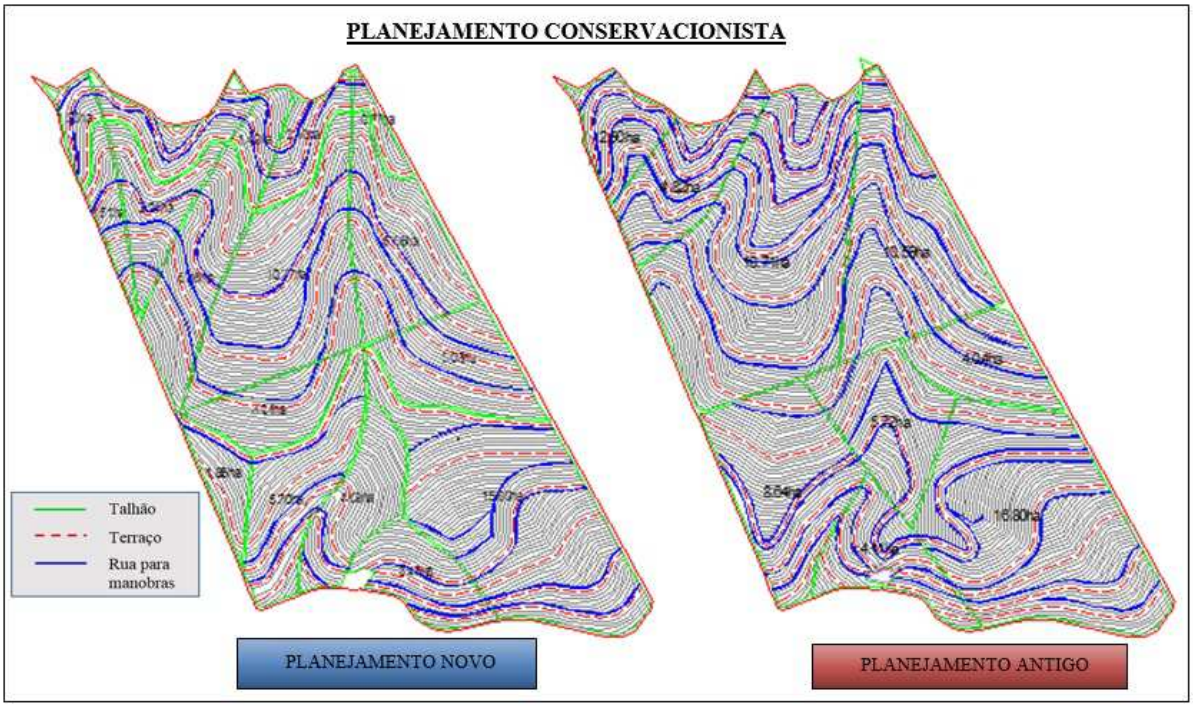


Figura 11 - Comparativo de quantidade de manobras entre planejamentos de sulcação de propriedades rurais.

Segundo Approbato (2014)[9] (gerente agrícola da usina inserida na microbacia estudada) esses números tem se repetido em outras áreas, as quais tiveram as mesmas modificações de preparo do solo. O mesmo salienta que a empresa conta com cerca de 35.000 ha com as mesmas características de relevo da área citada. A empresa adotando as mesmas práticas pode reduzir cerca de 223.000 manobras, considerando os valores médio de consumo e tempo por manobra. Essa redução confere à área de 35.000:

- Economia de combustível –223.125 manobras x 0,75 L de diesel/ manobra ≈ 167.340 L de diesel a menos para colheita. Considerando um valor médio de R$2,20 / L de diesel, essa ação poderia gerar uma economia de cerca de R$ 368.150,00.
- Maior rendimento operacional e custo de colheita – no exemplo dado pelo gerente agrícola e considerando o valor médio do tempo de manobra: 765 manobras x 1,50 minutos = 20 horas. O rendimento médio das colhedoras do grupo (gerenciado por Approbato) é de cerca de 45 t / h, deste modo tem-se 900 toneladas colhidas nas 20 horas economizadas pela retirada de terraços. O volume de 900 toneladas refere-se aos 120 ha da fazenda exemplificada, o que equivale a um rendimento de 7,50 t / ha a mais. Analogicamente, nos 35.000 ha ditos como susceptíveis a realização de melhorias agrícolas e

[9]Approbato. **Sistematização de áreas agrícolas**. Informação recebida por paulo.approbato@tononbioenergia.com.br em 22 nov. 2014.

retirada de terraços – 35.000 ha x 7,50 t / ha = 262.500 t. O preço médio pago pelo grupo na última safra às empresas prestadoras de serviços para realização da colheita mecanizada foi de R$15,00 / t colhida, assim, 262.500 t x R$15,00 / t = R$ 3.937.500,00, deixados de serem perdidos em decorrência à realização de modificações agrícolas e incluindo a retirada de alguns terraços agrícolas.

Os valores de economia descritos anteriormente referem-se somente a colheita mecanizada, principal e mais cara atividade realizada pela usina no campo. No entanto, as melhorias feitas nas áreas também mitigam custos em outras atividades, tais como: tratos culturais, plantio, aplicação de agroquímicos, dentre outros. Além de menor desgaste no material rodante, óleos lubrificantes (partes hidráulicas da máquina), manutenção, compactação do solo e principalmente no dimensionamento da frota e funcionários.

A unidade agrícola proprietária da área (Figura 11) realiza essa técnica de retirada de terraços há alguns anos. O planejamento para realização da técnica conta com a participação dos responsáveis pelos departamentos: topografia, preparo de solo, colheita mecanizada e plantio. O gerente agrícola conta que nunca houve problemas com tal atividade e que pelo contrário, a técnica resulta no melhoramento do rendimento operacional das colhedoras e das demais atividades agrícolas (APPROBATO, 2014[10]).

No entanto, áreas agrícolas administradas por outras unidades agroindustriais ou mesmos proprietários autônomos, muitas vezes por desconhecimento e falta de equipe técnica preparada cometem erros na retirada de terraços, quer seja pela época errada (períodos chuvosos), declividade das áreas ou tipo de solo. Esses casos têm propiciado a ocorrência de processos erosivos, tendo em vista que a implantação dos terraços atendem muito mais aos interesses operacionais da mecânica dos implementos, do que propriamente da conservação dos solos.

A Figura12 apresenta uma voçoroca ocasionada por um terraço agrícola mal dimensionado em uma área de plantação de cana-de-açúcar na região da área de estudo.

[10]Approbato. **Sistematização de áreas agrícolas**. Informação recebida por paulo.approbato@tononbioenergia.com.br em 22 nov. 2014.

Figura 12 - Rompimento de terraço agrícola mal dimensionado

3.5.3 Consequências ambientais - de mudanças às propriedades físicas dos solos à problemática de processos erosivos

A literatura mostra que uma das principais consequências da mecanização na colheita da cana-de-açúcar em relação ao solo é a erosão, influenciado pela compactação dos solos, em função do sobrepeso das máquinas e consequentemente à baixa infiltração propiciando processos erosivos.

A compactação dos solos provocada pelos implementos agrícolas é intensificada pelas manobras feitas pela colhedora para realização da prática. E essas manobras estão estreitamente ligadas aos terraços agrícolas (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Os efeitos da mecanização agrícola são amplamente documentados, desde os efeitos sobre o escorrimento superficial à erosão e mudanças na propriedade dos solos (LAL, 1984).

Bertoni e Lombardi Neto (2012, p.50), definem que “[...] a infiltração é o movimento da água dentro da superfície do solo. Quanto maior sua velocidade, menor a intensidade de enxurrada na superfície e, consequentemente, reduz-se a erosão”.

Devido ao efeito da pressão exercida pelo tráfego de máquinas principalmente na colheita, a qualidade física do solo sofre prejuízos; influência negativa do sistema de manejo

com colheita mecânica. Apesar de existirem vários estudos com relação às questões ambientais voltadas para a poluição atmosférica relacionados à mecanização e seus processos de colheita da cana-de-açúcar, a mesma atenção não tem sido dada aos impactos ambientais negativos promovidos pela erosão laminar (GARBIATE *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.* 2014; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2015).

Souza *et al.* (2005) ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média, constataram que a compactação do solo, em decorrência da colheita mecanizada dessa cultura, pode promover reduções superiores a 50% no volume de macro poros do solo. Por sua vez, tal alteração estrutural pode vir a comprometer a sustentabilidade dessa atividade agrícola, uma vez que essa classe de poros, em última análise, determina a taxa de movimentação de água no solo, a recarga do lençol freático e, consequentemente, potencializam as perdas de solo e nutrientes por erosão e o assoreamento dos mananciais.

3.6 Erosão: mecanismos, formas, agentes, tipos e ocorrência

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento, sendo considerada a principal causa de depauperamento acelerado das terras (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Rebouças, Bargas e Tundisi (1999) afirmam com relação a erosão:

> [...] dependendo do tipo de solo, da declividade do terreno e do cultivo, chuvas com intensidade acima de um certo valor podem provocar uma erosão superficial no solo, carreando partículas sólidas, nutrientes naturais ou artificiais, empobrecendo ou mesmo destruindo o solo e desagregando os corpos d'água (REBOUÇAS; BARGAS e TUNDISI, 1999, p.138).

Amorim *et al.* (2010, p.02), citam que "[...] a erosão do solo é responsável por aproximadamente 85% da degradação dos solos e pode ser acelerada pela associação entre intensificação das práticas agrícolas e eventos intensos de chuvas".

Carvalho (2008) destaca os prejuízos ocasionados nas terras agricultáveis:

> A erosão em terra útil é a que mais preocupa, pois o solo se constitui em uma camada de apenas alguns metros ou mesmo centímetros, sob uma ação erosiva constante. No caso da agricultura, a parte fértil é ainda menor, de pouca espessura, representando um sério problema quando ocorre o seu desgaste. O estudo da erosão é muito importante sob os aspectos sociais e econômicos, uma vez que é responsável pelos danos em terras agricultáveis e em outras áreas de interesse imediato, bem como pelos efeitos indiretos de assoreamento dos rios e lagos (CARVALHO, 2008, p. 33).

Silva, Schulz e Camargo (2007, p.55), afirmam que “[...] para regiões rurais o uso do solo coloca em jogo o sucesso de uma propriedade rural. Isto decorre do fato de a finalidade usual ser a produção agropecuária e o solo ser elemento-chave e ponto de partida para o possível sucesso dessa atividade”.

Zoccal (2007) ressalta a importância dos trabalhos de conservação de solos:

> Os trabalhos de conservação de solo quando são deficientes no dimensionamento de locação e construção das estruturas. Ficam muito aquém das necessidades para reter o escorrimento superficial das águas pluviais e provocam danos ambientais, principalmente no aparecimento de vários sulcos de erosão (ZOCCAL, 2007, p.13).

Para Bertoni e Lombardi Neto (2012), enquanto a erosão eólica é decorrente da intensidade dos ventos, desprendimento das partículas e transporte pelo mesmo, a erosão hídrica inicia: (a) ao cair das gotas da chuva sobre o solo; (b) desprendimento e salpicamento das partículas; (c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície.

Lepsch (2002) concorda com os últimos autores, quanto ao mecanismo de erosão ocasionado pela erosão hídrica:

> Ela se processa em duas fases distintas: desagregação e transporte. A desagregação é ocasionada tanto pelo impacto direto ao solo das gotas da chuva como pelas águas que escorrem na sua superfície. Em ambos os casos é uma intensa forma de energia que desagrega e arrasta o solo, que é a energia cinética ou energia do movimento e sabe-se que é proporcional ao peso (ou massa) do que está se movendo (água e/ou partículas do solo) e ao quadrado de sua velocidade (LEPSCH, 2002, p.154).

A Figura 13 ilustra o processo de início da erosão hídrica, descrito por Bertoni e Lombardi Neto (2012).

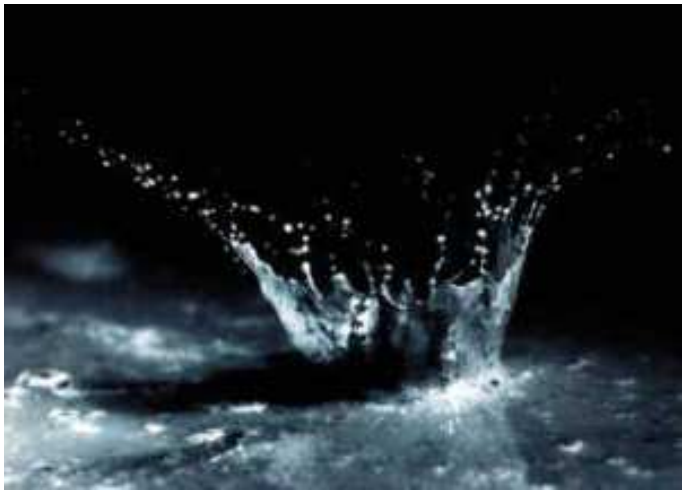


Figura 13 - Processo inicial da erosão hídrica

Fonte: Lepsch, 2002

O material transportado pela água de forma geral é separado conforme a granulometria das partículas, sendo primeiramente depositadas as partículas de baixa transportabilidade (grosseiros) e, por último, os materiais mais leves e finos, normalmente as argilas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

De maneira geral, a erosão causada pela água pode ser caracterizada de três formas: laminar, ravinhas e voçorocas.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2012), a definição para esses três tipos de erosão é:

a) Erosão laminar – remoção de uma camada fina de solo sobre toda uma área é a forma de erosão menos notada, que transporta de forma geral as partículas finas que essencialmente estão ligadas a fertilidade do solo;

b) Erosão em sulcos ou ravinhas – resulta em pequenas ranhuras irregulares na declividade do terreno, faz com que a enxurrada se concentre nestes sulcos, acelerando o processo de erosão;

c) Voçorocas – é a forma mais evoluída da erosão, quando a mesma torna proporções maiores, ocasionada por grandes concentrações de enxurradas.

Esses processos erosivos podem ser gerados basicamente de duas formas: naturalmente (processo geológico) e humana (processo acelerado ou antrópico). Conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Formas de erosões e suas características.

Forma de Erosão	Características
Erosão geológica (ou natural)	Ocorre sem a intervenção humana, em condições naturais ou não perturbadas.
Erosão acelerada (ou antrópica)	É o aumento da taxa de erosão sobre a erosão geológica. Sua causa é provocada pelo uso e ocupação do solo com novas atividades sobre a cobertura vegetal, como desmatamentos, atividade pecuária, culturas agrícolas e queima de restos vegetais, entre outros.

Fonte: Carvalho (2008)

Para que ocorra a erosão propriamente dita é preciso que haja um agente, seja ele ativo ou passivo para provocar a atividade. Para Carvalho (2008) os agentes são classificados segundo o Quadro 2.

Quadro 2 - Agentes erosivos

Ativos	Passivos
Água	Topografia
Temperatura	
Insolação	Gravidade
Vento	
Gelo	Tipo de Solo
Neve	
Ação de microorganismos	Cobertura Vegetal
Ação de animais	
Ação humana	Formação superficiais

Fonte: Carvalho (2008)

Além da erosão hídrica há outros tipos de erosão decorrentes de agentes erosivos, como eólica, fluvial, hídrica superficial e outros, como demonstrado por Carvalho (2008) no Quadro 3.

Quadro 3 - Tipos de erosão

Eólica	Fluvial	Hídrica Superficial	Remoção em massa	Provocada pelo homem/ animais	De ventos extremos
Poeira	Escavações	Erosão pluvial ou embate	Rastejamento ou cripe	Em obras diversas	Por enchentes
De transporte pelo ar	Erosão de margem	Erosão em lençol ou laminar	Solifluxão	Por desmatamento.	Por terremotos
De transporte na superfície	Erosão de leito	Erosão por escoamento difuso, ravina, sulcos.	Desprendimento de terra ou deslizamento	Na agricultura por aração de solos.	Por vulcanismos
		Erosão escoamento difuso intenso	Escorregamento superficial ou ruptura de talude	Na pecuária como pisoteio de gado	Por tornados e outros

Eólica	Fluvial	Hídrica Superficial	Remoção em massa	Provocada pelo homem/ animais	De ventos extremos
		Escoamento concentrado (voçorocas)	Escorregamento profundo		Pela variabilidade climática

Fonte: Carvalho (2008)

A erosão e o transporte de sedimentos superficiais de uma região urbanizada em sua maioria diferem dos processos que ocorrem em ambientes no qual o uso do solo é predominantemente para fins rurais.

Motivados pelo crescimento urbano desordenado em áreas periféricas sem o devido acompanhamento de uma infra-estrutura urbana adequada, a ocorrência de erosões tem causado um forte impacto negativo na qualidade do ambiente, em especial nos recursos hídricos (POLETO; MERTEN, 2009).

Para Tucci e Collischonn (2000) a geração de sedimentos urbanos provoca impactos:

> A drenagem urbana tem sido desenvolvida dentro de premissas estruturais onde os impactos são transferidos de montante para jusante sem nenhum controle de suas fontes. No escoamento esse processo tem provocado aumento da freqüência das enchentes e entupimento dos condutos e canais por sedimentos e a degradação da qualidade da água. Dentro desse contexto o controle da erosão urbana é fundamental tanto na manutenção da capacidade de escoamento do sistema de drenagem como na qualidade ambiental (TUCCI; COLLISCHONN, 2000, p. 210).

Enquanto no ambiente urbano o uso do solo limita-se, na sua maior parte, para fins de instalações, quer sejam industriais, residenciais ou comerciais, para regiões rurais o uso do solo esta relacionado diretamente com o sucesso de uma propriedade. Já que a finalidade usual na maioria das vezes é para a produção agropecuária e o solo ser o elemento-chave e ponto de partida para o possível sucesso dessa atividade (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

Às terras utilizadas com a finalidade agrícola não há só o problema da diminuição ou eliminação da cobertura vegetal. Podem ocorrer situações de alteração das propriedades físicas e/ou químicas do solo, tendo como consequência a perda da fertilidade, que leva à redução da produtividade, da resistência à erosão, e à contaminação dos recursos hídricos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

As erosões que ocorrem em estradas podem provocar situações de interrupções de tráfego, acidentes de consequências imprevisíveis, degradação do leito carroçável, dificuldade de mobilidade, redução da velocidade média atribuída à estrada, bem como, dificultar as soluções de caráter corretivo.

Segundo Scarpinella (2012), as estradas, principalmente as de terra, têm um importante papel para o escoamento de produtos, serviços e pessoas. No entanto, sofrem com os processos erosivos, sendo importantes contribuintes de sedimentos para rios, nascentes e reservatórios.

Neste sentido, deve-se entender melhor as práticas conservacionistas a serem adotadas, afim de mitigar os danos causados pela erosão. Com esta compreensão facilmente serão mantidas as relações solo-planta-água não quebrando suas interações entre si (SCOTT, 2000).

3.7 Práticas conservacionistas e sistemas de manejo

Parte das causas do esgotamento dos solos pela erosão pode sercontrolada.Para tanto, todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo denominam-se práticas conservacionistas.

Através das práticas conservacionistas, pode-se cultivar o solo sem depauperá-lo significativamente, amenizando assim um aparente conflito ecológico que existe entre a agricultura do Homem e o equilíbrio do meio ambiente. Tais práticas constituem uma tecnologia considerada moderna no tempo cronológico da agricultura e permitem controlar a erosão, ainda que não a anule completamente, mas reduzindo-a a proporções insignificantes em alguns casos (LEPSCH, 2002).

A conservação do solo não se limita simplesmente à aplicação de um número determinado de práticas; é todo um sistema de manejo do solo que assegura a obtenção dos maiores lucros possíveis sem diminuir a produtividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

As principais práticas conservacionistas segundo Lepsch (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (2012), baseiam-se em:

a) Proteger o solo contra os impactos das gotas de água através de uma cobertura (na maioria vegetal) amortecendo as gotas das chuvas;

b) Diminuir a velocidade das águas: inserir dissipadores de energia no meio que se deseja proteger a fim de diminuir a velocidade das enxurradas;

c) Diminuir o volume das águas na enxurrada: quanto maior o volume de água na enxurrada maiores serão os danos provocados.

Deste modo, estas podem ser divididas em: vegetativas, edáficas e mecânicas. Cada qual se utiliza de meios diferentes para controlar a erosão.

3.7.1 Práticas de caráter vegetativo

A prática de caráter vegetativo utiliza a própria vegetação para defender o solo contra erosão.

Para Lepsch (2002), as principais práticas de caráter vegetativo são:

- Reflorestamento;
- Formação e manejo adequado de pastagens;
- Cultivos em faixas;
- Controle das capinas;
- Faixas de árvores formando quebra-ventos; e
- Cobertura do solo com palha ou acolchoamento.

A Figura 14 exemplifica a palhada da cana-de-açúcar como um modelo de prática de caráter vegetativo na cobertura do solo.

Figura 14 - Cobertura do solo com palhada da cana-de-açúcar

3.7.2 Práticas de caráter mecânico

As práticas de caráter mecânico são aquelas em que se recorre a estruturas artificiais, como máquinas, para a construção de elementos conservacionistas. Têm por principal finalidade a quebra da velocidade de escoamento da enxurrada e facilitação da infiltração do solo.

Em geral, essas práticas introduzem algumas alterações no relevo, procurando corrigir declives muito acentuados pela construção de canais em patamares ou em linhas de nível, os quais interceptam as águas das enxurradas, forçando-as a se infiltrarem em vez de escorrer.

Podem ser destacadas algumas dessas práticas:

a) Terraço agrícola: conhecido como curvas de níveis;
b) Camaleões: lombadas em estradas rurais associados a terraços agrícolas;
c) Canal escoadouro: canais no interior das áreas agrícolas, afim de drenagem das águas pluviais;
d) Cacimbas: reservatórios das águas pluviais drenadas;
e) Sulcos profundos: sulcos de plantio.

O principal dispositivo conservacionista utilizado nos canaviais paulista é o tipo de terraço embutido, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Terraço do tipo embutido

3.7.3 Práticas de caráter edáfico

Segundo Lepsch (2002), as práticas edáficas são medidas que tratam das condições químico-físicas do solo em si, procurando manter e melhorar sua fertilidade, principalmente no que diz respeito à adequada disponibilidade de nutrientes para as plantas. Estas medidas baseiam-se em três princípios:

- Eliminação ou controle das queimadas;
- Adubações (incluindo calagem); e
- Rotação de culturas.

3.8 Potencialidade de armazenamento de águas nos dispositivos conservacionistas agrícolas como método de recarga dos aquíferos

As práticas conservacionistas além de exercerem papel fundamental no manejo e conservação do solo, também agem como mecanismos de armazenamento de águas e por sua vez realizam gradativamente a recarga do lençol freático.

Segundo Machado e Wadt (2015), a função do terraço é a de reduzir o comprimento da rampa, área contínua por onde há escoamento das águas das chuvas. Desta forma, diminui a velocidade de escoamento da água superficial, além de contribuir para a recarga de aquíferos.

Andrade (2002) também reforça a importância dos terraços agrícolas. Segundo a autora não se deve esquecer que antes de tudo, o agricultor deve primar por ter práticas de manejo do solo que favoreçam a infiltração de água em todo o terreno, pois desta maneira, ele aumenta a quantidade de água disponível para as plantas, favorece a recarga do aquífero freático e ainda reduz a possibilidade de provocar erosão.

Cabe ressaltar que os terraços agrícolas são compostos basicamente por uma longa estrutura de taludes que são implantados ao longo das áreas com a finalidade de não promover a erosão evitando a velocidade da água.

Por sua vez cada metro linear desses terraços são capazes de armazenarem milhares de litros de água, que gradativamente se infiltram, fazendo a recarga lentamente do aquífero. A Figura 16, ilustra alguns tipos de mecanismos conservacionista com represamento de água.

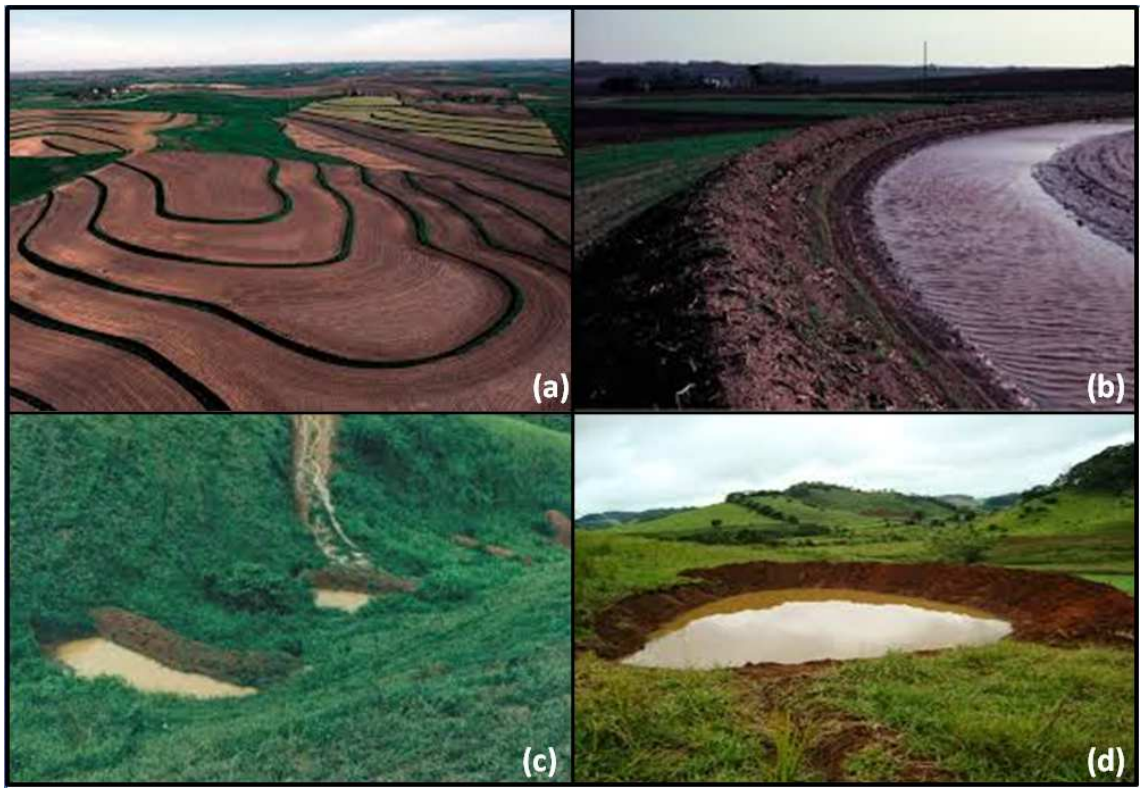


Figura 16 - Dispositivos conservacionistas para controle e represamento de águas pluviais.

Nota: (a) vista aérea de terraços em platô; (b) terraço com represamento de água; (c) barraginhas reservando água; (d) reservatório de água para controle de água pluvial.

Fonte: adaptado Valente (2009)

3.9 Legislação e iniciativas governamentais relacionadas à conservação dos solos

A erosão, além de um fenômeno físico, é também um problema social e econômico, e resulta em uma inadequada relação entre o solo e o Homem.

A meta da conservação não é proteger os recursos naturais como um fim, mas assegurar a sua melhor utilização, de maneira que sejam usados sem desperdício (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Em 1939, sob a denominação de serviço de terraceamento, se deu início em São Paulo, a primeira organização governamental de conservação do solos no País. Posteriormente, em 1942, esse serviço foi transformado na Seção de Combate à Erosão, Irrigação e Drenagem (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Em 1949, é criado o Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura (DEMA) e com ele a divisão de Conservação do Solo. Em 1970, foi extinto o DEMA, e toda a equipe técnica passou a integrar à Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Em 1988, foi criada a Lei Estadual paulista nº 6.171, de 4 de julho de 1988 (SÃO PAULO, 1988), que dispõe sobre o uso e conservação do solo. No primeiro artigo a lei declara que o solo é um patrimônio da humanidade e deste modo, deve ser conservado pelos seus usuários.

Em 1993, a Lei Estadual Paulista nº 8.421, de 23 de novembro de 1993 (SÃO PAULO, 1993), altera os disposto da Lei nº 6.171, sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.

Além dessas leis, outras iniciativas governamentais cobriram a necessidade de conservação do solo como:

- Programa Produtor de Água – desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA), o programa tem como foco o estímulo à política de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA). Com apoio a projetos que visam a redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015).
- Programa Estadual de Microbacias – seu objetivo é desenvolver ações e programas de tecnologias que proporcionem o desenvolvimento rural sustentável, aliando a produção agrícola e a conservação do meio ambiente, com o aumento da renda e melhor qualidade de vida das famílias rurais (ZUCCOLO, 2014).
- Programa Melhor Caminho - está respaldada pela Lei nº. 6171 de 04 de julho de 1988 e regulamentado pelo Decreto nº. 41.719, de 16 de abril de 1997, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola, para a execução de obras de recuperação de estradas rurais de terra, que são meios para o início dos processos erosivos (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO, 2015).

3.10 Equação de perda de solos por erosão

Uma alternativa para evitar os problemas citados anteriormente, pode ser a utilização de modelos para a estimativa de perdas de solo, trazendo informações antecipadas dos sedimentos gerados nas condições atuais da bacia (cobertura, práticas agrícolas, manejo, solos, etc.).

A modelagem do processo de erosão é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de avaliações confiáveis de predições de perdas de solo, além do planejamento de medidas de controle do referido fenômeno (MARTINS FILHO *et al.*, 2004; PRADO; NOBREGA 2008).

Com o emprego de equações em ambiente computacional é possível predizer os efeitos erosivos que podem ocorrem em uma bacia com a mudança de uma variável, como por exemplo, a distância entre os terraços agrícolas. O uso de equação de perda de solos é de fundamental importância para o planejamento conservacionista, dimensionamento de reservatórios e barragens, além de uma série de necessidades ambientais.

Ainda que os processos erosivos sejam antigos e conhecidos apenas ou somente, há pouco mais de 100 anos foram iniciados estudos com bases teóricas fundamentadas. Citações indicam que o Serviço Florestal Americano iniciou estudos qualitativos sobre erosões em 1915. Em 1917, M.F. Miller também promoveu estudos sobre o efeito da rotatividade de cultivo sobre escorrimento e a erosão em pequenas áreas experimentais (UNIVERSIDADE POLITÉCNICA DE MADRID, 1984[11], *apud* CARVALHO, 2008).

Embora tenha havido estudos relacionados com os processos erosivos, os primeiros trabalhos para elaboração de uma equação datam de 1940, na região de Corn Belt dos Estados Unidos. Por dez anos vários pesquisadores contribuíram com a melhoria desta primeira equação e em 1950, com a superação de suas limitações, a equação de perdas de solo foi aprovada. Em 1954, no *Runoff and Soil-Loss Data Center*, foi desenvolvida a atual equação de perdas de solo. Wischmeier e Smith atualizaram e incorporaram novos dados disponíveis para o Brasil (BERTONI; LOMBARDINETO, 2012).

Segundo os mesmos autores, os trabalhos com a equação universal de perdas de solos iniciaram no Brasil por Bertoni, utilizando dados existentes para o Estado de São Paulo. A partir de 1975, outros autores trabalharam para aplicar esta equação para as demais regiões do país.

3.10.1 Modelos de equações de perda de solo

Inúmeros modelos foram propostos ao longo dos últimos anos, como identificado através do Quadro 4 com características próprias, focados em algumas generalidades, tais como: simulação de processos hidrológicos, transporte de contaminantes e deposição de material, entre outros processos físicos. Sobretudo, constatou-se que a forma de predição de

[11] UNIVERSIDADE POLITÉCNICA DE MADRID. **Metodologia para evolución de laerosión hídrica**. Madrid: EscuelaTécnica Superior de Ingenieros de Montes, 1984.

erosão mais consistente foi a EUPS, fundamentada em conceitos empíricos (SILVA; CRESTANA, 2003).

Quadro 4 - Alguns modelos utilizados para simular processos erosivos em bacias hidrográficas

Modelo (abreviatura)	Nome	Autor e ano
USLE	*Universal Soil Loss Equation*	Wischmeier; Smith (1978)
ANSWERS	*Areal Nom-point Source Watershed Environmental Response Simulation*	Beasley*et al.* (1980)
EPIC	*Erosion-Productivity Impact Calculator*	Willians (1985)
AGNPS	*Agricultural Non-Point Pollution Source*	Young *et al.* (1987)
CREAMS	*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*	Knisel (1991)
GLEAMS	*Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems*	Knisel (1991)
RUSLE	*Revised Universal Soil Loss Equation*	Renard*et al.* (1991)
SWATT	*Soil and Water Assessment Tool*	Arnold *et al.* (1993)
WESP	*Watershed Erosion Simulation Program*	Lopes (1995)
MIKE-SHE		Refsgaard; Storm (1995)
WEPP	*Water Erosion Prediction Project*	Flanagan *et al.* (1995)
CHDM	*Catchment Hydrology Distributed Model*	Lopes (1995)
KINEROS 2	*Kinematie Runoff and Erosion Model*	Smith *et al.* (1995)
EUROSEM	*European Soil Erosion Model*	Morgan *et al.* (1998)
EROSION 3D	*3d Erosion Model*	Schmitd*et al.* (1999)
LISEM	*Limburg Soil Erosion Model*	Jetten; De Roo (2001)
TOPMODEL		Beven; Freer (2001)
SLURP	*Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes*	Lacroix*et al.* (2002)
IMPIERO	*Agricultural Soil Erosion Evaluation Model*	Licznar; Nearing (2003)

Fonte: Jetten *et al.* (1999)[12] *apud* SILVA; CRESTANA, 2003.

Das equações listadas a cima, a EUPS (USLE, em inglês) se destaca pela sua simplicidade de aplicação. Sendo uma equação estritamente empírica, pode ser mais bem aplicada em condições que são basicamente semelhantes aos encontrados nos diferentes fatores calibradas experimentalmente no campo (HILLEL, 1998).

[12] JETTEN, V.; DE ROO, A.; MORTLOCK, D. F. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. Catena, v. 37, p. 521-541, 1999.

3.10.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

Também conhecida pela sigla USLE (Universal SoilLossEquation), desenvolvida pelos pesquisadores Wischmeier e Smith em 1965 e posteriormente aprimorada por outros estudiosos. A equação superou as restrições climáticas e geográficas próprias dos estudos iniciais, recebendo o nome de Equação Universal de Perdas de Solo devido sua aplicação generalizada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), tal equação exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam a erosão pela chuva, sendo expressa pela Equação 1.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$ **[Equação 1]**

Em que:

A - Perdas anuais de solos ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$);

R - Fator de erosividade da chuva ($MJ.ha^{-1}.mm.ha^{-1}$);

K - Fator de erodibilidade dos solos ($MJ.ha^{-1}.mm.ha^{-1}$);

LS - Fator topográfico que expressa o comprimento (em metros) e a declividade do terreno em porcentagem (adimensional);

C - Fator que expressa o uso e manejo do solo e cultura (adimensional);

P - Fator que expressa a prática conservacionista do solo (adimensional).

Sendo:

$R \times K \times L \times S$ - Fatores dependentes das condições naturais e;

$C \times P$ - Fatores relacionados à forma de ocupação.

3.10.3 Fatores que afetam as perdas de solo

O poder erosivo da água depende da quantidade de chuva, o tipo de solo, da declividade e do comprimento da vertente e da presença de vegetação. Conforme o tipo de vegetação e a extensão da área vegetada este processo pode ser mais ou menos intenso (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2014).

a. Fator de erosividade(chuva) – R

Este fator de erosividade é um valor numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção. Assim, o índice de erosividade da chuva (R) pode ser estimado pela Equação 2, de Bertoni e Lombardi Neto (2012):

$$R = 6{,}886 \times \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0{,}85}$$ **[Equação 2]**

Em que:
R - Índice de erosividade da chuva;
r - Precipitação média mensal (mm);
P - Precipitação média anual (mm).

b. Fator de erodibilidade (solos) – K

A erodibilidade do solo é a relação entre a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico que é continuamente mantido sem cobertura, sofrendo as operações culturais normais (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

A fim de utilizar a EUPS de forma mais rápida com menor custo, alguns métodos foram criados para atender essa necessidade, com a determinação indireta da erodibilidade, baseando-se nas características físicas e químicas do solo, como o uso do nomógrafo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), apresentado na Figura 17.

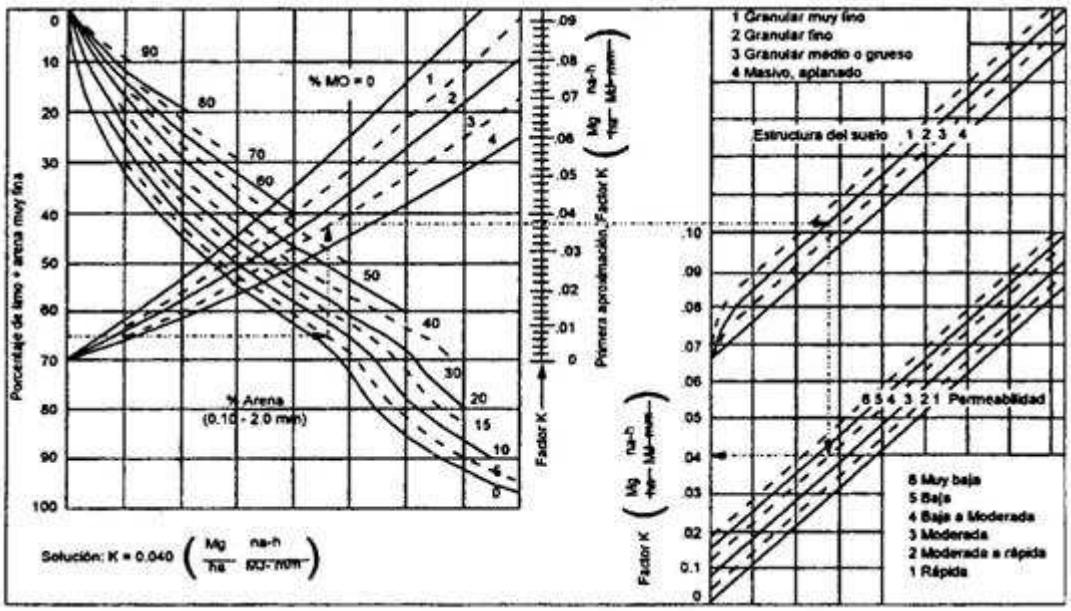


Figura 17 - Nomógrafo de Wischmeier

Fonte: Wischmeier e Smith, 1978.

Bertoni e Lombardi Neto (2012) realizaram muitos trabalhos referentes às estimativas do Fator K em diversas classes de solos do Estado de São Paulo. Segundo os autores, as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade causada pela ação da água "[...] são aquelas que: (a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; (b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento" (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012, p. 54). Este fator apresenta valores tabelados que foram experimentados e desenvolvidos por anos, sendo apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores do Fator de erodibilidade (K) de alguns solos do Estado de São Paulo

Classe de solo	**Fator de erodibilidade (K)**	
	Horizonte A	Horizonte B
Alissolo Crômico Argilúvico abrúptico A moderado textura média/muito argilosa	0,0197	0,0063
Argissolo Amarelo Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média	0,4278	0,0391
Argissolo Vermelho Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	0,0228	0,0112
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	0,0466	0,01
Argissolo Vermelho Eutrófico câmbico A moderado textura argilosa/muito argilosa	0,0178	0,0074
Terra Roxa estruturada	0,0201	0,0175

Classe de solo	Fator de erodibilidade (K)	
	Horizonte A	Horizonte B
Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico	0,0254	0,0186
Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	0,0347	0,0345
Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	0,0433	0,0267
Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico A moderado textura média	0,0441	0,0361
Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico	0,3267	0,575
Gleissolo HáplicoTa Distrófico típico A moderado textura errática	0,0044	0,0266
Latossolo Roxo Distroférrico típico A moderado textura muito argilosa	0,0072	0,0054
Latossolo Vermelho Ácrico típico A moderado textura muito argilosa	0,0263	0,0152
Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura muito argilosa	0,0061	0,0038
Latossolo Amarelo Distrófico típico A proeminente textura média	0,057	0,0513
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico A moderado textura argilosa	0,0112	0,0041
Latossolo Vermelho Acriférrico típico	0,0085	0,0058
PodzólicoVermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	0,00521	0,00498
PodzólicoVermelho-escuro Distrófico típico	0,00511	0,00473
Luvissolo Crômico Pálicoarênico A moderado textura arenosa/média	0,2466	0,0313
Luvissolo Crômico Pálicoplanossólico A moderado textura arenosa/média	0,1509	0,0353
NeossoloQuartzarênicoÓrtico típico A fraco	0,1448	0,1081
NitossoloHáplico Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	0,0355	0,0187
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa	0,013	0,0062
Nitossolo Háplico Eutroférricochernossólico	0,0104	0,0065
Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico A moderado textura muito argilosa	0,0081	0,0074
Planossolo Hidromórfico Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	0,0317	0,0088

Fonte: Adaptado de MARQUES *et al.*, 1997; MANNIGEL *et al.*, 2008; DEMARCHI; ZIMBACK, 2014.

Embora alguns solos sejam mais erodíveis que outros, é oportuno lembrar que a quantidade de solo perdido pela erosão, não está relacionado somente as características do solo, mas também às práticas e atividade de produção agrícolas adotadas. Ou seja, culturas anuais ou perenes, plantio morro a baixo ou em faixa, cobertura vegetal ou solo exposto. São tipos de manejos que podem prejudicar ou auxiliar no combate à erosão, independentemente do tipo de solo.

Segundo Carvalho (2008), existem classes de interpretação dos valores do fator de erodibilidade, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de interpretação para os valores do Fator k

Intervalos de valores de K ($t.ha.ano.tm^{-1}.ha^{-1}.mm^{-1}$)	Classes de interpretação
< 0,15	Erodibilidade baixa
0,15-0,30	Erodibilidade média
>0,30	Erodibilidade alta

Fonte: Carvalho, 2008

c. Fator de comprimento e grau de declive (topográfico) - LS

A erosão causada pela ação da água tem seus efeitos intensificados de acordo com a topografia local, ou seja, o comprimento de rampa e o grau de declividade. Os coeficientes que definem esses parâmetros na EUPS são dados por L e S.

O Fator LS[13] é a relação de perda de solos esperada por unidade de área em um declive qualquer comparado com uma parcela de solos unitária de 25 m de comprimento com 9% de declive (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Este fator pode ser calculado de acordo com a Equação 3.

$$LS = 0{,}00984 \times C^{0{,}63} \times D^{1{,}18}$$ **[Equação 3]**

Em que:
C - Comprimento do declive (m);
D - Declividade (%).

Bertoni e Lombardi Neto (2012, p.65), destacam que "[...] para áreas terraceadas, o comprimento do declive a usar na determinação do valor de LS na equação é o intervalo do terraço". Com base nesta afirmação será realizado o dimensionamento dos terraços agrícolas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012, p.65).

Esse valor pode ser calculado automaticamente por meio de algoritmos computacionais que varrem a superfície topográfica local, calculando por meio de greides os valores individualizados deste fator (COWEN, 1993; DESMET; GOVERS, 1996).

[13] Cabe destacar que as variáveis L e S são representadas separadamente. No entanto, para a aplicação prática da equação são considerados conjuntamente como um fator topográfico (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

d. Fator de uso e manejo do solo (cobertura vegetal) – C

O fator de cobertura do solo corresponde à parcela de resistência oferecida pela cultura à ação dos agentes erosivos. Quando as perdas de solos ocorrerem em uma área continuamente descoberta, as mesmas podem ser estimadas pelo produto das variáveis R, K, L e S. Essa resistência oferecida pela cobertura vegetal depende de sua sequência de cultura e práticas de manejo, arquitetura da planta (fechamento) e estágio de crescimento durante o período chuvoso. Seu valor é a relação esperada entre as perdas de solo de uma área cultivada e essa mesma área descoberta. Como se trata de um fator adimensional, os valores são tabelados para algumas culturas e variações de uso e manejo do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). A Tabela 3 apresenta valores do Fator C para algumas culturas.

Tabela 3 - Fator de cobertura para algumas culturas agrícolas

Prática/ Cobertura	Valor médio anual do Fator C
Solo exposto	1,000
Floresta ou vegetação densa com copas altas e fechadas	0,001
Campo com boa cobertura	0,010
Campo já utilizado para pastagem (sem recuperação)	0,100
Coqueiro, café, cacau (com cobertura)	0,1-0,3
Algodão, fumo	0,5-0,7
Arroz (com adubação intensiva)	0,1-0,2
Trigo, sorgo	0,4-0,9

Fonte: Adaptado de Mitchell; Bubenzer in Kirkby; Morgan, 1980[14]*apud* Silva; Schulz; Camargo, 2007.

Para Sila; Schulz; Camargo (2007), o fator de uso e manejo estabelece a relação entre as perdas de solo de um terreno com certo tipo de cobertura e as perdas correspondentes a um terreno descoberto. Como a planta está em contínuo crescimento ao longo do tempo, o valor do Fator C, pode variar ao longo do ano, havendo a necessidade de atribuir um valor anual médio, quando cabível.

O Fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo desenvolvidas nas atividades de uso do solo. Desta maneira, as perdas de solo têm comportamento diferente ao longo do desenvolvimento da planta, bem como das atividades de

[14] MITCHELL, J. K.; BUBENZER, G. D. Soil loss estimation. Chaper 2, p. 17-62. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. Soil erosion. John Wiley; Sons Ltd., 1980.

preparo do solo, plantio, colheita e pós-colheita.

Bertoni e Lombardi Neto (2012) relatam que os efeitos de cobertura e manejo podem ser considerados aproximadamente uniformes dentro dos períodos:

a) Período D - preparo do solo: desde o preparo ao plantio;
b) Período 1 - plantio: do plantio há um mês após o plantio;
c) Período 2 - estabelecimento: fim do Período 1 até dois meses após o plantio;
d) Período 3 - crescimento e maturação: dois meses após o plantio até a colheita;
e) Período 4 - resíduo: colheita até o preparo do solo.

A Tabela 4 identifica a razão de perdas de solo para cada período.

Tabela 4 - Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta

Cobertura, sequência e manejo	**Produtividade**	**Razão de perdas de solo por período de estádio de cultura**				
		D	1	2	3	4
Milho, contínuo palha queimada	Média	37	30	21	6	1
Milho, contínuo, palha enterrada	Média	23	19	17	4	2
Milho contínuo palha superfície	Média	-	5	2	1	1
Algodão, contínuo, convencional	Média	40	60	40	50	20
Soja, contínuo, convencional	Média	35	30	20	20	5
Pasto (1^0 ano), rotação	-	-	-	40	-	-
Pasto (2^0 ano), rotação	-	-	-	0,4	-	-
Cana-de-açúcar (1^0 ano) convencional	Média	-	-	15	-	-
Cana-de-açúcar (1^0 ano) convencional	Média	-	-	0,15	-	-

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto, 2012.

No caso particular da cana-de-açúcar, muitos autores adotam o Fator C com valores próximos a 0,6, a fim de justificar a sua densidade vegetativa e a produção de palhada (SPAROVEK, G. *et al.*, 2000; MELLO; BUENO; PEREIRA, 2006)

Tradicionalmente o Fator C da EUPS envolve a relação de valores tabelados conforme os dados apresentados pela Tabela 4. Com o advento de novas tecnologias, como as ferramentas de sensoriamento remoto, viabilizou-se a determinação dos valores deste fator de forma rápida, objetiva e considerando a variabilidade da vegetação em seu estado atual (RENARD *et al.*, 1997; PARVEEN; KUMAR, 2012; BARGIEL *et al.* 2013).

Uma das principais ferramentas de monitoramento da superfície espacial e mudanças temporais é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN ou pela sigla inglês NDVI), criado por Rouse *et al.* (1973), utilizadas para avaliação da condição vegetativa das plantas via sensoriamento remoto (CARVALHO, 2014).

Através dos valores de NDVI alguns métodos foram desenvolvidos para correlacionar o fator C da equação de perdas de solo (ASIS; OMASA, 2007; SCHÖNBRODT *et al.* 2010; DURIGON *et al.*, 2014). Essa correlação só foi possível a partir de modelos de regressão linear, baseados em *softwares* estatísticos (JONG, 1994; LIN, 2002; LE *et al.*, 2012;ALEXANDRIDIS *et al.*, 2013;BARGIEL *et al.*, 2013).

e. Fator de práticas conservacionistas – P

Este fator é adimensional e refere-se à perda de solo de uma determinada área comparativamente, com e sem práticas conservacionistas. Ou seja, uma cultura plantada morro abaixo (plantada no sentido do declívio), em relação à plantada com técnicas conservacionistas. Para Bertoni e Lombardi Neto (2012), as práticas de conservação dos solos mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, ou em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas.

A Tabela 5 apresenta alguns valores do Fator P da EUPS, para práticas conservacionistas de proteção do solo contra erosão.

Tabela 5 - Valor do Fator P para algumas práticas conservacionistas

Práticas conservacionistas	**Valor de P**
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 2012.

Bertoni e Lombardi Neto (2012, p.65), destacam que “[...] o valor de P para áreas terraceadas, portanto, deverá ser o mesmo do plantio em contorno, uma vez que, reduzindo o comprimento de declive, reduzem-se as perdas de solo pela raiz quadrada do comprimento”.

Há autores que relacionam a declividade da área com a variação do Fator P. Ou seja, apesar da adoção de práticas conservacionista, ainda assim, deve ser levado em consideração

o relevo da área para que ela seja eficaz. Como mostra a Tabela 6, no qual para cada grau de declividade e respectiva prática conservacionistas, existem diferentes valores de P.

Tabela 6 - Valores de algumas práticas conservacionistas - Fator P

Grau de declividade	Plantio morro abaixo	Plantio em contorno	Cordões de vegetação permanente	Terraceamento
1-2	1,0	0,6	0,30	0,12
3-8	1,0	0,5	0,25	0,10
9-12	1,0	0,6	0,30	0,12
13-16	1,0	0,7	0,35	0,14
17-20	1,0	0,8	0,40	0,16
21-25	1,0	0,9	0,45	0,18

Fonte: Mitchell; Bubenzer 1980[15], Wischmeier; Smith, 1978[16]; Bertoni; Lombardi Neto, 1990[17], *apud* Silva; Schulz; Camargo, 2007.

3.11 Tolerância de perdas de solo

Existem duas formas de analisar a tolerância quanto à perda de solos: vista pela ótica agronômica que avalia quais as perdas de solo máximas aceitáveis em uma área agrícola (nutrientes do solo), ou a ambientalista em termos de sedimentos, gerados em uma área de contribuição ou mesmo na bacia hidrográfica considerada (CARVALHO, 2008).

3.11.1 Tolerância agronômica

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), a tolerância agronômica com relação a ótima agronômica é uma questão de julgamento coletivo.Fatores físicos e econômicos são levados em consideração, estreitamente ligados a quantidade de nutrientes perdidos sobre a taxa de formação do solo. Portanto, quanto mais nutrientes o solo possuir mais ele pode ser erodido, conforme pode ser observada na Tabela 7.

[15] MITCHELL, J. K.; BUBENZER, G. D. Soil loss estimation. Chaper 2, p. 17-62. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. Soil erosion. John Wiley; Sons Ltd., 1980.
[16] WISCHMEIER, W. H.; SHMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook n. 282. Science and Education Administration United States Department of Agriculture, 1978.
[17] BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Editora Ícone, São Paulo, 1990.

Tabela 7 - Tolerância de perdas de solo por erosão para alguns solos do Estado de São Paulo.

Classe de Solo	Tolerância ($ton.ha^{1}.ano^{1}$)
Alissolo Crômico Argilúvicoabrúptico A moderado textura média/muito argilosa	7,83
Argissolo Amarelo Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média	3,00
Argissolo Vermelho Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	11,26
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	9,06
Argissolo Vermelho Eutróficocâmbico A moderado textura argilosa/muitoargilosa	11,22
Podzólico Vermelho-amarelo	7,90
Podzólico Vermelho escuro	6,60
Podzólico com cascalho	5,70
Terra Roxa estruturada	13,4
CambissoloHáplico Tb Distrófico típico	3,67
CambissoloHáplico Tb Distrófico latossólico	14,70
Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	7,95
CambissoloHáplico Tb Eutrófico típico A moderado textura média	11,62
EspodossoloFerrocárbicoHidromórfico típico	7,79
GleissoloHáplicoTa Distrófico típico A moderado textura errática	5,82
Latossolo Roxo	12,00
Latossolo Vermelho Distroférrico típico A moderado textura muito argilosa	7,00
Latossolo Vermelho Ácrico típico A moderado textura muito argilosa	9,47
Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura muito argilosa	11,34
Latossolo Amarelo Distrófico típico A proeminente textura média	12,45
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico A moderado textura argilosa	11,53
Latossolo Vermelho Acriférrico típico	10,97
NitossoloHáplicoEutroférricochernossólico	9,02
Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico A moderado textura muito argilosa	11,72
PlanossoloHidromórficoEutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	5,74

Fonte: Adaptado de MILLER; GARDINER (1997);SILVA; SCHULZ; CAMARGO (2007); MANNIGEL *et al.* (2008); BERTONI; LOMBARDI NETO (2012).

O termo tolerância de perdas remete ao máximo de solo que pode ser perdido, tendo como agente a erosão acelerada[18]. Sua unidade é expressa em massa por unidade de área no tempo ($t.ha^{1}.ano^{1}$), de forma a manter os seus níveis de fertilidade e com equivalente produtividade por longo período de tempo (WISCHMEIER;SMITH, 1978).

[18] Perda rápida do solo, de forma que a natureza não é mais capaz de regenerar, de forma geral provocada pela ação humana. FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION of the United Nations.Disponívelem<www.fao.org/ag/againfo/programmes/pt/lead/toolbox/.../ErosInd.htm>. Acesso em: 02/09/2014.

As perdas de solo também podem ser associadas ao uso agrícola. Algumas dessas perdas são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Perdas de solos de algumas culturas agrícolas

Cultura/uso do solo	**Perdas de terra ($t.ha^{1}.ano^{1}$)**
Algodão	24,8
Amendoim	26,7
Feijão	38,1
Milho	12,0
Soja	20,1
Cana-de-açúcar	12,4
Café	0,9
Laranja	0,9
Pastagem	0,4
Reflorestamento	0,9
Áreas Críticas (estradasperiurbanas)	175,0

Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (1993)[19]*apud* Silva; Schulz; Camargo, 2007

Para Pruski (2009), o valor de tolerância de cada solo depende dos fatores físicos (tipo de solo, declividade e erosão antecedente), econômicos e de tempo requerido para a formação de cada tipo de solo.

3.11.2 Tolerância ambiental

A tolerância de perda de solo sobre a ótica ambiental refere-se a quantidade erodida de sedimentos independentemente de sua condição pedológica, econômica ou nutricional, mas sobretudo o volume erodido que propiciará danos ambientais.

Considerando o conceito de tolerância de perda de solo, Carvalho (2008), apresenta a Tabela 9.

[19] BERTONI, D.; LOMBARDI NETO, F. Manual técnico de tanejo e conservação do solo e água – Embasamento Técnico do Prgrama de Microbacias Hidrográficas. Manual CATI nº 38. Campinas, SP, 1993.

Tabela 9 - Tolerância de perdas de solo

Taxa de perdas de solo ($ton.ha^{1}.ano^{1}$)	**Interpretação**
< 10	Nula a pequena
10-15	Moderada
15-50	Média
50-120	Média a forte
120-200	Forte
> 200	Muito Forte

Fonte: Carvalho, 2008.

Com a previsão antecipada das perdas de solos de uma área é possível determinar as combinações de cultivo e manejo a serem adotadas, nas quais estas perdas sejam menores que a tolerância. Assim pode-se ter uma verificação antecipada e satisfatória do controle da erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo para o desenvolvimento desse trabalho está localizada no município de Bocaina – SP, denominada microbacia do Ribeirão da Bocaina, afluente do rio Jacaré Pepira. Portanto, acondicionada na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, conforme ilustrado na Figura 18.

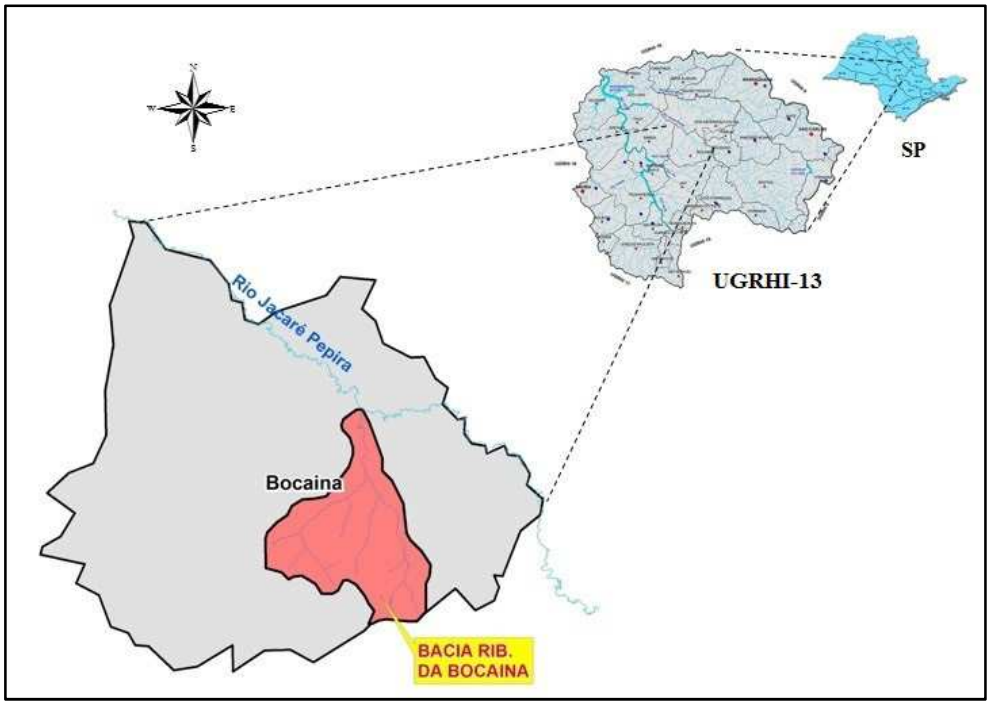


Figura 18 - Mapa de localização da microbacia do Ribeirão da Bocaina

Este local foi escolhido para estudo de caso, devido a disponibilidade de dados, proximidade ao Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), conhecimento prévio da região e presença de uma indústria canavieira o que facilitou a aquisição de dados.

4.1.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré

Segundo a Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2014), o comitê da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré foi criado em novembro de 1995 e

instalado oficialmente um ano depois, seguindo o contexto do Art. 4º das disposições transitórias da Lei nº 7663/91.

Esta Bacia Hidrográfica atende 34 municípios, sendo eles: Bocaina, Agudos, Araraquara, Arealva, Areiópolis, Bariri, Barra Bonita, Bauru, Boa Esperança do Sul, Boracéia, Borebi, Brotas, Dois Córregos, Dourado, Gavião Peixoto, Iacanga, Ibaté, Ibitinga, Igaraçu do Tietê, Itaju, Itapuí, Itirapina, Jahú, Lençóis Paulistas, Macatuba, Mineiros do Tietê, Nova Europa, Pederneiras, Ribeirão Bonito, São Carlos, São Manuel, Tabatinga, Torrinha e Trabijú.

O Conselho da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré conta ainda com cinco câmaras técnicas que dão suporte à diretoria e à plenária. Cabe destacar que, atualmente, está em fase final de implantação a cobrança pelos usos de recursos hídricos da bacia. Na Tabela 10 estão identificadas as principais características da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré.

Tabela 10 - Características gerais da Bacia Hidrografia do Tietê-Jacaré

Área de drenagem	11.779 km²
População	1.462.855 habitantes
Principais rios	Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira
Reservatórios	Bariri, Ibitinga e Lobo

Fonte: Adaptado de Sistema Integrada de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, 2014.

4.1.2 Caracterização do Município de Bocaina

Segundo o IBGE (2014a), o município está localizado nas proximidades do Rio Jacaré-Pipira, junto a um boqueirão no meio da mata, fundada pelo Capitão Bento Bernardes Rangel e Luiz Valladão de Freitas, a povoação de ″Arraial de São João″. Este nome decorreu da devoção ao santo das festas juninas, época em que se deu a fundação, e posteriormente chamada somente de ″Bocaina″ em virtude do grotão ou boqueirão junto ao qual foi instalado o povoado, em terras doadas por José Inácio e seu sobrinho José Inácio Alvarenga.

Os primeiros habitantes de Bocaina se deram em função de um surto de febre amarela nas áreas vizinhas. Fugidos dessa doença, vieram buscar abrigo em Bocaina na segunda metade do século XIX. As principais atividades da região eram o plantio de café, cereais e algodão, mas com a queda dos preços do café introduziu-se a cana-de-açúcar que se espalhou por todo o município (PREFEITURA DE BOCAINA, 2014).

O IBGE destaca alguns números gerais do município, dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Informações gerais município de Bocaina

População estimada (2014)	11.691
População (2010)	10.859
Área da unidade territorial (km²)	363,926
Densidade demográfica (hab./km²)	29,84
Cultivo de Cana-de-açúcar (ha)	11.550
Cultivo de Milho (ha)	450
Cultivo de Café (ha)	200
Cultivo de Laranja (ha)	55
Cultivo de Nós (fruto seco) (ha)	9

Fonte: IBGE, 2014a. *Dados do censo de 2012.

A produção de cana-de-açúcar é a principal atividade agropecuária desenvolvida no município. Segundo o INPE (2014), em seu programa de monitoramento dos canaviais brasileiros via imagens de satélite, o CANASAT, o município de Bocaina destina cerca de 11.410 ha de seu limite geográfico para o cultivo da cana-de-açúcar. A Tabela 12 mostra a evolução do plantio entre os anos de 2006 a 2012.

Tabela 12 - Área colhida de cana crua, com queima e total colhido em Bocaina

Ano	crua (ha)	crua (%)	queima (ha)	queima (%)	total (ha)
2006	2.028	16,50	10.275	83,50	12.303,00
2007	6.998	49,00	7.277	51,00	14.275,00
2008	7.299	54,90	5.985	45,10	13.284,00
2009	7.961	58,10	5.741	41,90	13.702,00
2010	9.729	68,90	4.395	31,10	14.124,00
2011	8.235	60,00	5.486	40,00	13.721,00
2012	6.112	53,60	5.298	46,40	11.410,00

Fonte: Adaptado de INPE, programa Canasat (2014). *Último levantamento realizado em 2012.

Geograficamente, o plantio está disposto segundo a Figura 19, que identifica por cores as áreas cultivada com cana-de-açúcar e colhidas com o emprego ou não de fogo.

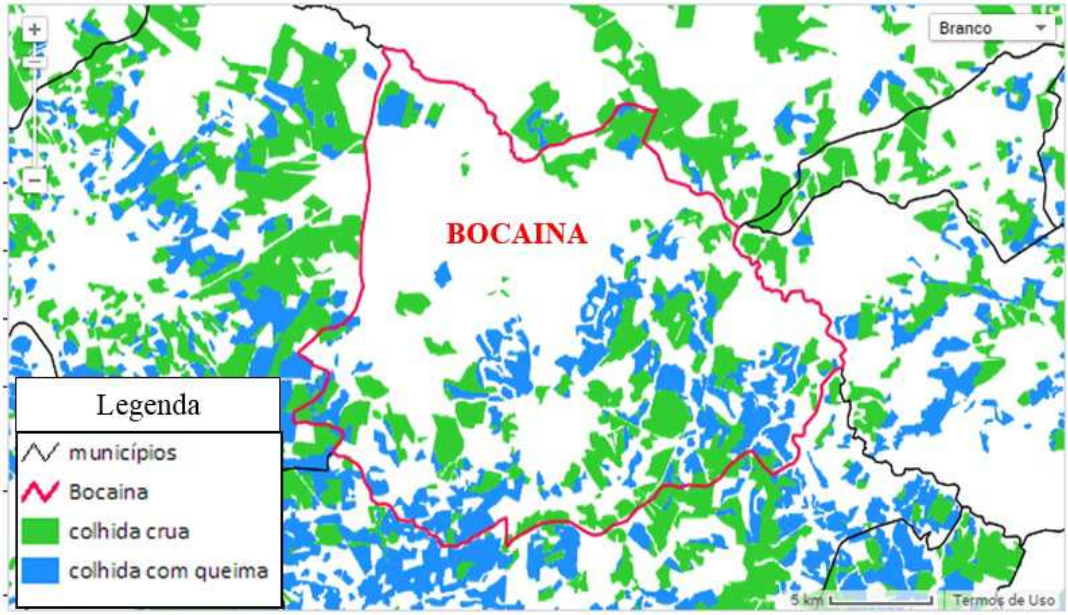


Figura 19 - Colheita de cana-de-açúcar no município de Bocaina

Fonte: Adaptado de INPE, programa Canasat (2014).

4.1.3 Caracterização da microbacia do Ribeirão da Bocaina

A microbacia do Ribeirão da Bocaina tem como principal córrego o Ribeirão da Bocaina que dá nome a cidade. Algumas informações relevantes dessa microbacia são descritas na Tabela 13.

Tabela 13 - Principais informações sobre a microbacia Ribeirão da Bocaina

Área de drenagem	4.650 ha
Cota superior / inferior	685 m / 435 m
Córrego principal	Ribeirão da Bocaina
Comprimento dos talvegues	36.100 m
Comprimento do talvegue maior	12.320 m
Quantidades de nascentes	12
Exutório da microbacia	Córrego Bocaininha

A seguir serão apresentadas, as principais etapas da metodologia deste estudo.

4.2 Levantamento da base cartográfica para a elaboração de um banco de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Para a composição dos planos de informações foram coletados um conjunto de dados, a fim de compor uma base cartográfica da microbacia em estudo, por meio de um banco em SIG, sendo manipulado pelo *software* ARC GIS 9.1 (ESRI, 2014).

Posteriormente para análise das informações foram gerados relatórios, mapas temáticos, gráficos e outros dados tabulares e objetos de análise para obtenção dos resultados deste estudo. A Figura 20 ilustra a composição dos dados para manipulação em SIG.

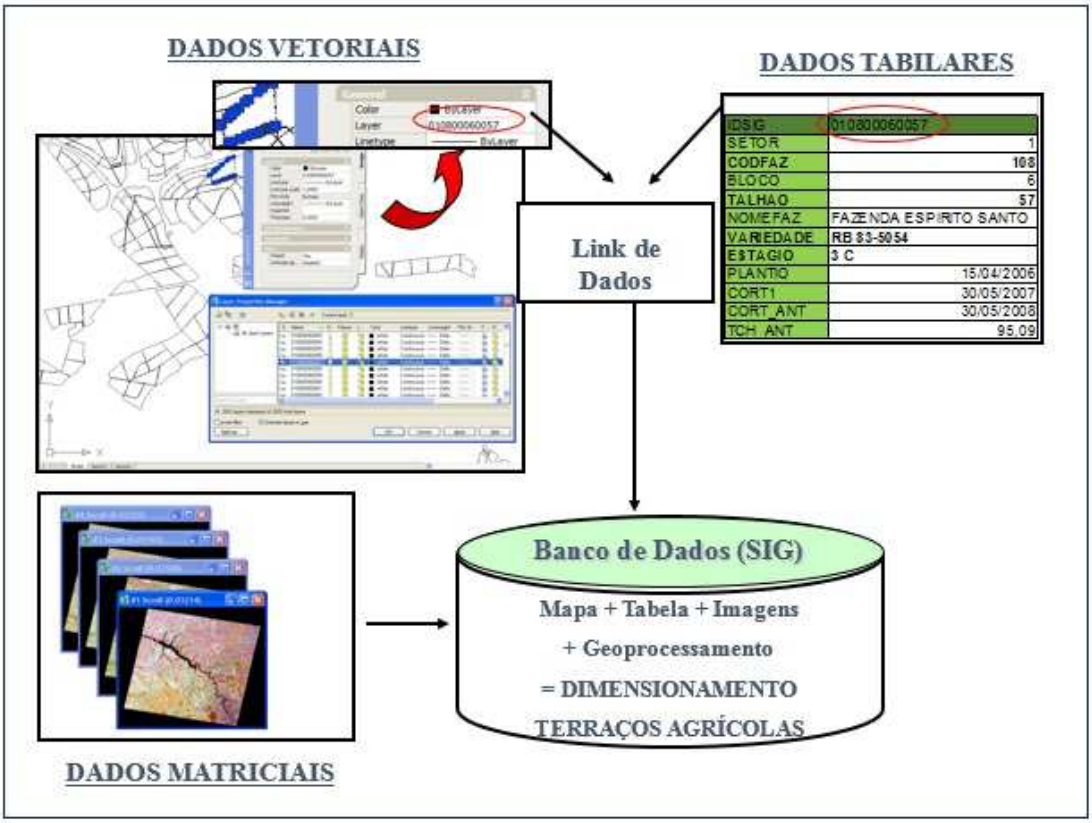


Figura 20 - Estrutura para elaboração do banco de dados em SIG

4.2.1 Dados matriciais

Foram utilizadas imagens de satélite para o levantamento dos dados vetoriais de uso e ocupação, e altimetria, para geração dos coeficientes utilizados pela EUPS.

Para o levantamento do uso do solo, foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo Programa MAPEIA (programa de mapeamento a partir de imagens aerofotogramétricas) da

Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA – EMPLASA, órgão vinculado à Secretaria Estadual de Governo de São Paulo, fruto de uma parceria entre a empresa em conjunto com a USP sob um certificado de licença de uso.

Utilizou-se imagens ortofotos com os pares estereoscópicos das quadrículas sf-22-z-b-ii-2-NE, sf-22-z-b-iii-1-NO, sf-22-z-b-ii-2-SE, sf-22-z-b-iii-1-SO, que circunscreve a área da microbacia Ribeirão Bocaina, conforme Figura 21.

Figura 21 - Quadrículas imagens programa MAPEIA

A empresa Emplasa realizou um sistemático controle sobre as etapas de levantamento aerofotogramétrico, apoiado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As fotos aéreas foram geradas com GSD (*Ground Sample Distance*) ou resolução espacial de 0,45 metros em média, e as ortofotos com 1 metro. A aquisição das fotos aéreas se deu basicamente nos períodos mais secos de inverno, dos anos de 2010 e 2011, e as ortofotos foram finalizadas em 2012. As câmeras utilizadas foram as Ultracam, modelos X e XP, hoje da Microsoft. As aeronaves utilizadas foram um Turboélice Carajá e um Jato Lear Jet. As fotos aéreas têm superposição lateral de 60 % e 30% entre as faixas de vôo, em formato

digital com composição de cores RGB (*red, green and blue*), possuem as coordenadas dos centros perspectivos e a respectiva data de obtenção de cada imagem (EMPLASA, 2012).

4.2.2 Levantamento de dados vetoriais

Para o levantamento das características físicas da bacia, realizou-se a vetorização das feições por meio das imagens de satélites adquiridas. Também foi solicitado à unidade sucroalcooleira do município, dados agrícolas da área em estudo (tabulares, notas técnicas, outros). Pela proximidade e volume de plantio de cana-de-açúcar, a unidade produtora responsável, detém quase todas as informações da ocupação da microbacia, como, área colhida manualmente e mecanicamente, sistema de colheita crua ou queimada.

Para averiguação dos nomes dos rios, estradas e uma série de informações locais recorreu-se ao mapeamento cartográfico disponibilizado pelo IBGE, através de arquivos digitais.

4.3 Determinação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos

A determinação dos fatores da EUPS foi desenvolvida de tal forma a serem trabalhados em ambiente computacional, organizados e manipulados em SIG. Portanto, os dados forão caracterizados como planos de informações, de forma vetorial, matricial ou tabular.

4.3.1 Dados Pluviométricos (Fator R)

Os dados pluviométricos da região foram extraídos da base de dados da estação hidrometeorológica localizada na cidade vizinha ao local de estudo, o município de Jahú. Sua localização esta nas coordenadas 22º18’50”S, 48º32’54” O (sistema de projeção SIRGAS 2000), na cota 583,4 m em relação ao nível do mar, com distância de cerca de 20 km do ponto médio do local de estudo, conforme pode ser observada na Figura 22.

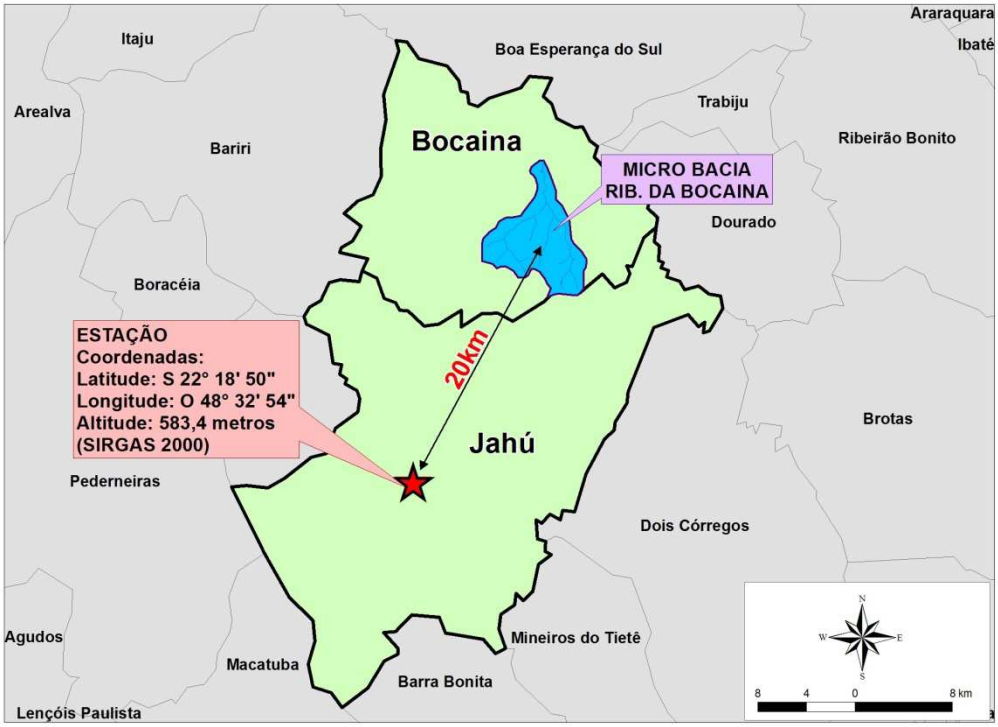


Figura 22 - Distância entre a estação hidrometeorológia FATEC-JAHU e a microbacia Ribeirão da Bocaina

A estação hidrometeorológica da Faculdade de Tecnologia de Jahú (FATEC) foi inaugurada oficialmente em agosto de 2002, implementada mediante um convênio firmado entre o Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (CTH/DAEE), o Serviço de Água e Esgoto do município de Jahú(SAEMJA), e a Faculdade de Tecnologia de Jahú, do Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza" (FATEC JAHU, 2015) a Figura 23 ilustra esta estação.

Figura 23 - Estação hidrometeorológica FATEC-JAHU

Fonte:FATEC JAHU, 2015.

Em função de disponibilidade a Fatec-Jahú forneceu dados no período entre 2006 a 2014, dos quais possuíam seus registros, foram calculadas suas médias para utilização na [Equação 2].

4.3.2 Dados pedológicos (Fator k / Fator A)

Os dados pedológicos da região de estudo foram adquiridos por meio da unidade sucroalcooleira que está inserida na microbacia estuda. Segundo a empresa a carta de solos foi elaborada parcialmente por um profissional autônomo especialista em solos e outra parte pelo Centro Tecnológico de Campinas (CTC), por meio de parceria e convênios estabelecidos entre as duas empresas.

Para a determinação do Fator pedológico “k” da EUPS, recorreu-se à literatura para estabelecer o coeficiente para os solos da microbacia, ou solos com as características mais próximas às dos encontrados na área.

4.3.3 Dados de uso e ocupação (Fator C)

Neste estudo foi adotado o Fator de ocupação (C) a partir da correlação com os valores do NDVI. Deste modo, foram selecionadas nove imagens do satélite Landsat 8 disponibilizadas pela *United States Geological Survey* - USGS (2014), entre dezembro de 2013 e dezembro de 2014, com boa qualidade radiométrica, a fim de avaliar os estágios vegetativos do uso e ocupação local na época chuvosa e seca do ano estudado.

As imagens foram georreferenciadas com pontos de controle dentro do Sistema de projeção *Universal Transversa de Mercador* (UTM), Datum SAD 69. Foram evitados ruídos atmosféricos nos índices de vegetação, por meio do cálculo de reflectância de superfície a partir do modelo 6S (ANTUNES *et al.*, 2012). Altitude média (520 m), uma atmosfera gasosa tropical, um modelo de aerosol continental, e visibilidade horizontal (km) de cada imagem foram adotados para correção atmosférica.

Após os procedimentos descritos anteriormente, foram obtidas as imagens NDVI, sendo este procedimento realizado no *ArcView* 9.3 a partir da combinação das bandas do vermelho (Banda 3) e infravermelho próximo (Banda 4) do satélite Landsat 8, conforme a Equação 4:

$$NDVI = (\rho IVP - \rho V) / (\rho IVP + \rho V) \qquad \textbf{[Equação 4]}$$

Onde:

ρIVP - Reflectância no infravermelho próximo;

ρV - Reflectância no vermelho.

O NDVI apresenta valores entre -1 (indicativos de ausência de vegetação) e 1 (indicativos de maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa) os quais foram correlacionados aos valores do Fator C, que variam de 0 (proteção total do solo pela cobertura vegetal) e 1 (ausência total de vegetação).

Tendo em vista a correlação existente entre os valores de NDVI e os valores do Fator C, aplicou-se uma regressão linear simples entre os dois fatores, para cada uma das nove imagens, como forma de análise e implantação para base de cálculo na EUPS. Em seguida foi calculada a média entre as nove imagens NDVI para definição dos índices de cobertura (Fator C).

4.3.4 Dados de práticas de conservação (Fator P)

O Fator de conservação da microbacia do Ribeirão da Bocaina foi dimensionado conforme metodologia da Tabela 6, considerando o grau de declividade da área que, por sua vez, foi calculado com o Modelo Digital do Terreno (MDT), a partir das imagens disponibilizadas pela EMPLASA.

4.4 Plano de informações para determinação de LS

Com a determinação dos planos de informações, conforme consta no Quadro 5, criou-se uma Nuvem de Pontos (NP) dentro dos limites da microbacia Ribeirão da Bocaina, com um gride de 0,10 ha / ponto.

Quadro 5 - Base de dados para os fatores da EUPS

Plano de informação	**Fator EUPS**	**Base de dados**
Perda de solos	A	Tolerância de perda de solos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012)
Erosividade	R	Estação Hidrometeorológica FATEC-JAHU; Equação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012)
Erodibilidade	K	(BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012)
Cobertura do solo	C	Correlação NDVI
Conservação	P	(SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007)

A Figura 24 ilustra a NP criada nos limites da microbacia Ribeirão da Bocaina.

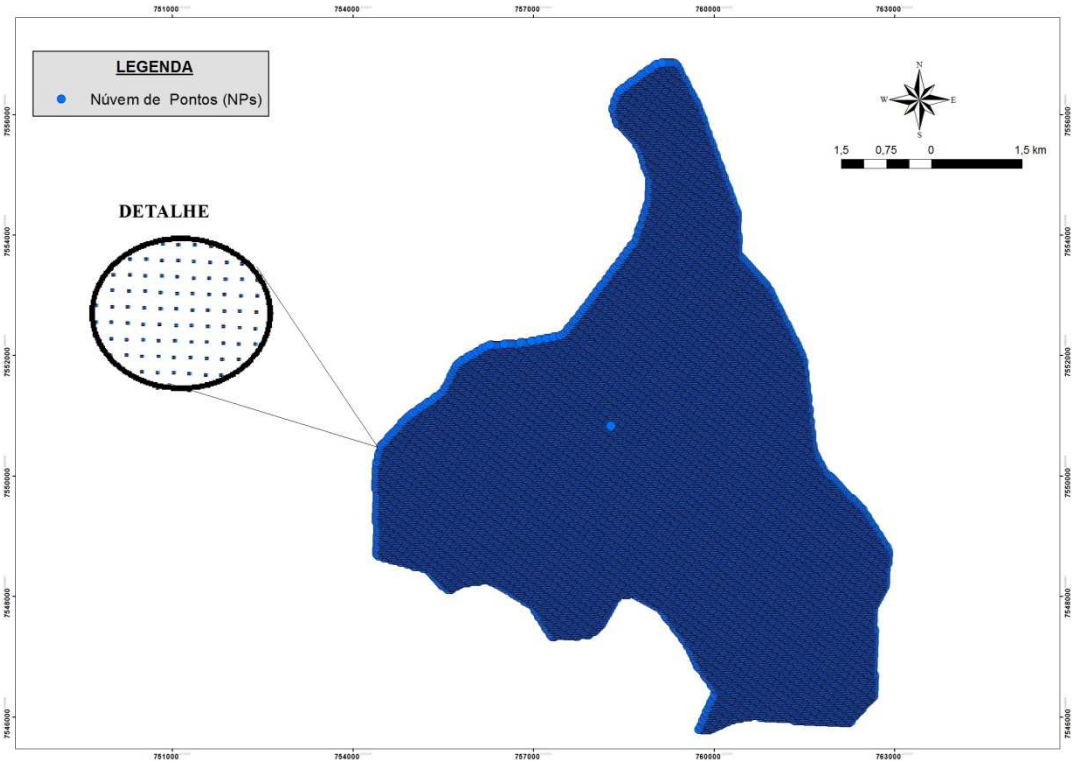


Figura 24 - Mapa com a nuvem de pontos da microbacia Ribeirão da Bocaina

O gride de 0,10 ha/ponto foi escolhido arbitrariamente para determinar a variabilidade de comportamento amostral da área. À medida que este valor se aproxima de valores infinitesimais, mais precisos se tornaram os valores do comportamento da área.

Os pontos gerados foram interseccionados com cada plano de informação (A, R, K, C, P), deste modo a NP contém em sua tabela de atributos, individualizado por coluna, o valor correspondente a cada variável de cálculo da EUPS.

Isolando as variáveis LS da Equação 1, tem-se a Equação 5:

$$LS = A / (R \times K \times C \times P)$$ **[Equação 5]**

Como as variáveis da direita da Equação 5 são conhecidas (em função dos planos de informação e SIG), deste modo, surge um nova incógnita denominado neste caso pela letra “t” (menção a terraços), fruto da resultante entre seus fatores, conforme [Equação 6]:

$$LS = t$$ **[Equação 6]**

Na nuvem de pontos com as informações em SIG, existem tabelas com os atributos dos respectivos fatores que compõem a EUPS, destes foi calculado o valor de “t” em uma nova coluna.

4.5 Etapas para análise da variação da constante LS para diferentes desníveis verticais (DV)

A seguir são apresentados a descrição de cada uma das etapas para análise da variação da constante LS nos diferentes desníveis.

- ✓ **ETAPA I** - A nuvem de pontos (já com a coluna dos valores de “t” em sua tabela de atributos) foi realizado a interpolação entre seus pontos através da ferramenta IDW (siglas em inglês – inverso do quadrado da distância, ferramenta em plataforma *ArcView* 9.3), gerando um plano de informação rasterizado (geração de arquivo raster) com as variações de “t”.

- ✓ **ETAPA II** - Após ter gerado as feições com o cálculo de “t”, a etapa posterior consiste em gerar curvas de nível ao longo da microbracia com gride de cotas arbitrárias, segundo o grau de precisão para a implementação a campo. Neste estudo foram adotadas cotas com intervalos de 1,0 metro cada. Deste modo, cada terraço a ser implementado terá variação numérica com arredondamento em suas casas decimais.

- ✓ **ETAPA III -** Nesta etapa são geradas paralelas transversais, denominadas transectos, ao longo do intervalo entre as curvas de nível mais a montante e calculado o valor de LS para cada transecto, segundo a [Equação 3]. Para a geração e cálculo de cada transecto foi desenvolvida uma rotina em ambiente computacional (plataforma AUTOCAD), que analisa isoladamente cada uma destas linhas.

De posse desta condição, a bacia foi planejada para cada desnível vertical (DV), conforme as três condições apresentadas a seguir:

a) LS < t - permissível, resulta em uma perda de solo abaixo do tolerável;

b) LS = t - permissível, resulta em uma perda de solo tolerável;

c) LS > t - não permissível, resulta em uma perda de solo acima do tolerável;

A Figura 25 representa as três condições que podem ocorrer segundo a proposta do estudo, sendo a área e os terraços hipoteticamente criados no exemplo somente para exemplificação do assunto.

Na situação “a”, existem cinco terraços, dispostos a cada 1,0 m em desnível vertical (DV = 1). Neste caso há um super dimensionamento (LS < t). Na situação “b”, os terraços 2 e 4 forão retirados (DV = 2), representando o que ocorre nas áreas agrícolas das usinas sucroalcooleiras, não necessariamente nesta ordem de grandeza, neste caso LS = t. Portanto, não há processos erosivos. Por fim, na situação “c”, os terraços 2 e 3 são retirados (DV = 3), neste caso LS > t, assimresulta em uma perda de solo acima do tolerável.

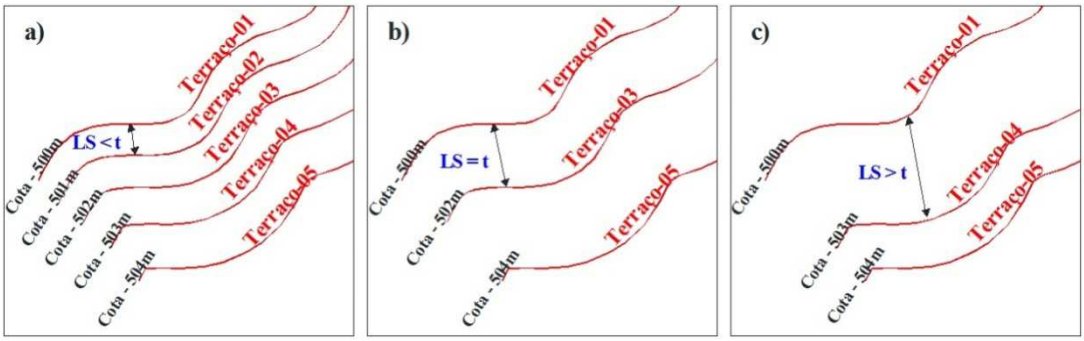


Figura 25 – Representação das situações variando o termo “t”

✓ **ETAPA IV** – Nas condições normais de campo, os terraços agrícolas não obedecem a um paralelismo homogêneo ao longo do seu traçado. Portanto, no planejamento dos terraços foram verificados valores de LS ≤ t. Ou seja, entre as duas curvas de nível mais a montante, (ETAPA III), foram identificados a existência de pontos na NP com valores igual ou superior aos valores de LS dos transectos. Em caso positivo, retira-se a curva com cota a baixo e um novo cálculo é realizado no intervalo maior, como a Figura 25b (retirada do terraço-2, e recálculo entre terraços 1 e 3). Em caso negativo, permanece com a curva que será um terraço implementado e refaz-se para o intervalo de curvas subsequentes a ETAPA IV. Assim, o cálculo é feito de montante à jusante, sendo retirados os terraços no decorrer do trajeto que não promovam processos erosivos.

4.6 Dimensionamento dos terraços agrícolas

O dimensionamento dos terraços agrícolas ocorreu após a ETAPA IV, com a avaliação trecho a trecho dos locais susceptíveis à erosão na microbacia e mediante a esse diagnóstico, seria feita a implementação ou não dos terraços agrícolas.

Esse procedimento é considerado a etapa principal deste estudo, gerando os resultados da modelagem da EUPS em forma de vetores que, por sua vez, serão caracterizados em forma de terraços agrícolas a campo.

Deste modo os terraços que irão existir, deverão passar por uma sequência de análise do índice pluviométrico da região (e por sua vez a área de recepção deste volume precipitado), a resistência pontual no intervalo entre terraços, condições de relevo, cobertura do solo e principalmente as práticas agrícolas.

Portanto, os terraços a serem implementados passam por uma sequência de análises pontuais, haja vista que a nuvem de pontos analisa um conjunto de informação particular da área investigando intimamente a variabilidade local.

Sobretudo, vale destacar a importância da obtenção de dados fidedignos e relevantes da área de estudo, já que informações sub-escalares (análise em escala incompatível) resultam em informações de mesma proporção.

4.7 Mapeamento dos terraços agrícolas existentes na microbacia e comparação com dimensionamento proposto

Após o dimensionamento dos terraços baseados na modelagem da EUPS e considerados como ideais para implantação (inibindo os processos erosivos), os mesmos foram comparados com os existentes, de forma a analisar a quantidade linear entre as duas condições: real e projetado.

O levantamento dos terraços existentes foi realizado a partir de imagens de satélite de alta resolução (imagens Emplasa), bem como através de visitas a campo para complementar as informações espectrais e sanar eventuais pontos imprecisos.

Os terraços foram mapeados nas áreas agrícolas, ou seja, cana-de-açúcar e pastagem, locais que efetivamente existe o controle de águas pluviais por meio de terraços nos limites da microbacia.

A fim de garantir a fidelidade dos dados levantados, contou-se com a participação da equipe de topografia do grupo sucroalcooleiro instalada na área de estudo, para averiguar a existência dos mesmos, já que a maioria dos terraços agrícolas presentes na microbacia foram construídos pela empresa.

A partir da vetorização dos terraços agrícolas existentes, os mesmos passaram a compor mais um plano de informação na base do sistema de informação geográfica (SIG), para que desta forma possam ser objeto de análise comparativo entre o modelo EUPS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Vetorização das feições da microbacia

Através da vetorização realizada por meio das imagens de satélite, foi possível mapear a hidrografia existente, uso e ocupação do solo, geração das curvas de nível e verificação do estado de conservação do solo de forma geral, como ilustra parcialmente a Figura 26.

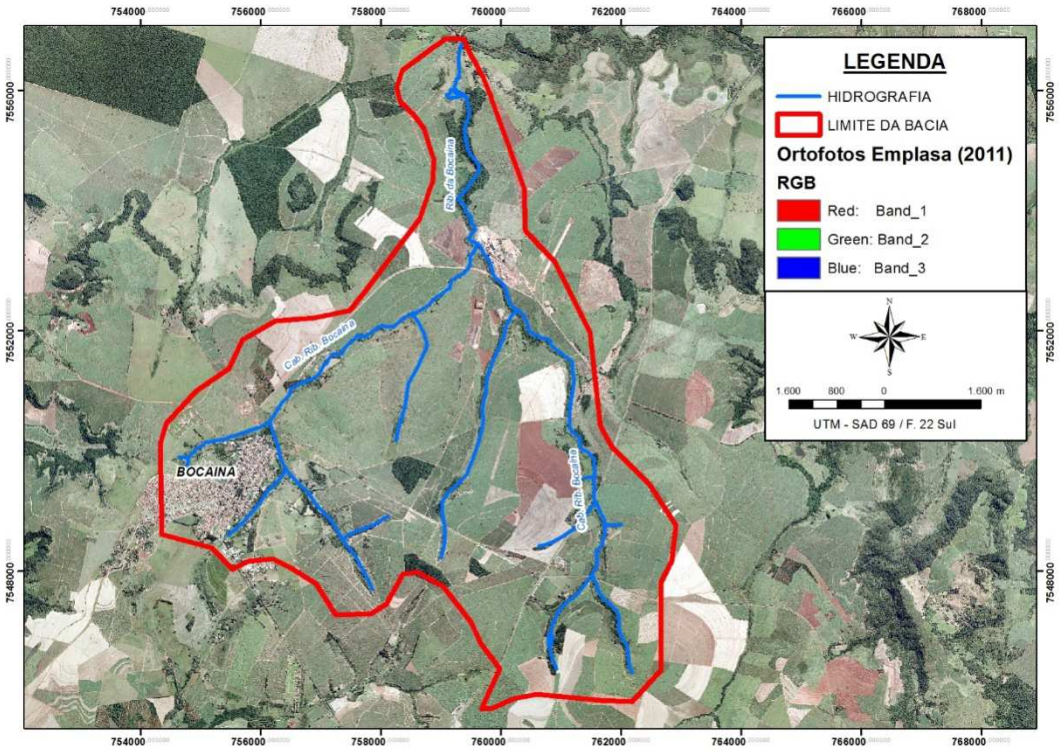


Figura 26 - Imagem de satélite da microbacia do Ribeirão da Bocaina

Fonte: Fiorentin (2014)

A partir da Figura 26 é possível verificar a grande tonalidade verde clara, representando a atividade agrícola na microbacia. No canto inferior esquerdo, a área urbana do município de Bocaina. Também é possível notar a presença de alguns fragmentos de mata na cor verde escura, bem como algumas áreas com solo exposto de cor marrom, representando uma vulnerabilidade maior de erosão nestes locais.

Os dados contidos na base de dados do IBGE auxiliaram nos nomes de rios e histórico da região, conforme a Figura 27.

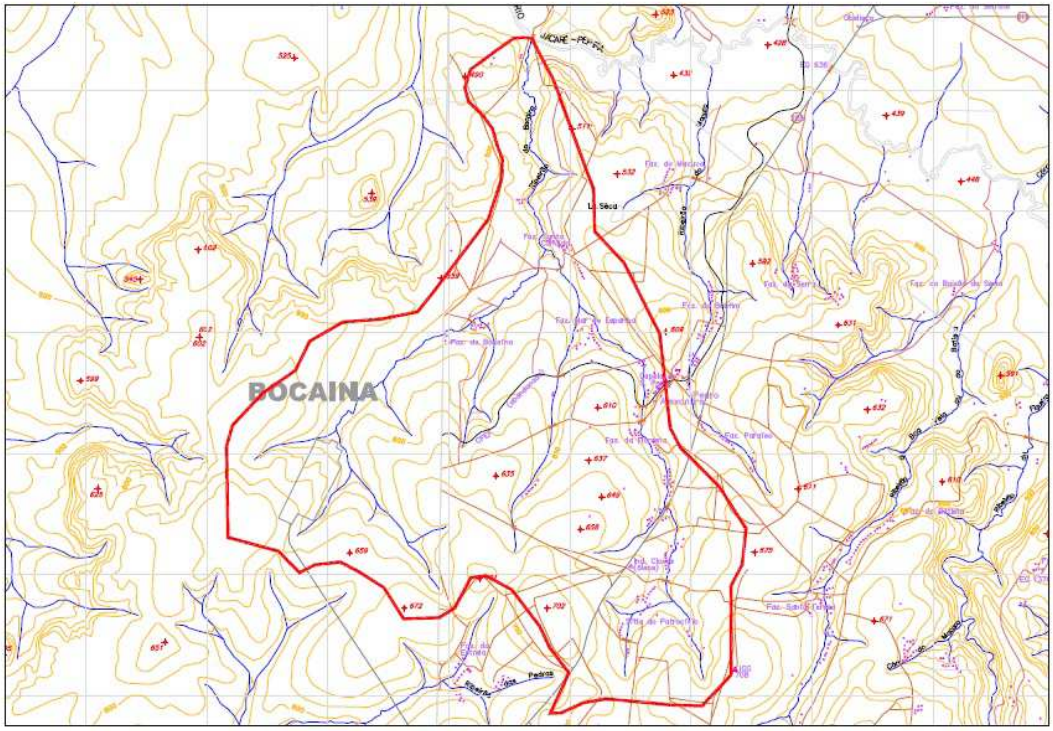


Figura 27 – Mapa cartográfico IBGEmicrobacia do Ribeirão da Bocaina

Fonte: Adaptado de IBGE, 2014b.

Nos mapas disponibilizados pelo IBGE são identificados nomes de estradas, córregos, propriedades, benfeitorias, bem como atividades agrícolas da época do levantamento. Nas cartas topográficas, é apresentado o levantamento planialtimétrico com identificação das cotas e pontos máximos no topo de morros. Na Figura 27, no interior dos limites da microbacia é possível identificar as nascentes e cursos d'águas que interseccionam os pontos de inflexão dos traçados de curvas de nível.

Com o mapeamento do uso e ocupação do solo da microbacia foi possível identificar sua predominância do setor sucroalcooleiro, atividade econômica de importância para a cidade como descrito pelo IBGE (2014). A Tabela 14 e Figura 28 ilustram os números da ocupação.

Tabela 14 - Uso e ocupação da microbacia Ribeirão da Bocaina

Descrição	Área	Porcentagem
Município	410 ha	9%
Edificações	90 ha	2%
Cana-de-açúcar	3.215 ha	69%
Mata	625 ha	13%
Pastagem	310 ha	7%
Total	**4.650 ha**	**100%**

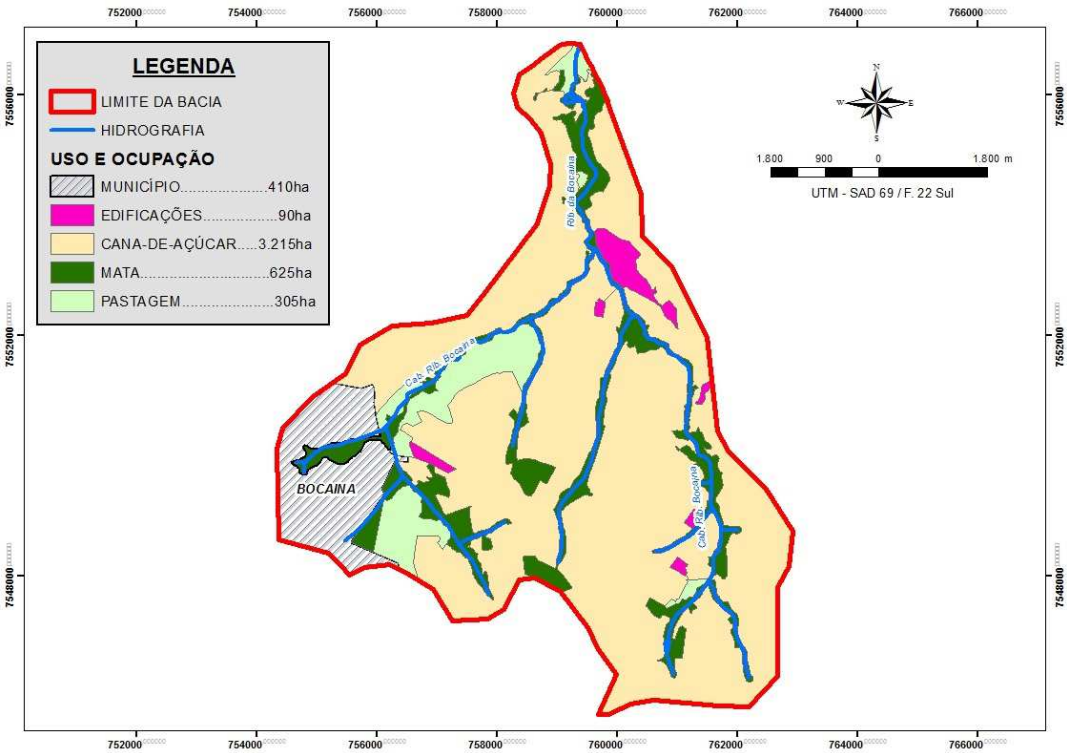


Figura 28 - Uso e ocupação da microbacia do Ribeirão da Bocaina

A Tabela 14 foi elaborada a partir do uso e ocupação ilustrado pela Figura 28. As informações fornecidas pelos dois, indicam a predominância da cultura da cana-de-açúcar no interior da microbacia com 69% de ocupação, 7% com glebas esparsas de pastagens, 11% com área urbana e edificações e somente 13% de mata nativa às margens dos córregos, representando as Áreas de Preservação Permanente (APP), totalizando os 4.650ha.

O mapa de declividade identifica as áreas com acidentes topográficos, bem como as áreas mais planas, das quais a agricultura tem mais predisposição a se desenvolver. Através dos dados de declividade também é possível caracterizar o relevo local, indicando e

classificando as regiões do relevo. Santos *et al.* (2005), descrevem na Tabela 15, essa classificação conforme o intervalo de porcentagem de inclinação.

Tabela 15 - Descrição do relevo conforme os intervalos de porcentagem de inclinação.

Intervalo de % declive	Nome atribuído	Caracterização
< 3	Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desníveis são muito pequenos.
3 - 8	Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives suaves.
8 - 20	Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives acentuados.
20 - 45	Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, com declives fortes.
45 - 75	Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.
> 75	Escarpado	Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos, tais como: aparado, itaimbé, frente de cuestas, falésia, flanco de serras alcantiladas e vertente de declives muito fortes de vales encaixados.

Fonte: Santos *et al.*, 2005

A partir dos dados de Santos *et al.* (2005) foi aplicado às classes de declividade na área de estudo. A Figura 29 ilustra o relevo com base na correlação com a declividade da microbacia do Ribeirão da Bocaina.

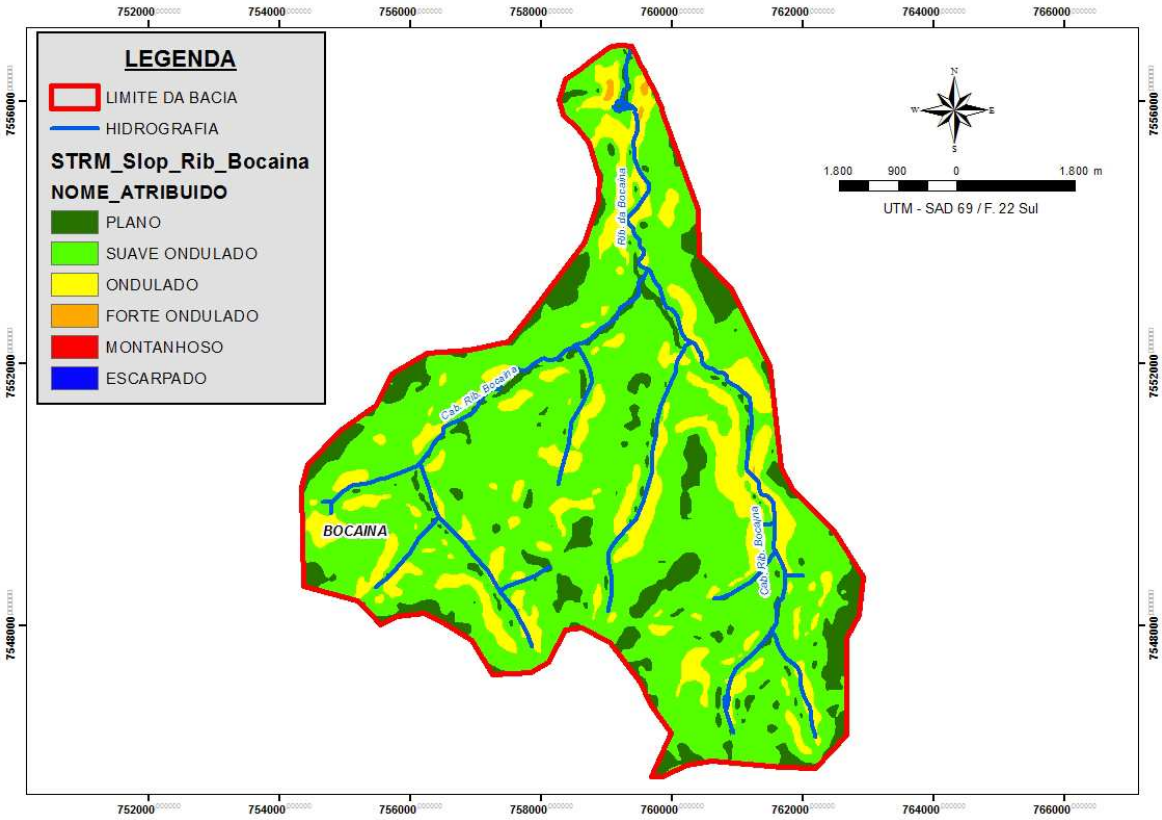


Figura 29 - Descrição de relevo com base no intervalo de porcentagem de inclinação.

Fonte: Fiorentin (2014)

Através da Figura 29 é possível notar a predominância do relevo denominado suave ondulado com declividades entre 3 a 8%, com condições favoráveis para atividades agrícolas. Também existem algumas áreas com relevo plano (esparsas pela área), as glebas com relevo ondulado se concentram basicamente às margens dos córregos.

5.2Fatores da Equação Universal de Perdas de Solo

Os valores para cálculo na Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) são apresentados a seguir, com os resultados encontrados para cada variável.

5.2.1 Fator de erosividade (R)

Para o cálculo do Fator de erosividade, ou seja, a chuva como agente erosivo, descrito pela Equação 2 de Bertoni e Lombardi Neto (2012), foram utilizado o histórico de dados pluviométricos da região de estudo. Deste modo, coletou-se a série histórica de dados

disponibilizada pela estação hidrometeorológica da FATEC Jahú, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados pluviométricos da Estação da FATEC-JAHÚ/SP

MÊS	PRECIPITAÇÃO (mm)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	SOMA	MÉDIA
JAN.	189,20	349,20	183,90	315,00	287,25	449,25	439,50	310,25	161,75	2.685,30	298,37
FEV.	198,90	172,60	254,10	138,00	162,25	252,75	117,00	223,25	128,75	1.647,60	183,07
MAR.	138,60	75,50	118,70	158,50	94,00	176,75	42,50	183,00	76,25	1.063,80	118,20
ABR.	13,10	33,40	130,00	43,00	72,75	125,00	140,25	81,56	68,50	707,56	78,62
MAI.	2,70	3,40	42,70	46,00	20,00	22,50	74,75	192,75	66,00	470,80	52,31
JUN.	15,50	4,10	44,80	40,75	21,00	48,00	146,00	92,50	0,00	412,65	45,85
JUL.	31,50	219,00	0,00	62,50	49,50	6,25	17,00	12,50	0,00	398,25	44,25
AGO.	8,40	0,00	52,60	92,50	0,00	28,50	0,00	0,50	20,00	202,50	22,50
SET.	63,60	0,00	49,10	122,75	64,50	1,00	81,50	54,75	121,41	558,61	62,07
OUT.	99,30	72,60	128,30	106,50	69,00	202,25	84,00	105,25	19,75	886,95	98,55
NOV.	170,00	304,50	56,20	207,75	72,75	249,00	91,75	115,50	234,25	1.501,70	166,86
DEZ.	349,37	163,10	241,60	304,00	266,00	190,00	199,00	117,50	220,75	2.051,32	227,92
TOTAL	**1.280**	**1.397**	**1.302**	**1.637**	**1.179**	**1.751**	**1.433**	**1.489**	**1.117**	**12.587**	**117**
MÉDIA	**1.398,56**										

Fonte: FATEC-JAHU (2015)

Pela Tabela 16 é possível verificar os valores de precipitação nos doze meses do ano, entre 2006 e 2014. Também é possível verificar a somatória e média da lâmina precipitada referente a cada ano, cuja média entre os nove anos de estudo foi de 1.398,56 mm.

A fim de identificar graficamente o comportamento da precipitação mensal entre os anos estudados, a Figura 30 apresenta através de um gráfico de barras a precipitação média entre os anos de 2006 a 2014, durante os meses do ano. A partir dela é possível identificar os meses chuvosos, de outubro a março, e os meses secos, de abril a setembro. Os meses de junho, julho e agosto apresentam médias históricas a baixo de 50 mm e dezembro e janeiro acima de 200 mm.

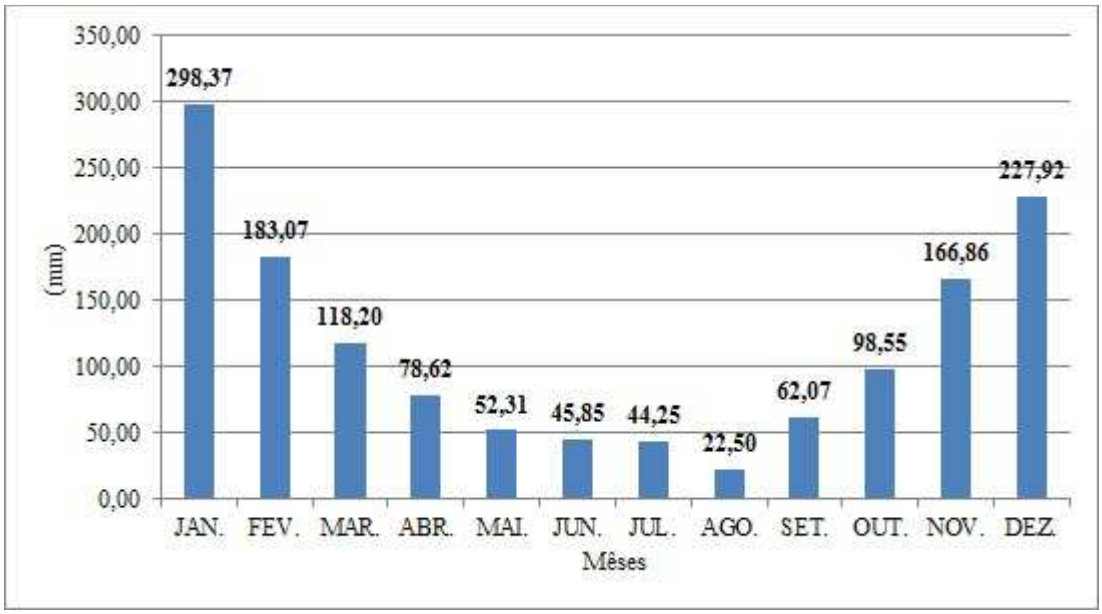


Figura 30 - Média histórica dos índices pluviométricos microbacia Ribeirão da Bocaina (2006-2014)

Fonte: FATEC-JAHU (2015)

A Figura 31 semelhantemente à figura anterior ilustra a partir de um gráfico de barras a precipitação média entre os anos de 2006 a 2014, entre os meses deste intervalo. Com base nesta parcela de nove anos, é possível identificar que 2014 apresentou o menor volume precipitado, com 1.117,41 mm. Em contrapartida, 2011 o acumulado em eventos pluviométricos foi equivalente a 1.751,25 mm, uma diferença de 633,84 mm, ou 36% a menos, um valor superior a soma das médias históricas dos meses mais chuvosos (dezembro e janeiro).

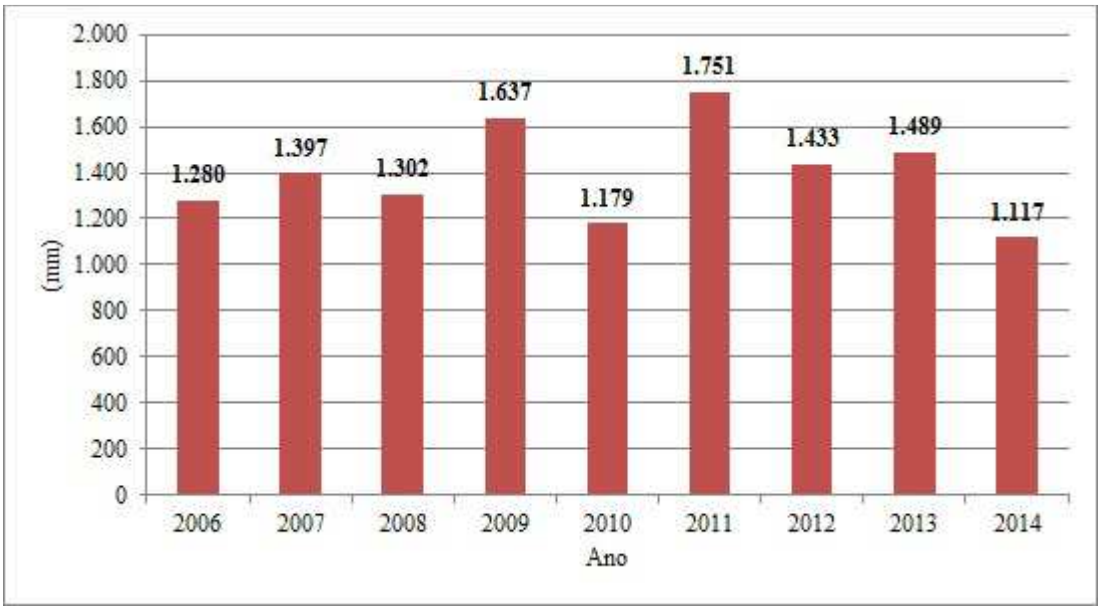


Figura 31 - Precipitação anual microbacia Ribeirão da Bocaina (2006-2014)

Fonte: FATEC-JAHU (2015)

Para as médias referentes ao histórico mensal e anual, para o período disponível (2006-2014), calculou-se o efeito do Fator de erosividade para a área de estudo, a partir da Equação 2:

$$R = 6{,}886 \times \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0{,}85} \qquad \textbf{[Equação 7]}$$

Os valores do Fator de erosividade para a área de estudo, referentes aos doze meses, são dispostos pela Tabela 17:

Tabela 17 – Valor do Fator de erosividade mensal

MÊS	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	TOTAL
MÉDIA	298,37	183,07	118,20	78,62	52,31	45,85	44,25	22,50	62,07	98,55	166,86	227,92	1.399
R	2.299	1.002	476	238	119	95	90	28	159	350	856	1.455	**7.169**

A boa definição entre os meses chuvosos e secos para esta região é também identificada pela Tabela 17, cujos maiores valores de erosividade estão nos meses de outubro a março.

Assim, o valor adotado para o cálculo do fator R foi o somatório da erosividade dentre os doze meses do ano, sendo considerado R = 7.164 $MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano$.

Como forma comparativa e avaliativa do valor encontrado para o fator R, recorreu-se ao *software* Net Erosividade SP, disponibilizado gratuitamente pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH), que conta com uma rede neural artificial, afim de estimar o valor do fator erosividade da chuva (R) da Equação Universal de Perda de Solo (GPRH, 2015).

O valor de erosividade e coordenadas geográficas para o local estudado estão ilustradas na Figura 32.

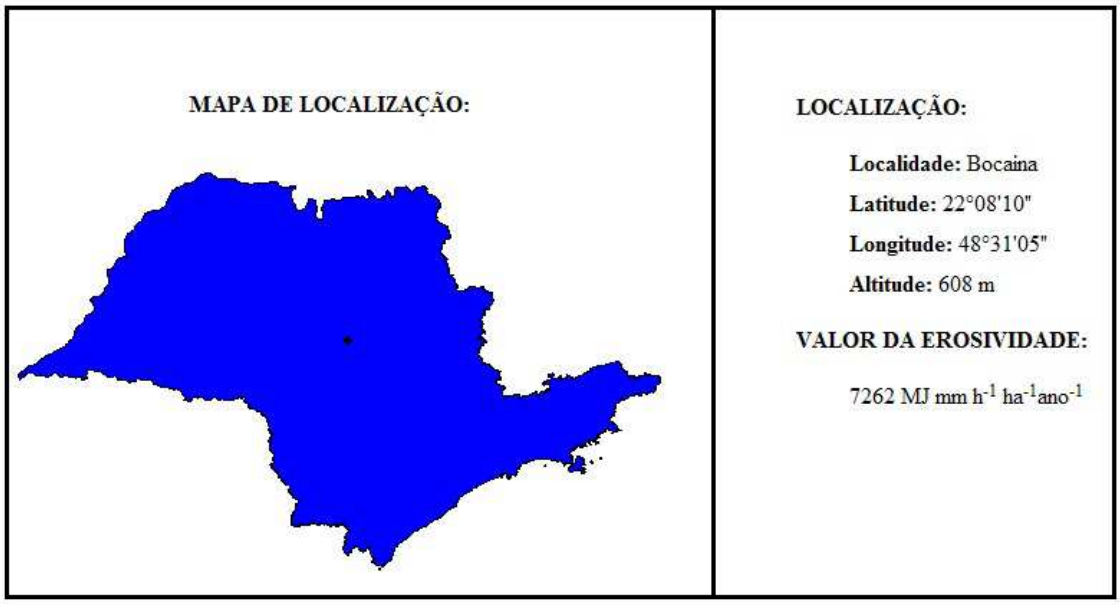


Figura 32 - Valor do Fator de erosividade obtido a partir do *software* Net Erosividade SP

Fonte: Adaptado de GPRH (2015)

Como é possível observar, o valor encontrado pelo Net Erosividade (7.262 $MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$) SP se assemelha ao resultado obtido com o emprego da Equação 2, e com base nos dados da estação hidrometeorológica da Fatec-Jahu. A variação entre os valores foi de 93 $MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$, o que corresponde a menos de 1,5%.

5.2.2 Fator de erodibilidade (K)

Os dados pedológicos referentes ao Fator de erodibilidadeda microbacia de Ribeirão da Bocaina estão dispostos respectivamente, na Figura 33 e Tabela 18.

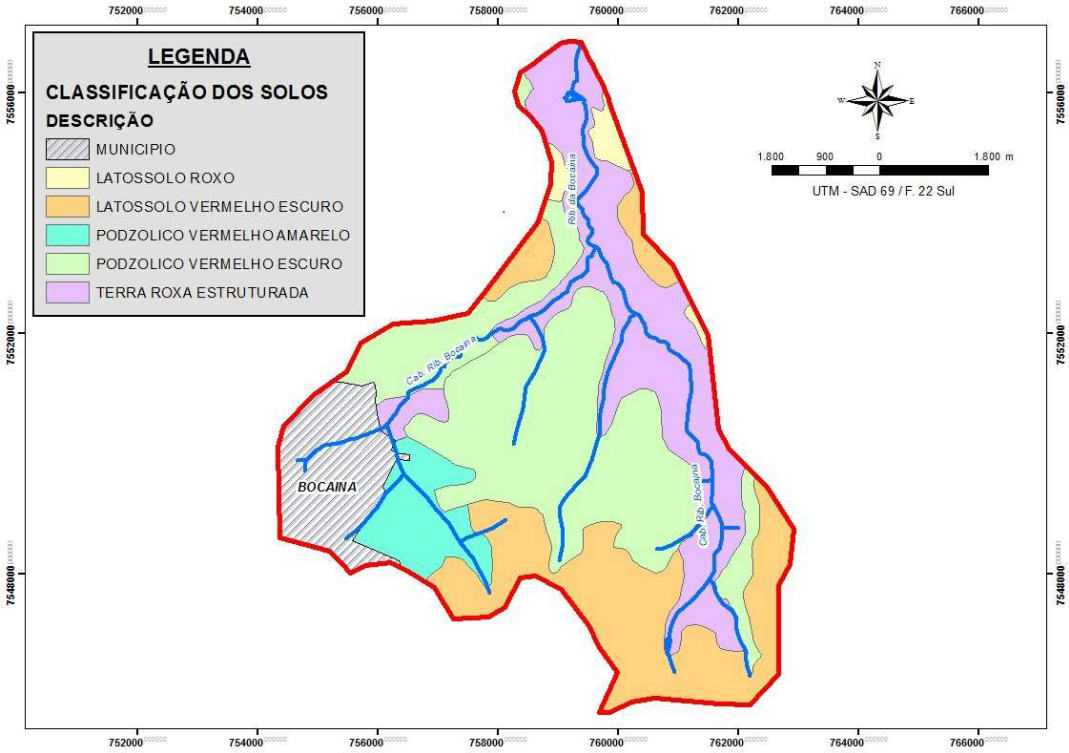


Figura 33- Mapa pedológico da microbacia do Ribeirão da Bocaina

Fonte: Adaptado de Brisolari[20](2014)

Tabela 18 - Fator K para os solos da microbacia do Ribeirão da Bocaina

Classe de Solo	Área (ha)	Área (%)	Fator K
Latossolo Roxo	84,72	2%	0,00400
Latossolo vermelho-escuro	1.034,11	22%	0,00420
Podzólico vermelho-amarelo	296,95	6%	0,00501
Podzólico vermelho-escuro	1.624,61	35%	0,00493
Terra roxa extruturada	1.161,23	25%	0,00198

Assim, se faz notório que mais de 40% dos solos encontrados são de classe podzólica, enquanto 24% são latossolos e 25% terra roxa e o restante ocupado pela área urbana.

A parcela de terra roxa se concentra próxima a calha dos córregos, o latossolo vermelho escuro nas bordas da área e o podzólico vermelho escuro na região central da microbacia.

[20]Brisolari A. **Mapa pedológico da microbacia Ribeirão da Bocaina**. Informação recebida por adriano.brisolari@tononbioenergia.com.br em 20 mar. 2014.

5.2.3 Fator de cobertura do solo (C)

Das imagens selecionadas como aptas para a geração do NDVI, foi realizado o tratamento para equalização e limpeza dos ruídos atmosféricos. Após o tratamento das imagens, as mesmas foram processadas e encontrado os valores médios e extremos referentes ao índice de vegetação (NDVI). Em seguida, foi calculada a equação de correlação entre o fator C da EUPS e NDVI para cada imagem de satélite, conforme apresentado na Tabela 19:

Tabela 19 - Valores de NDVI das imagens de satélite e equações de correlação do Fator C para NDVI

Data Imagem	Máximo NDVI	Mínimo NDVI	Médio NDVI	R^2	Equação Correlação
01/12/2013	0,6206	-0,1089	0,3646	0,971	C = -1,331.NDVI + 0,888
01/01/2014	0,6275	-0,1528	0,4033	0,943	C = -1,208.NDVI + 0,853
01/04/2014	0,5836	-0,0914	0,3846	0,946	C = -1,402.NDVI + 0,910
01/06/2014	0,4058	-0,0184	0,2364	0,986	C = -2,325.NDVI + 0,983
01/08/2014	0,4127	-0,0681	0,1631	0,999	C = -2,078.NDVI + 0,851
01/09/2014	0,4958	-0,1436	0,1778	0,999	C = -1,563.NDVI + 0,776
01/10/2014	0,4538	-0,1019	0,2105	0,994	C = -1,790.NDVI + 0,835
01/11/2014	0,5439	-0,1697	0,2400	0,992	C = -1,391.NDVI + 0,784
01/12/2014	0,6206	-0,1089	0,3646	0,971	C = -1,331.NDVI + 0,888
Média	0,5294	-0,1071	0,2828	0,983	C = -1,545.NDVI + 0,863

A Figura 34 ilustra a reta e a equação de correlação entre o Fator C e NDVI, obtidos por regressão linear simples.

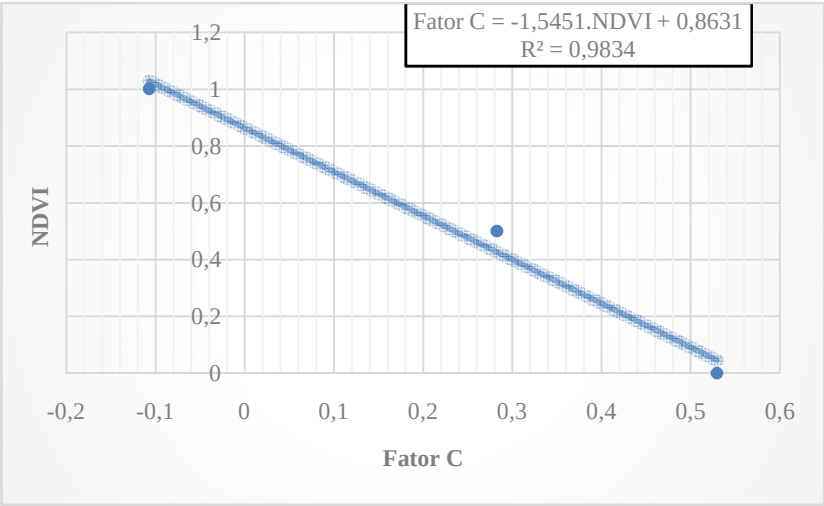


Figura 34 - Reta e equação de correlação entre o fator C e NDVI

Com a Figura 35 é possível notar os índices de biomassa para alguns meses das imagens NDVI escolhidas. O *degrade* entre as cores quentes e frias identifica o índice que varia de +1 (maior biomassa) e -1 (menor biomassa).

Entre as imagens, a Figura 35b datada de 04/04/2014 identifica o período de maior biomassa.

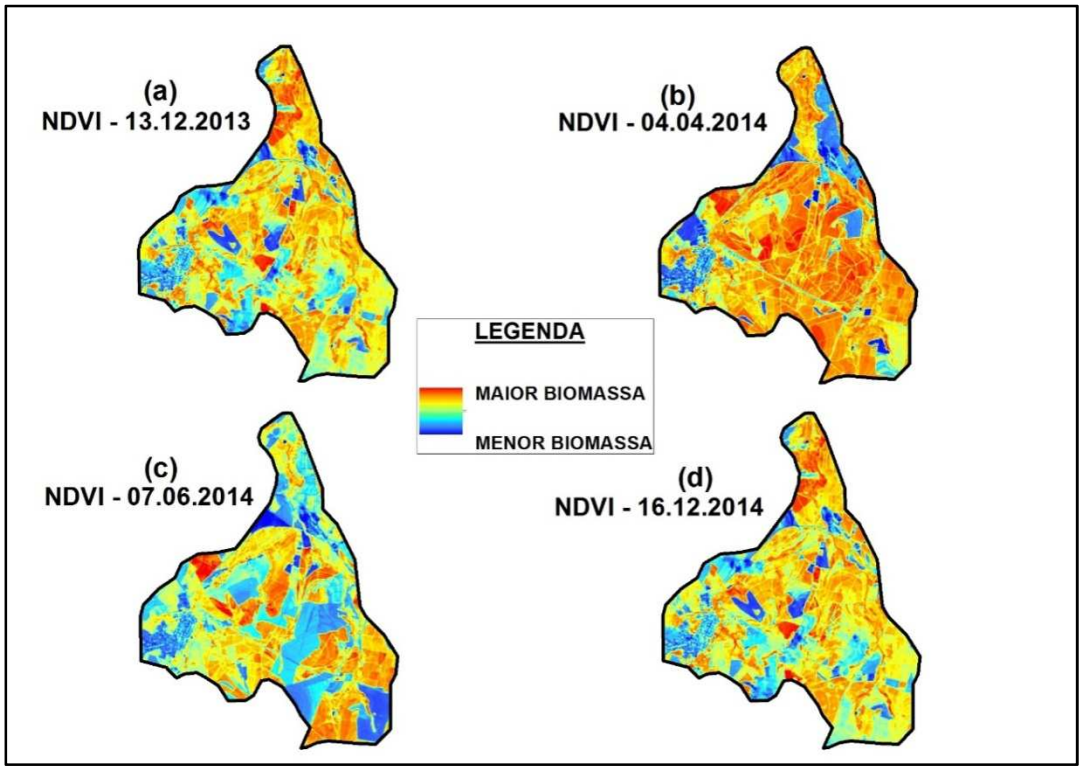


Figura 35 - Algumas imagens NDVI durante o período estudado.

5.2.4 Fator de conservação (P)

A altimetria do terreno influencia no Fator de práticas de conservação (P), bem como na tomada de decisões para planejamentos conservacionistas. Para tanto é importante conhecer a condição planialtimétrica local. Na microbacia do Ribeirão da Bocaina, sua parte alta apresenta cota próxima a 700 m e seu exutório a 420 m, conforme indica a Figura 36.

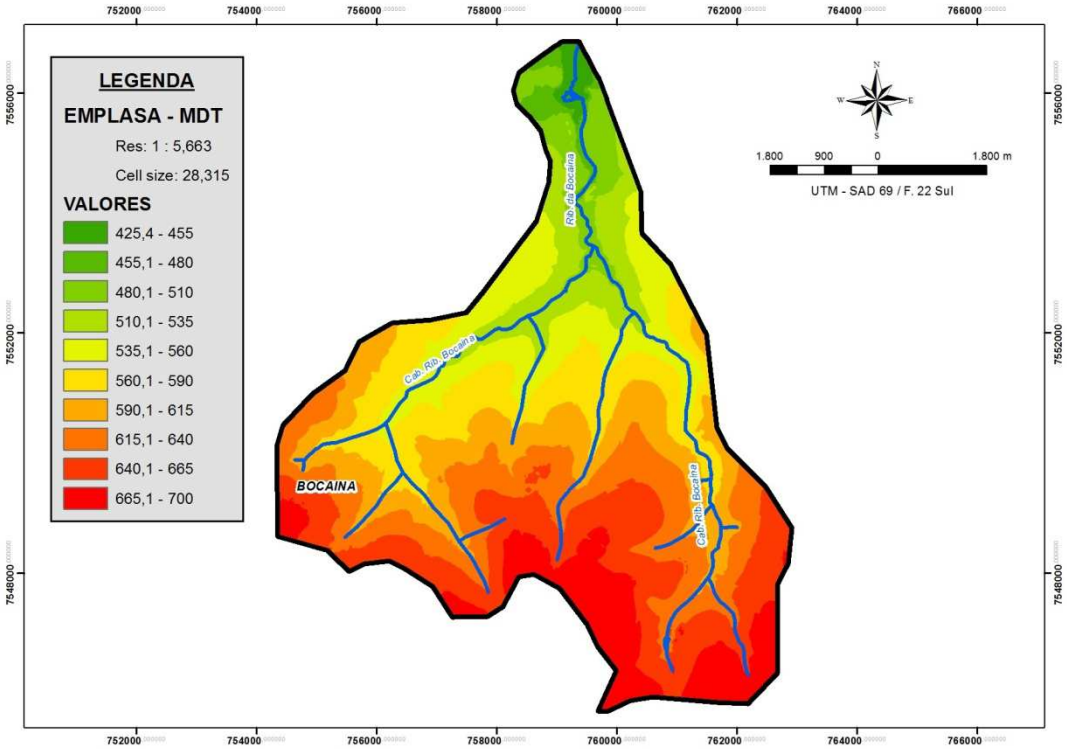


Figura 36 - Mapa altimétrico da microbacia do Ribeirão da Bocaina

Fonte: Fiorentin (2014)

A determinação do Fator de conservação (P) foi feita conforme declividade local, calculada a partir das ortofotos disponibilizadas pela Emplasa. As faixas de declividade foram agrupadas conforme se observa na Tabela 6, e adotado o valor numérico para o fator segundo a mesma, conforme a Figura 37.

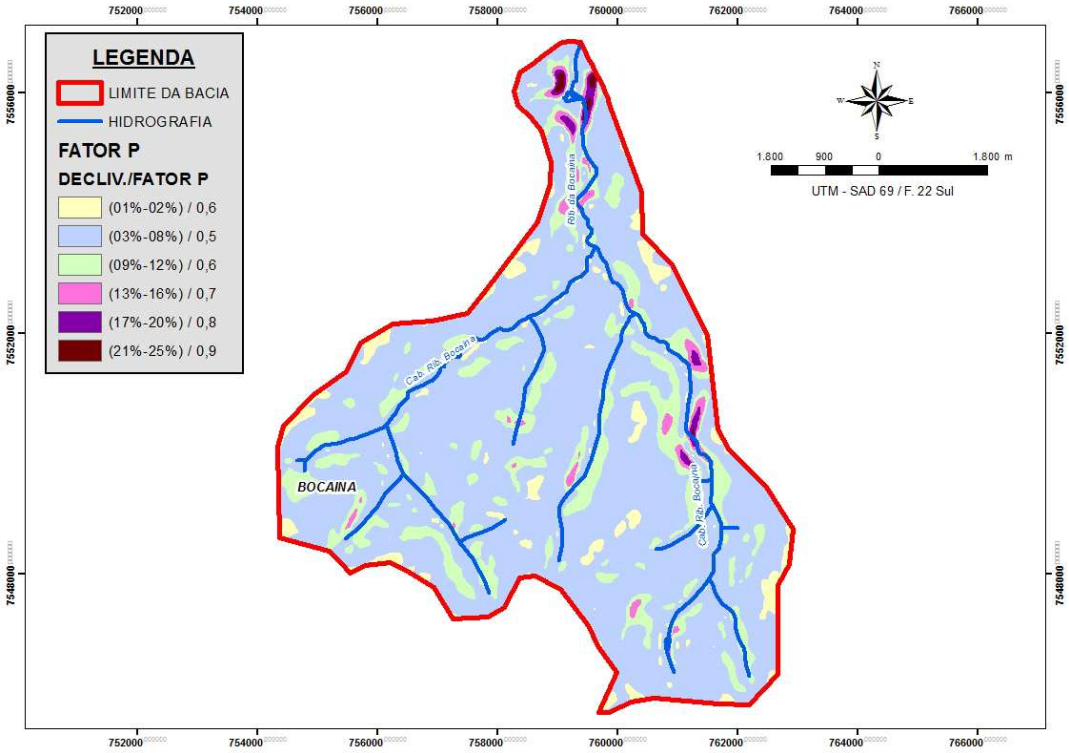


Figura 37- Fator P da microbacia Ribeirão da Bocaina

Fonte: Fiorentin (2014)

Pela Figura 37 é possível visualizar que predominantemente a microbacia Ribeirão da Bocaina possui declive na faixa de 3% a 8%. Portanto, com Fator de conservação de 0,5. Também a faixa de 9% a 12%, estão em sua maioria no entorno dos córregos, ou mesmo nas Áreas de Preservação Permanente (APPs).

5.2.5 Resultante de perda de solos (A)

A EUPS resulta em um valor de perda de solo (A), que representa o valor erodido na área estudada. Para este trabalho assumiu-se o valor erodido fixado com base na tolerância de perda de solos. Ou seja, como forma de interpretação da metodologia proposta, sugere-se na base cálculo a permissividade de perda de solos, sendo avaliadas a partir do conceito metodológico da tolerância de perda de solos.

Em função de ter-se a interpretação agronômica e ambiental, foram concebidos dois resultados de dimensionamento de terraços:

I. **Agronômico**: adoção de tolerância de perda de solos para os respectivos solos encontrados na microbacia com variação de 6,60 a 13,40 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$.

II. **Ambiental**: valor máximo aceitável de perda de solos com adoção de 3 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ correspondente a cerca da metade do menor valor encontrado de tolerância (perda de solo no conceito agronômico).

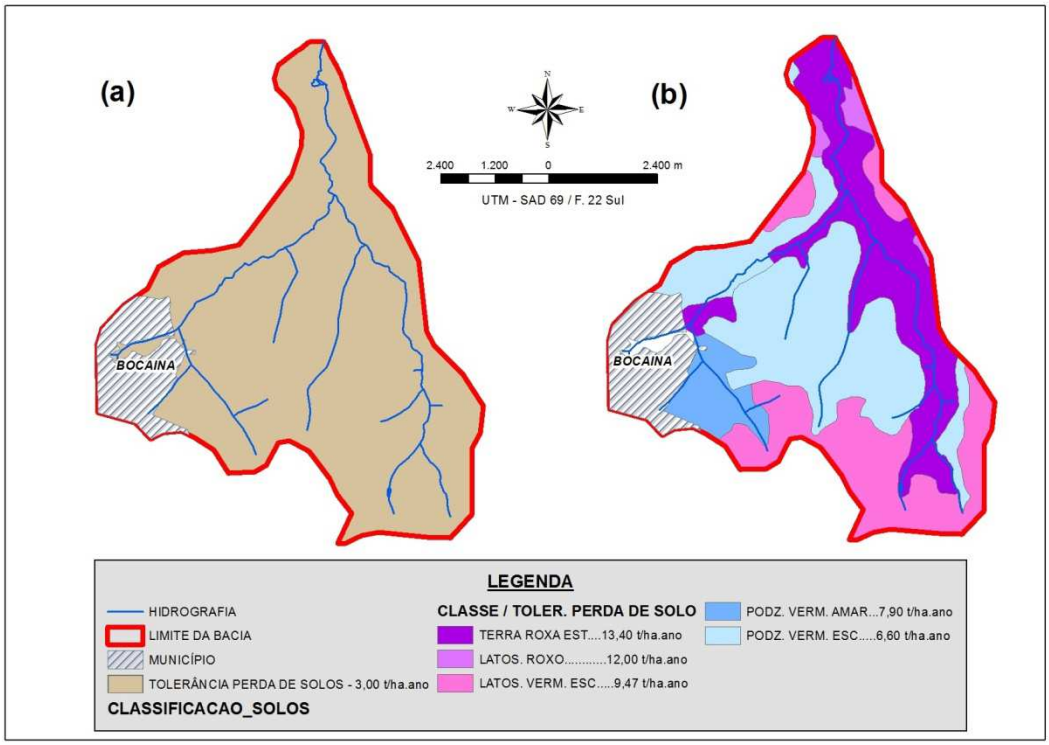


Figura 38 - Tolerância de perda de solos Bacia Ribeirão da Bocaina

Nota: Tolerância de perda de solos: (a) conceito ambiental; (b) conceito agronômico

A Figura 38 ilustra os dois conceitos abordados de perda de solos, tanto o ambiental, conforme Figura 38 (a), com perda mínima possível de solos na microbacia, adotada nesta ocasião o valor de 3 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$. Assim como o conceito agronômico, ou seja, a perda de solo que garanta a manutenção da fertilidade do solo no tempo, ilustrado na Figura 38 (b).

5.3 Mapeamento dos terraços agrícolas existentes na microbacia do Ribeirão da Bocaina

Os terraços agrícolas existentes na microbaica Ribeirão da Bocaina foram mapeados através das ortofotos disponibilizadas pela Emplasa. Além do levantamento por sensoriamento remoto, os vetores também foram adquiridos pela parceria junto à agroindústria sucroalcooleira inserida na área de estudo. Para conclusão e averiguação do traçado dos terraços, o levantamento também contou com visitas a campo com a participação da equipe topográfica além de técnicos agrícolas da empresa sucroalcooleira.

Os terraços agrícolas mapeados na microbacia estão sobrepostos ao uso e ocupação, nas atividades agropecuárias de cana-de-açúcar e pastagem, ilustradas pela Figura 39.

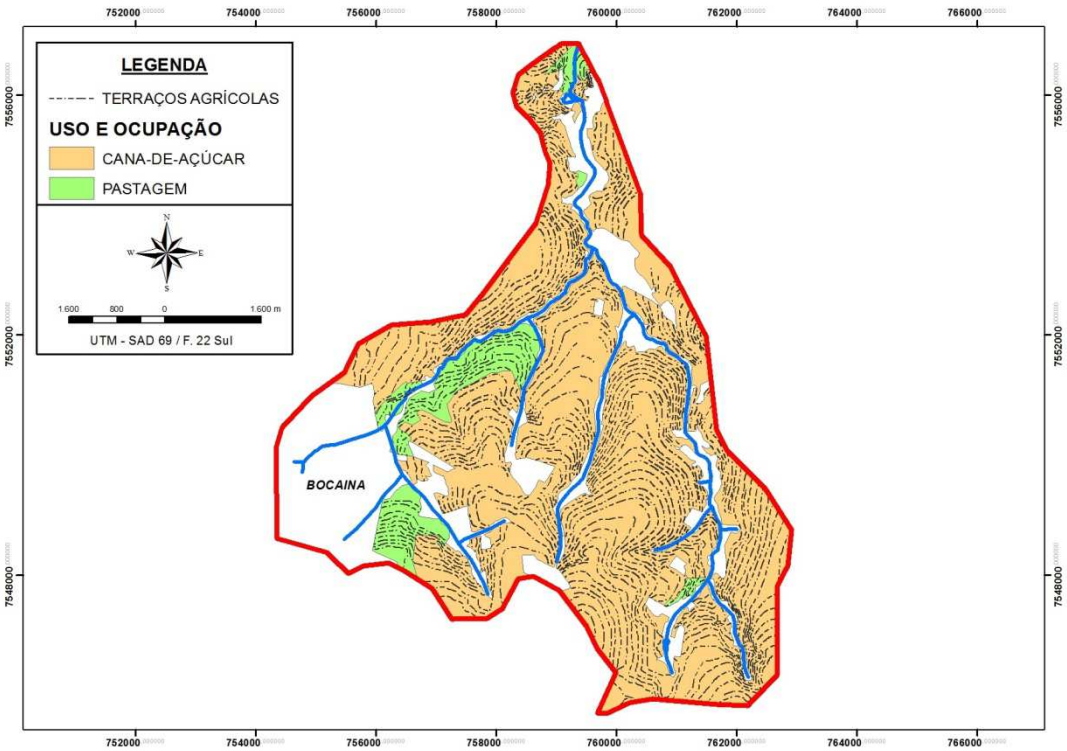


Figura 39 - Terraços agrícolas mapeados com o uso e ocupação do solo

Como comparativo foram obtidas as curvas de nível em alguns desníveis verticais pelo Modelo Digital do Terreno (MDT) através das aerofotos disponibilizadas pela Emplasa. Os desníveis verticais adotados para análise foram escolhidos de forma arbitrária de modo a confrontar com alguns comprimentos de terraços existentes na microbacia. Desta forma, os

desníveis verticais escolhidos na geração dos MDT's foram: 1, 3, 5, 7 e 10 metros, conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Comprimento total de curvas de nível em desníveis verticais diferentes realizados a partir de MDT das imagens Emplasa.

Desnível Vertical (m)	Compr. Curvas de Nível (km)		
	Cana-de-açúcar	**Pastagem**	**Total**
1	2.248,46	255,55	2.504,01
3	750,29	84,50	834,79
5	451,20	50,51	501,71
7	**318,21**	**36,45**	**354,66**
10	226,28	24,37	250,64
Existente	**318,01**	**34,22**	**352,22**

Apesar dos terraços agrícolas da microbacia não se comportarem com DV's múltiplos, segundo a Tabela 20, o DV de 7m é a faixa que mais representa os terraços existentes, pois tanto na cultura da cana-de-açúcar quanto nas pastagens o comprimento das curvas de nível se assemelham aos encontrados.

5.4 Dimensionamento dos terraços agrícolas com base na EUPS

Neste item são apresentados os resultados das quatro etapas descritas pelos subitens 4.5 desta dissertação, elencando e ilustrando as informações geradas para dimensionamento dos terraços, objetivo principal do trabalho.

5.4.1 Etapas para dimensionamento dos terraços

- ✓ Etapa I – Interpolação da nuvem de pontos

O plano de informação referente à variável "t" após ter sido interpolada gerou um *raster* proveniente da triangulação entre a nuvem de pontos, ilustrados na Figura 40.

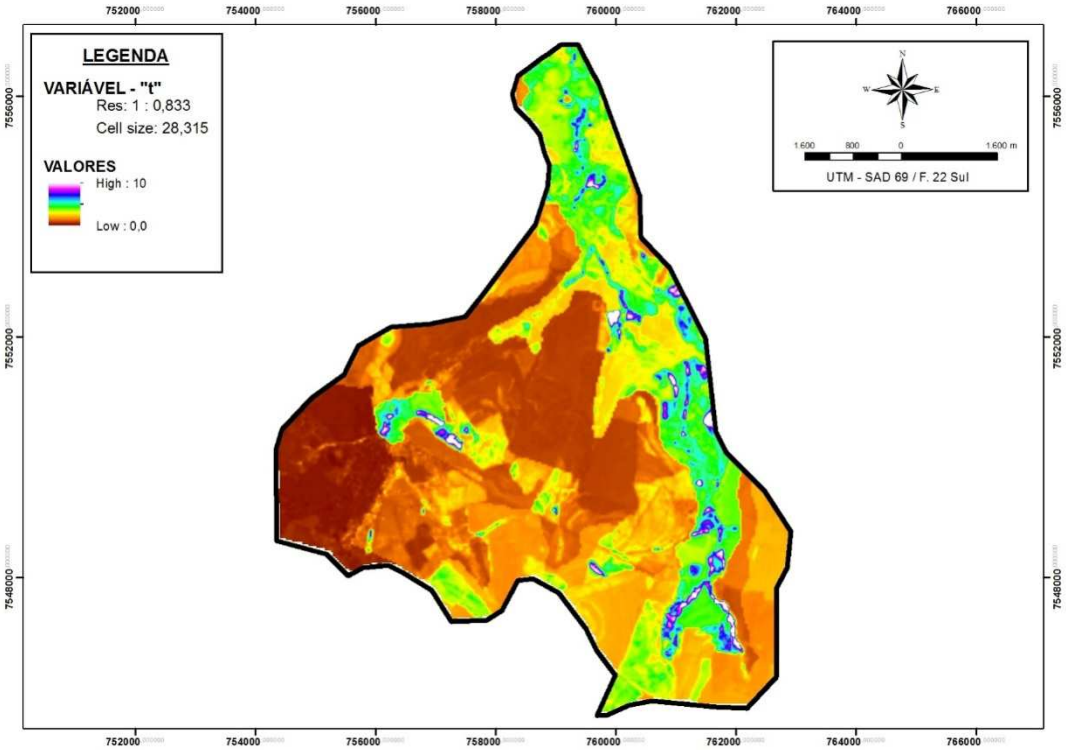


Figura 40 - *Raster* variável "t"

✓ Etapa II – Planialtimétrico da microbacia Ribeirão da Bocaina

O planialtimétrico da microbacia foi gerado com curvas de nível considerando um desnível vertical de 1 metro (curvas secundárias). Para fins ilustrativos foram identificados as curvas mestres a cada 5 metros de DV, como ilustrado na Figura 41.

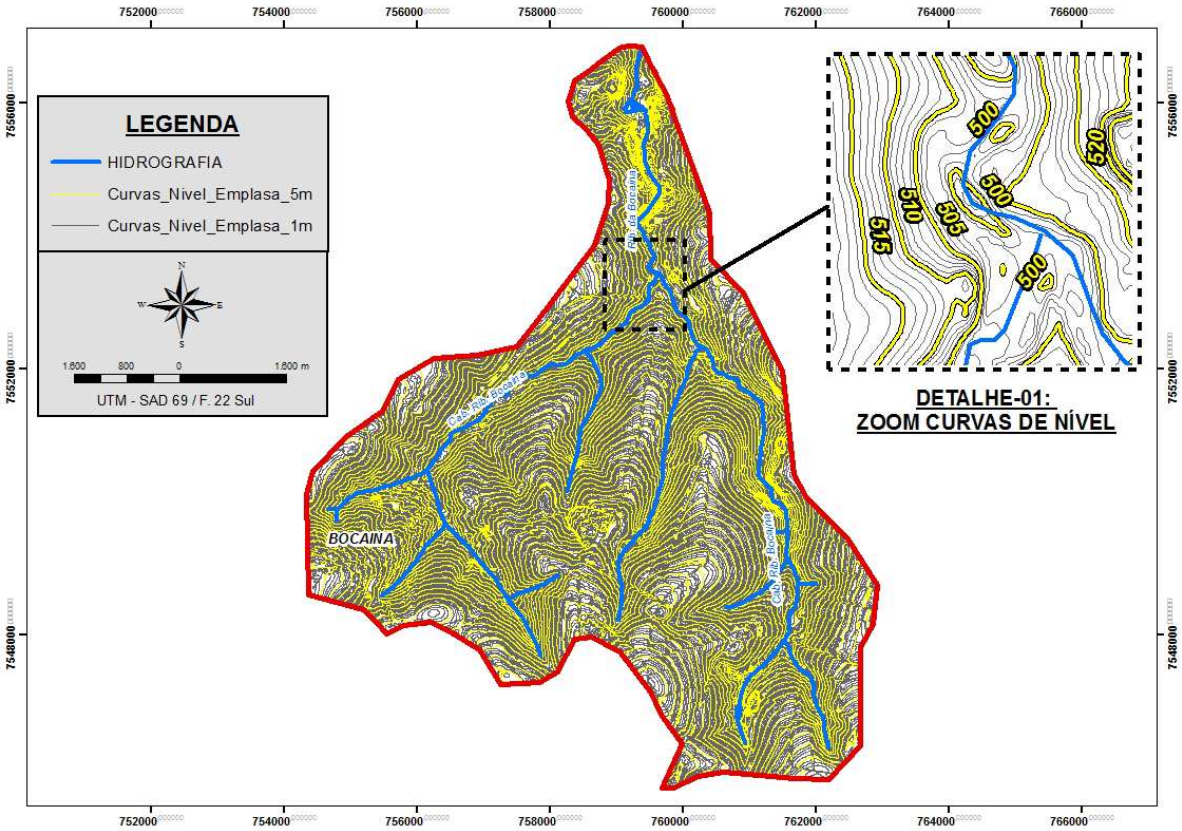


Figura 41 – Planialtimétrico da microbacia Ribeirão da Bocaina

✓ Etapa III – Geração das transversais para o cálculo do Fator LS

Os transectos foram gerados a partir de uma rotina computacional, conhecida como *lisp*, utilizada em plataforma Auto Cad, desenvolvida por Camelini (2014), criada especialmente para a elaboração desta etapa de processamento. Cada transversal foi criada com distância de 10 metros e posteriormente foi gerado um arquivo texto com os dados de cada uma delas: identificação, coordenadas, comprimento, cota superior e inferior. Através deste conjunto de informações os vetores e o arquivo deste foram interligados como tabela de atributos e foi efetuado o cálculo para encontrar o Fator LS correspondente para cada linha. A Figura 42 ilustra as curvas de nível com os transectos gerados.

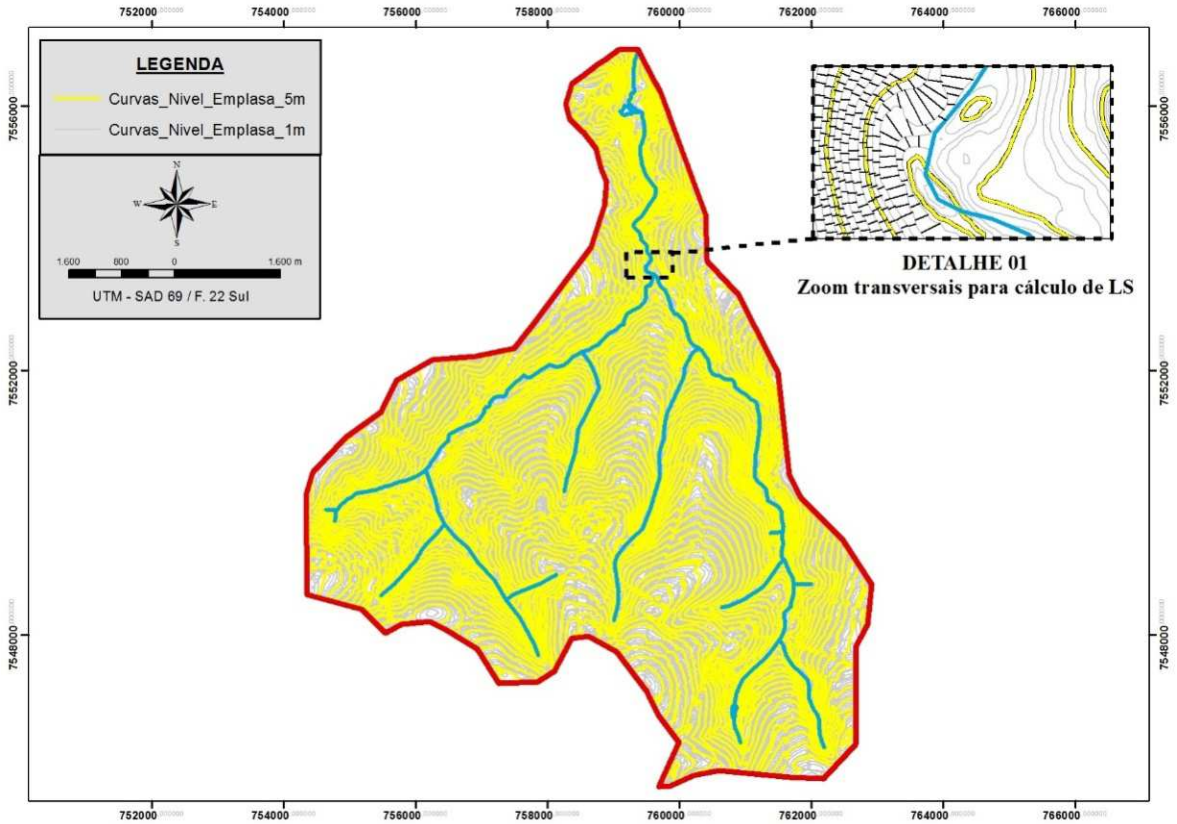


Figura 42 - Curvas de nível com transectos

5.4.2 Dimensionamento dos terraços agrícolas

Baseado na Equação 7 e com o auxílio da ferramenta de análise vetorial, foi realizado o dimensionamento dos terraços agrícolas com base na EUPS.

Para serem geradas as Curvas de Nível (CN) foi levada em consideração a proposta na qual o Fator LS deveria ser menor ou igual a “t” (LS ≤ t). Desta forma, somente as CNs que se adequaram a essa condição foram vetorizadas.

Assim, tais vetores não obedecem repetição de DVs homogêneos, haja vista, que cada trecho da microbacia continha uma característica individual: ora declividade plana, ora solo menos resistente, ora vegetação mais densa. Tais individualidades descrevem uma condição única para cada ponto de uma mesma microbacia. Portanto, a necessidade de dimensionamento levando-se em conta a variabilidade amostral.

O resultado do dimensionamento dos terraços foi gerado segundo dois conceitos de tolerância, agronômico e ambiental, deste modo, ao invés de um planejamento ou resultado de dimensionamento de terraços, existem dois, sendo o segundo mais conservador. Assim, a

seguir, são apresentados os dois cenários para dimensionamento da microbacia Ribeirão da Bocaina.

I. CENÁRIO A – conceito de tolerância de perda de solos “agronômica”

Vale salientar que este conceito visa os aspectos agronômicos, influenciados pelos níveis de fertilidade do solo.

Nesta condição, foi proposta através deste dimensionamento a construção de cerca 570 km de terraços a fim de garantir a inexistência de processos erosivos ou a minimização de seus efeitos.

Levando-se em consideração a Tabela 20, que ilustra hipoteticamente os valores simulados de comprimento de terraços aplicados em alguns DV’s diferentes, e a realização de interpolação entre os valores da tabela, este cenário equipara-se aproximadamente aos valores de DV variando de 4,5 m.

Deste modo abaixo do valor dos terraços existentes (que por sua vez equiparam-se aos de DV’s entre 7 m), o que caracteriza uma condição insegura dos terraços construídos pelos produtores da microbacia Ribeirão da Bocaina.

Evidentemente este grau de segurança garante os efeitos mínimos dos processos erosivos, tais como os laminares, que por sua vez muitas vezes não são considerados na contabilização dos danos às lavouras e, portanto, a aplicação de DV’s maiores na prática.

A Figura 43 ilustra o dimensionamento dos terraços que devem existir baseados no modelo de predição de erosão EUPS – (tolerância agronômica); ao fundo uma projeção altimétrica, a partir do modelo digital do terreno, como forma de referencial altimétrico, os polígonos de cor azulada identificam as áreas não agrícolas, locais que usualmente não se aplicam a construção de terraços tais como: edificações, APP’s, matas.

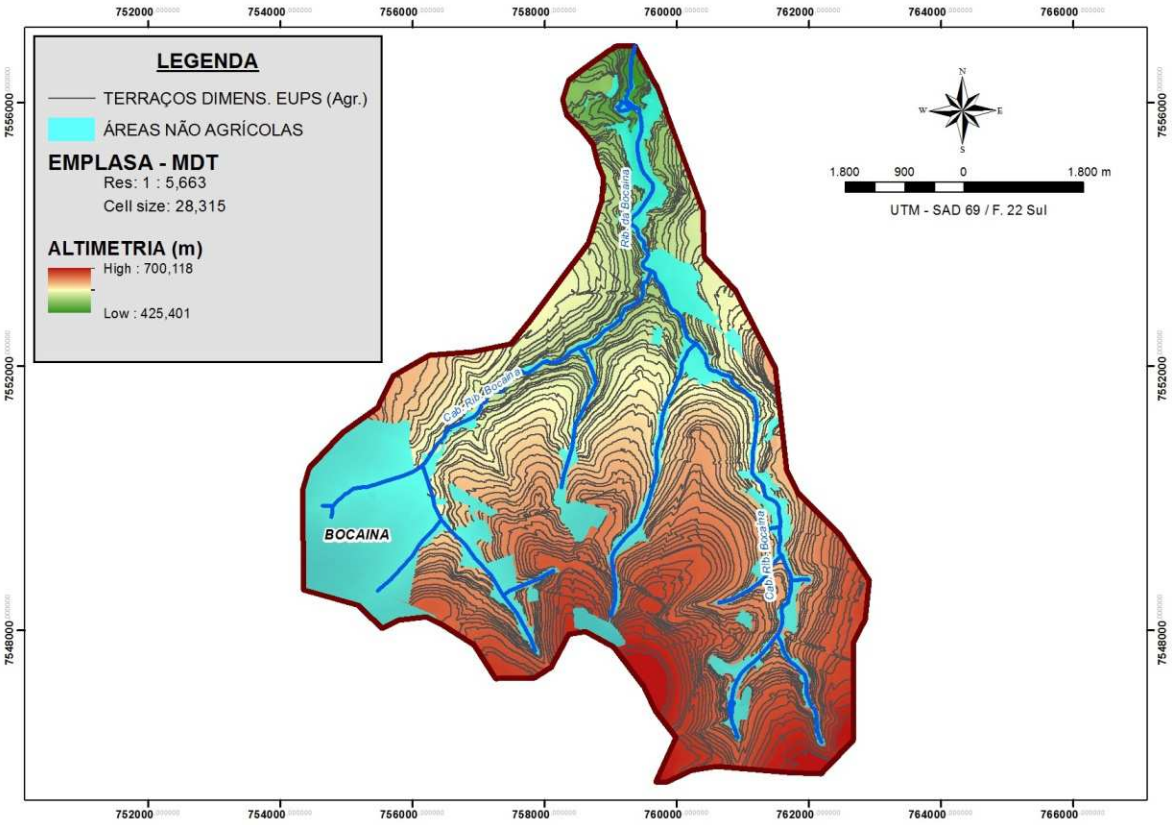


Figura 43 - Cenário A - Dimensionamento de terraços agrícolas mediante conceito de tolerância de perda de solos agronômico.

O modelo apresentou significativa mudança de dimensionamento dos terraços em solos menos resistentes, com DVs menores em relação aos solos mais resistentes, identificando a variabilidade local e a vulnerabilidade à perda de solo, com a locação dos terraços afim de uma maior conservação dos solos.

II. CENÁRIO B – conceito de tolerância de perda de solos "ambiental"

Este cenário, como o próprio nome sugere, visa garantir a condição regular dos padrões ambientais de erosão, ou seja, nula ou a menor possível. Portanto, a menor geração possível de sedimentos; desta forma o menor dano ao meio ambiente.

Não seria viável tecnicamente a implantação de terraços em uma condição de zero tonelada de solo erodido. Considerando este fato, adotou-se uma perda máxima permissível de 3 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ de solo.

Nesta condição o dimensionamento propôs a construção de 1.250 km de terraços, evitando-se danos de erosão e concomitantemente assoreamento de corpos hídricos (considerando que todos estes corpos d'água estejam devidamente protegidos por suas matas ciliares).

Levando-se em consideração as informações contidas na Tabela 20, e a realização de interpolação entre os valores desta tabela, o cenário equipara-se aproximadamente aos valores de DV variando a cada 2,0m. Portanto mais de 2 vezes em relação ao Cenário A e 3,5 vezes maior que a condição existente na microbacia.

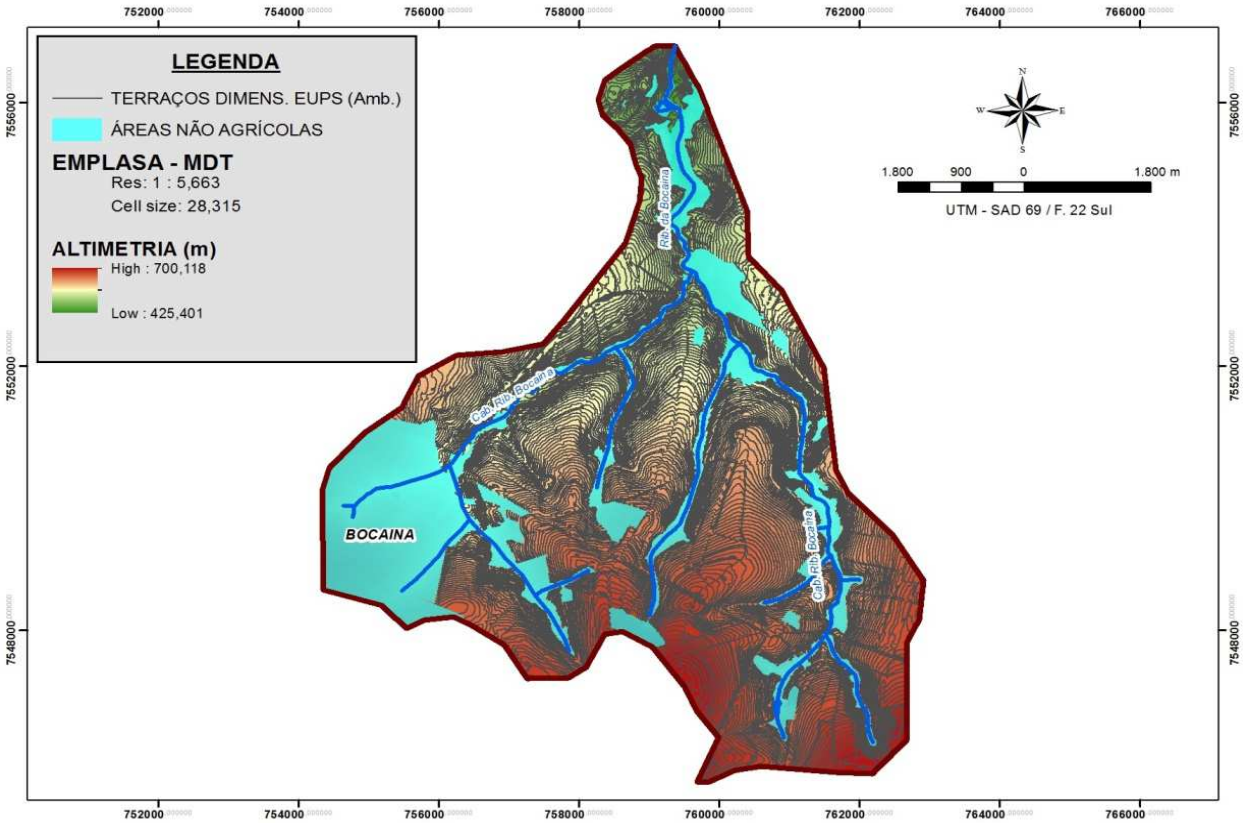


Figura 44 - Cenário B - Dimensionamento de terraços agrícolas mediante conceito de tolerância de perda de solos ambiental.

A Figura 44 ilustra o dimensionamento dos terraços que devem existir baseados no modelo de predição de erosão EUPS – (tolerância ambiental); ao fundo uma projeção altimétrica (a partir do modelo digital do terreno), como forma de referencial altimétrico; os polígonos de cor azulada identificam as áreas não agrícolas, locais onde usualmente não se aplica a construção de terraços, tais como: edificações, APP's, matas.

Assim, se faz notório a diferença de amplitude entre os resultados dos Cenários A, B e existente, sendo o Cenário B mais restritivo à perda de solo, portanto um número maior de terraços agrícolas.

Ante as características locais da microbacia em estudo, o Cenário agronômico (A), sugere a construção de mais terraços que os encontrados a campo, portanto, descrevendo a errada prática da retirada de terraços pelos métodos empiristas existentes.

5.5 Aplicação da metodologia proposta em uma área comercial – usina sucroalcooleira

Para avaliar a contribuição desta dissertação e a real aplicação da proposta deste estudo, promoveu-se a aplicação do modelo em uma usina sucroalcooleira, visando diagnosticar a viabilidade econômica da execução dos terraços agrícolas dimensionados com base à concepção da EUPS.

5.5.1 Caracterização da área de experimento

Foi selecionada uma área com cana-de-açúcar de uma usina no interior paulista que aceitou a divulgação dos seus dados.

Assim, optou-se pela aplicação do experimento na propriedade denominada Fazenda Carretão, nas proximidades do município de Jaboticabal-SP, possui uma área aproximadamente de 260 ha destinados ao plantio de cana-de-açúcar, como identifica a Figura 45.

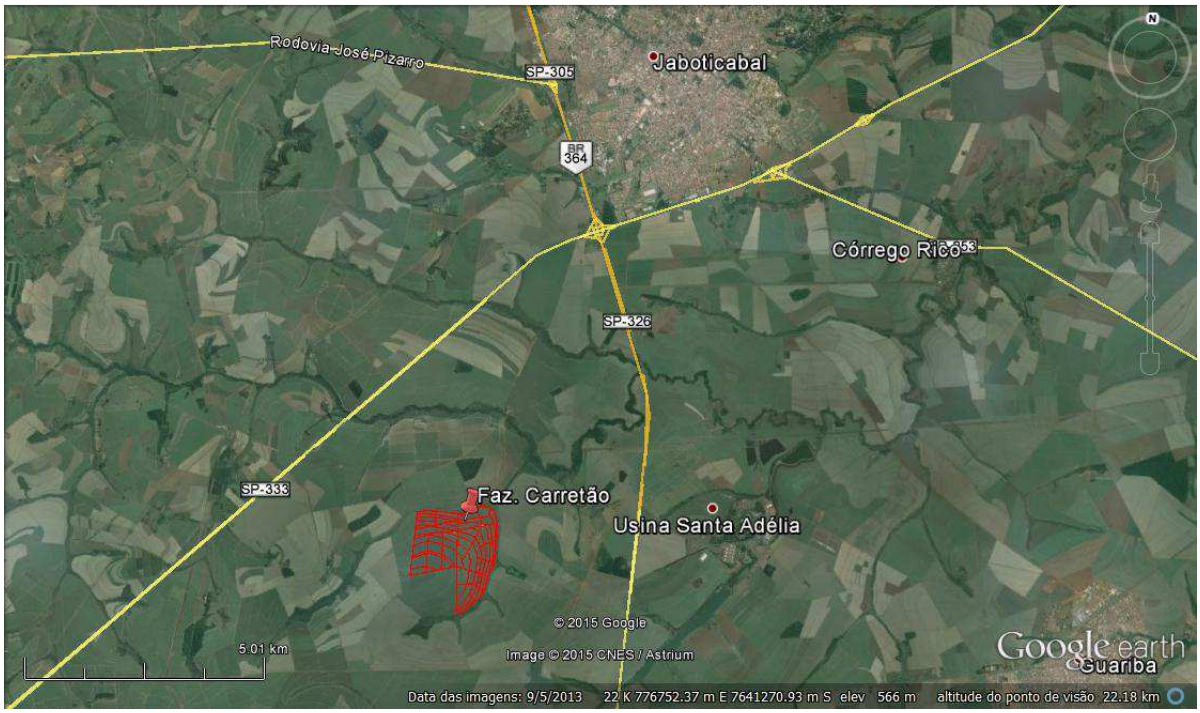


Figura 45 - Mapa de localização da Fazenda Carretão

Através da Figura 45 é possível identificar a propriedade Carretão, com polígonos de cor vermelha, próxima à Usina Santa Adélia (5km), bem como da área urbana de Jaboticabal (10km). Também as rodovias BR-364 (Rodovia Brigadeiro Faria Lima) e SP-333, estão próximas à fazenda.

O relevo e a classe pedológica estão ilustrados na Figura 46, na qual é possível identificar o relevo da propriedade que é composto em sua maioria em uma condição suave ondulado (3,1 a 5%, verde claro) e alguns trechos de área plana (0 a 3%, verde escuro). Ainda de acordo com a Figura 46 é identificado as classes de solo, latossolo vermelho amarelo distrófico e latossolo vermelho distrófico, com 54% e 46%, respectivamente, de representatividade na área da propriedade.

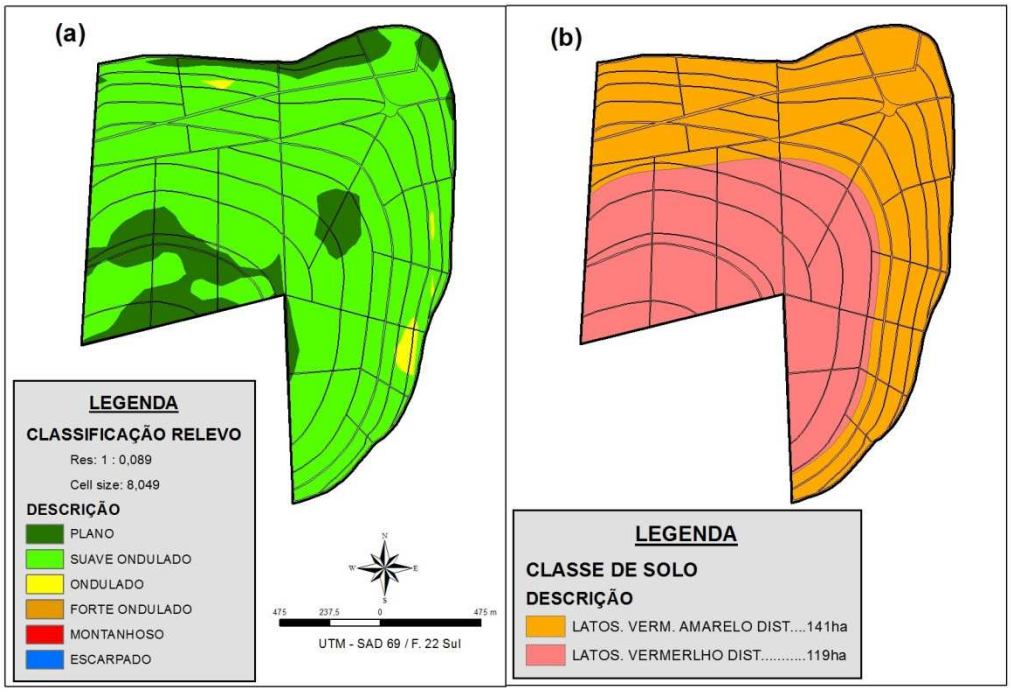


Figura 46 - Relevo e classe pedológica da Fazenda Carretão

Para a análise e caracterização das condições do ambiente da propriedade Carretão, foram necessárias algumas visitas para verificação das mesmas. A Figura 47 ilustra algumas visitas realizadas à campo na propriedade em estudo.

A Figura 47(a) apresenta a abertura de uma trincheira para averiguação da textura e classe de solo. Na Figura 47(b), a equipe de topografia identifica os desníveis verticais para locação de terraços.

Figura 47 - Visitas à campo Fazenda Carretão

Nota: (a) abertura de trincheira; (b) acompanhamento topográfico.

5.5.2Fatores da EUPS para dimensionamento de terraços na área experimental

Considerando a mesma metodologia aplicada à microbacia do Ribeirão da Bocaina, e adotando a tolerância de perda de solos agronômica (já que a propriedade é de caráter econômico), a propriedade Carretão foi submetida ao modelo proposto para dimensionamento dos terraços.

Novamente recorreu-se aos fatores da EUPS (Equação 1), para elaboração do dimensionamento dos terraços agrícolas:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \qquad \textbf{[Equação 8]}$$

A seguir são apresentados a metodologia e valores adotados para as respectivas variáveis do modelo:

- ✓ **Fator de erosividade (R)** – para o cálculo da erosividade recorreu-se ao *software* Net Erosividade SP. A Figura 48 identifica a localização, dados da localização geográfica e valor de erosividade.

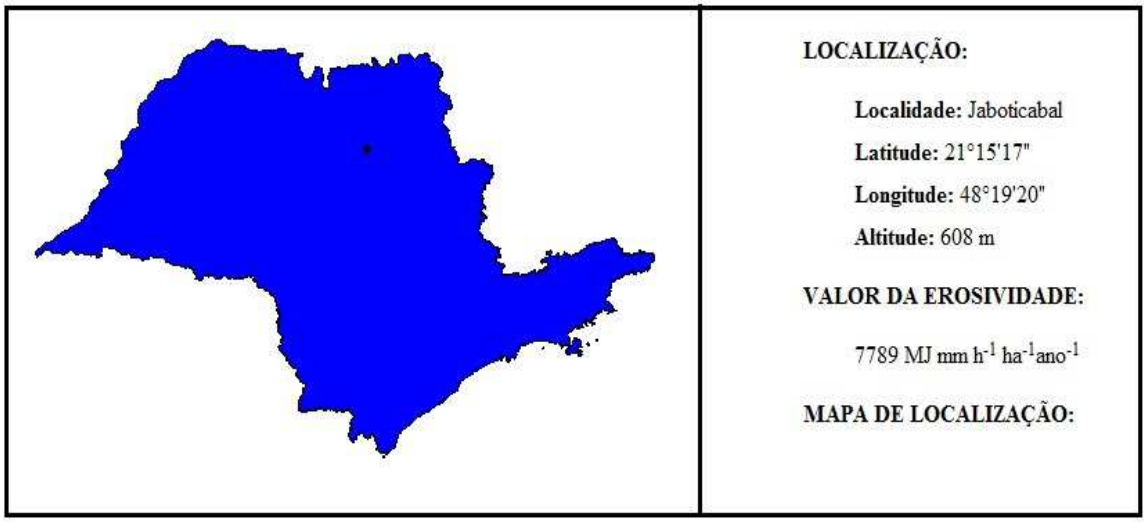


Figura 48 - Dados de erosividade município de Jaboticabal

Fonte: Adaptado de GPRH (2015)

- ✓ **Fator Pedológico (A/K) –** Tolerância de Perda de solos e erodibilidade – os valores relativos aos aspectos pedológicos utilizados para cálculo, estão apresentados nas Tabela 01 e 07.

- ✓ **Fator de Cobertura (C) –** para o cálculo deste fator foi adotado o valor médio de uso e ocupação, considerado pela equação de correlação, presente na Tabela 20.

- ✓ **Fator de práticas conservacionistas (P) –** os valores para este fator foram calculados conforme metodologia presente na Tabela 06.

Levando-se em conta os valores e métodos para a inserção no modelo de cálculo, obteve os resultados apresentados na Figura 49.

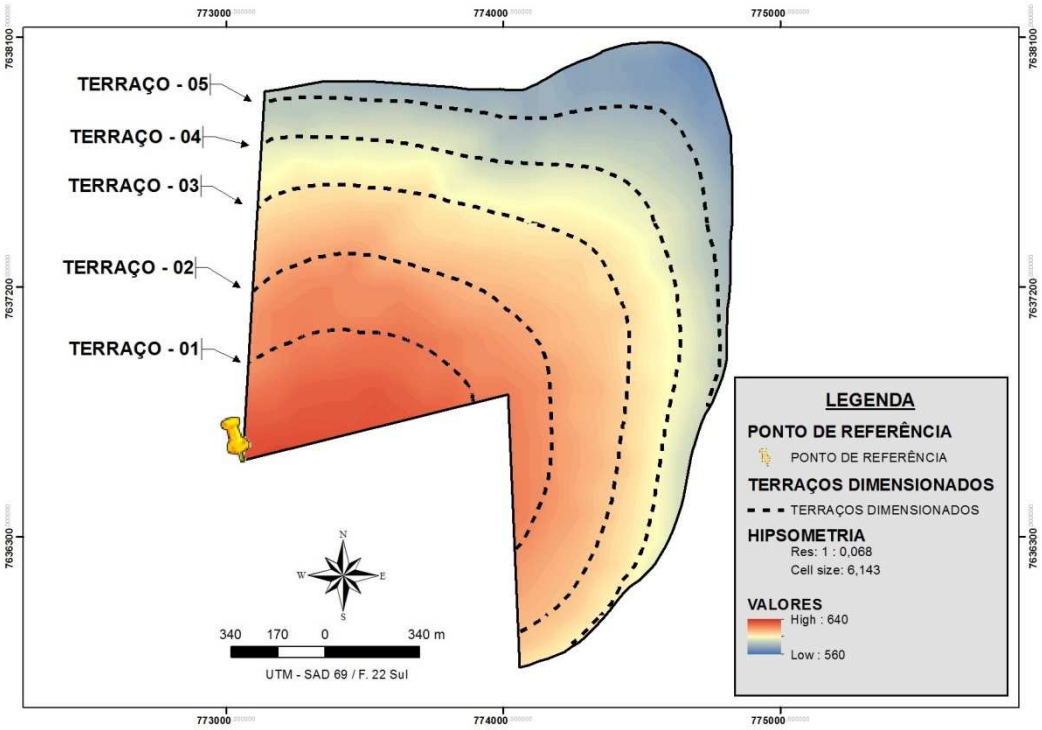


Figura 49 - Dimensionamento de terraços na Fazenda Carretão por meio da modelagem EUPS

Pela Figura 49 é possível identificar o limite da fazenda Carretão, com hipsometria da área (em *degradê* – vermelho ao azul), disposição dos terraços dimensionados (linha tracejada) e ponto de referência para locar o ponto de cota a montante, a partir deste são dispostas as informações características a cada terraço pela Tabela 21.

Tabela 21 - Dados dos terraços dimensionados

Identificação	Comprimento (m)	Cota (m)	Diferença de cota (m)
Ponto de referência	0,00	638	0,0
Terraço - 01	944,70	626	12,0
Terraço – 02	1.938,90	616	10,0
Terraço – 03	2.802,54	607	9,0
Terraço – 04	3.157,88	600	7,0
Terraço – 05	2.570,92	594	6,0
Total	11.414,94	-	-

Como forma comparativa, a Figura 50 ilustra o antes (a) e depois (b) da modelagem para dimensionamentos dos terraços agrícolas na fazenda Carretão.

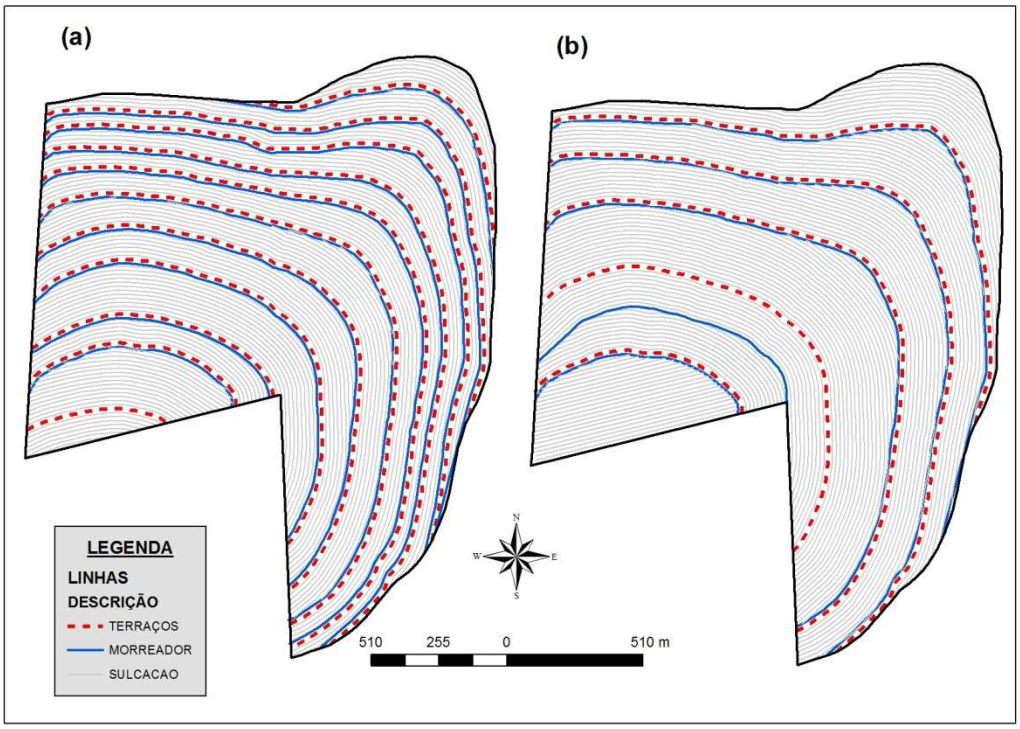


Figura 50 - Comparativo entre antes (a) e depois (b) da fazenda Carretão

Na Figura 50(a) havia 11 terraços, totalizando 22.952 m, em comparação com 5 terraços com 11.415 m no redimensionamento, conforme modelagem EUPS.Uma diferença de cerca de 50% a menos de custos para construção e manutenção de terraços.

5.5.3Viabilidade econômica do dimensionamento de terraços proposto

De maneira geral, a adoção do modelo tem potencial para geração de uma economia à propriedade, desde aspectos de área produtiva até ganhos em rendimento operacional. A seguir são apresentados os ganhos com a aplicação da metodologia em estudo.

a. <u>Área de produção</u>

Com o novo planejamento de terraços haveria a diminuição de 5,14 ha de carreadores na propriedade, já que a usina que detém a produção na propriedade em estudo adota um

carreador no intervalo entre dois terraços, a fim de facilitar a atividade de colheita. Considerando que essa área de carreadores não obtém produção agrícola, a mesma não geraria valores financeiros ao grupo. Os ganhos econômicos com a redução dos carreadores são apresentados:

- Valor da área arrendada aplicada pelo grupo – R$ 60/t,
- Média de Tonelada de Cana por Hectare (TCH) da usina – 85 t/ha;
- Ganhos de área de carreador – 5,14 ha;
- Longevidade do canavial – 8 anos;

- **Área arrendada = R$60/ha x 85 t/ha x 5,14ha x 8anos = R$ 209.712,00**

Assim, o redimensionamento dos terraços agrícolas resultou na inexistência de 5,14ha, com isso a usina sucroalcooleira obteve um lucro de cerca R$209.712,00, desconsiderando o valor desta área ociosa e a taxa de retorno ao longo dos oito anos de produção.

b. <u>Ganhos com rendimento operacional</u>

Como forma de objetividade este item irá tratar somente os ganhos com rendimento operacional da atividade da colheita mecanizada, já que ela é a operação mais onerosa das empresas na área agrícola.

A quantidade de terraços agrícolas implica na quantidade de ruas mortas (como abordado na revisão bibliográfica) e deste modo uma maior quantidade de sulcos. Por sua vez, também há uma maior quantidade de manobras realizada pela máquina colhedora.

A diferença entre pontos de manobra do novo planejamento em relação ao antigo são de 400 pontos. Assim, os ganhos econômicos em decorrência desta redução são apresentados:

- Tempo para realização de uma manobra – 1,5min./ponto de manobra;
- Redução de pontos de manobra – 400pontos

- **Tempo ganho em rendimento operacional = 400pontos * 1,5 min/ponto = 10 horas**

Considerando que uma colhedora em média colhe cerca de 45 t/h, na condição apresentada a mesma deixaria de colher 450 toneladas, trocando esse rendimento para realização de manobras.

Apesar de cada área ter sua particularidade em ganhos com redução de manobras, realizando uma analogia aos 70.000 ha de área de produção do grupo sucroalcooleira que administra a propriedade em estudo, haveria uma redução de 2.692 horas de trabalho de colheita ou 112 dias (considerando trabalho nas 24 h). Estes ganhos implicariam em redimensionamento de frota (colhedoras, tratores), assim como de funcionários.

c. Ganhos com combustível

Neste item também serão abordados os ganhos possíveis com combustíveis somente na operação da colheita mecanizada.

Para a realização de cada manobra o operador da colhedora tem, por obrigação, que efetuar algumas operações de comando na máquina, para que a mesma obedeça a nova condição de caminhamento, como troca de marcha, redução de giro do motor, toque na embreagem e aceleração, dentre outros. Esta sequência operacional gera aumento no consumo de combustível.

Como visto na revisão bibliográfica, o consumo médio de combustível por manobra é de cerca de 700 ml de dieesel. Portanto, os ganhos econômicos com a redução de manobras na fazenda Carretão são apresentados:

- Redução de pontos de manobra – 400 pontos;
- Consumo médio da colhedora – 0,7 L/manobra;
- Valor do combustível (diessel) – R$ 2,60 (usina Santa Adélia);
- Quantidade de média dos cortes realizados pela usina – 8 cortes.

- **Redução de combustível = 400pontos x 0,7L x R$2,60 x 8cortes = R$ 5.824,00**

d. Outros ganhos

Como forma de facilitar os cálculos e principalmente para não entrar no mérito financeiro minucioso, foram considerados nos itens anteriores somente ganhos com a

operação agrícola da colheita mecanizada. No entanto, vale mencionar alguns outros ganhos que o redimensionamento dos terraços pode oferecer à fazenda Carretão e ao Grupo que à gerencia:

- Redução de pisoteio da máquina nas plantas de cana-de-açúcar no ato da manobra;
- Menor desgaste no material rodante dos implementos agrícolas;
- Menor consumo de combustível nas demais operações agrícolas;
- Redução de óleo lubrificante, principalmente nas partes hidráulicas das máquinas;
- Menor manutenção em função dos desgastes;
- Maior longevidade do canavial.

É interessante mencionar que o grupo possui cerca de 70.000 ha, tendo esta propriedade em estudo, somente 260 ha (0,004%). Deste modo, a possibilidade de ampliar os ganhos, através da proposição desta metodologia em toda a área de produção, torna-se uma interessante estratégia ao grupo canavieiro.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas e as recomendações para futuros trabalhos, apresentando os resultados encontrados com a aplicação da ferramenta proposta para dimensionamento de terraços agrícolas a partir da Equação Universal de Perdas de Solo, bem como, as contribuições fornecidas com a elaboração deste trabalho e propondo sugestões para futuros.

A proposta do estudo obteve sucesso na identificação da variabilidade amostral do solo para o dimensionamento conservacionista, gerando curvas de nível com DVs desuniformes, contrariando a sistemática atual de terraços que respeita cotas múltiplas ou mesmo dimensionamentos empiristas, segundo o conhecimento local e o histórico recente da área.

Vale destacar a importância e os efeitos no dimensionamento de terraços quando adotado a tolerância de perda de solos agronômico ou ambiental e suas implicações no terraceamento agrícola.

O estudo possibilitou ainda observar a inviabilidade econômica da adoção de tolerância ambiental em área agrícolas e principalmente o método errôneo da retirada de terraços pelo empirismo dos gestores agrícolas evidenciado na microbacia Ribeirão da Bocaina.

O dimensionamento dos terraços agrícolas, com base na EUPS, mostrou-se significativo, tanto sob análise macro em uma bacia com vastas áreas e diversos usos, como em cenários menores, tomando por base áreas agrícolas cuja variabilidade topográfica e pedológica também se faz presente.

Também cabe destacar a economia gerada com o novo dimensionamento agrícola na área experimental da Fazenda Carretão, com ganhos significativos ao grupo e principalmente ao setor sucroalcooleiro que carece por novos modelos e tecnologias agrícolas para se tornar cada vez mais competitivo dado o cenário de concorrência e da economia interna do País.

As condições pedológicas e de relevo na Fazenda experimental Carretão, são características peculiares que favoreceram o dimensionamento com terraços agrícolas compostos por DV’s considerados altos. No entanto, essa composição favorável não é observada em outras regiões do país, que apresentam solos resistentes e/ou relevos planos.

Assim, o modelo proposto gerencia a composição dos terraços na área de interesse, a fim de arquitetar a melhor posição geográfica dos terraços, eliminando (ou minimizando) os

processos erosivos, auxiliando os gestores que até o presente momento baseiam-se em conhecimentos empíricos sem fundamentação técnica, deste modo possibilitando uma condição segura no aspecto conservacionista das áreas.

O referido estudo também possibilitou a análise de uma equação de predição de sedimentos erosivos no sentido contrário à sua gênese, ou seja, no dimensionamento de mecanismo conservacionista precavendo a erosão simulada.

Este trabalho alcançou o objetivo maior, o fomento pela busca de métodos alternativos de dimensionamento de terraços na cultura da cana-de-açúcar, chegando-se no entendimento que a adoção da EUPS pode ser atribuída a essa finalidade.

Por fim, a metodologia foi satisfatória, no que tange a compreensão pelos meios de correlação entre as práticas conservacionistas e modelos de predição de perda de solo, trazendo luz à ciência na interpretação das ferramentas existentes e as lacunas a serem preenchidas.

Nesse sentido, como sugestões para futuros trabalhos, dando sequência a este, propõe-se:

- ✓ Realizar estudos na criação de coeficientes que atenuem ou superestimem os efeitos do volume precipitado, no Fator R, conforme o mês de plantio da cultura. Levando-se em consideração as três épocas de plantio da cana-de-açúcar: ano e meio (outubro-janeiro), plantio de ano (fevereiro-maio) e inverno (junho-setembro), segundo o comportamento pluviométrico regional.
- ✓ Identificar a resistência e o represamento dos diversos tipos de terraços, adotando coeficiente para cada um deles na equação de predição de erosão.
- ✓ Identificar o comportamento do material senescente (biomassa morta) como a palhada representa na diminuição da velocidade da enxurrada e por sua vez no volume erodido para adoção ao Fator de cobertura (C).
- ✓ Mensurar a representatividade que as diversas práticas de manejo e preparo do solo reduzem os impactos da erosão tais como: subsolagem, rotação de cultura, cobertura verde, quantidade de gradagem e seus tipos e plantio alternado.
- ✓ Quantificar o volume represado nos terraços como meio de recarga dos aquíferos, a fim de atenuar os efeitos que o *defit* hídrico dos últimos anos vem impactando aos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS[21]

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa produtor de águas**. Disponível em: <http://produtordeagua.ana.gov.br// >. Acesso em: 19 jan. 2015.

AGUIAR, A. N. **Colheita mecanizada de cana resulta em ganho ambiental**. 2010. Disponível em: <www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=colheita-mecanizada-cana&id=010125100629>. Acesso em: 30 jul. 2013.

ALEXANDRIDIS, T. K. *et al.*. The Effects of seasonality in estimating the c-factor of soil erosion studies. **Land Degradation & Development**, 2013. Disponível em: <10.1016/j.catena.2005.08.008>. Acesso em: 8 out. 2014.

ALMAZAN, O. *et al.*. The sugar cane, its by-products and co-products. In: ANNUAL MEETING OF AGRICULTURAL SCIENTISTS, 3., 1998, Réduit. **Proceedings.** Réduit: Food and Agricultural Research Council, 1999. p. xiii-xxv.

AMORIM, R. S. S. *et al.*. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE E WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, nov./dez. 2010.

ANDRADE, A. C. S. Informações geológico-geomorfológicas como subsídios à análise ambiental: o exemplo da planície costeira de Caravelas-Bahia. **Boletim Paranaense de Geociências**,n. 51,p. 9-17, 2002.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 1957 - 2014.** Disponível em :< http://www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 18 jan. 2015.

ANTUNES, H.; GLERIANI, J. M.; DEBIASI, P. Atmospheric effects on vegetation indices of TM and ETM+ images from a tropical region using the 6S model. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM , 2012, [S.l.].**Proceesings…** [S.l.]: IEEE International, 2012. p. 6549-6552.

ARAÚJO, R. A. *et al.*. Impacto da queima controlada da palhada da cana-de-açúcar sobre a comunidade de insetos locais. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 4, p. 649-658, 2005.

ASIS, A. M. de; OMASA, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 62, n. 4, p. 309-324, 2007. Disponível em:<10.1016/j.isprsjprs.2007.05.013>. Acesso em: 5 nov. 2014.

BARGIEL, D.; HERRMANN, S.; JADCZYSZYN, J. Using high-resolution radar images to determine vegetation cover for soil erosion assessments.**Journal of Environmental Management**, v. 124, p. 82-90, 2013. Disponível em: <10.1016/j.jenvman.2013.03.049>. Acesso em: 1 out. 2014.

[21]De acordo com “Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: documento eletrônico e impresso – Parte I (ABNT)”.

BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L. Desmistificando a colheita mecanizada da cana crua. **Revista Coplana**, p. 26-28, nov. 2007.

BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. Sistematização de área para colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, n. 53, p. 23-25, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8.ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BORGES, L. A. B. *et al.*. Impact of sugarcane cultivation on the biological attributes of an oxisol in the brazilian savannah. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1459-1473, Sept./Oct. 2014.

BRAIBANTE, M. E. F. *et al.*. A cana-de-açúcar no brasil sob um olhar químico e histórico: uma abordagem interdisciplinar. **Revista Química Nova na Escola**, v. 35, n. 1, p. 3-10, fev. 2013.

CAMELINI, J. **Desenvolvimento de rotina computacional para cálculo do fator LS da EUPS a partir de terraços agrícolas**. [S.l.: s.n.], 2014. Programação em Auto CAD.

CAMPOS, C. Mecanização da colheita já chega a 90%. **Jornal de Piracicaba**, Piracicaba, 25 jan. 2014. Cidade. Disponível em: <http://m.jornaldepiracicaba.com.br/mobile/noticia.php?id=6243>. Acessoem: 10 ago. 2014.

CANÇADO, J. E. D. *et al.*. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 5, p. 725-729, 2006.

CAPAZ, R. S.; CARVALHO, V. S. B.; NOGUEIRA, L. A. H. Impact of mechanization and previous burning reduction on GHG emissions of sugarcane harvesting operations in Brazil. **Applied Energy**, v. 102, p. 220-228, 2013.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed.rev.ampl. Rio de Janeiro: Interciência. 2008.

CARVALHO, J. L. N.; BRAUNBECK, O. A.; CHAGAS, M. F.**Implantação do plantio direto de cana-de-açúcar**: base para sustentabilidade do canavial. Campinas: CTBE/CNPEN, 2012. Disponível em: <http://abccapacitacao.files.wordpress.com/2012/11/cana_de_acucar_estudo-de-viabilidade-economica-abc_31out2012.pdf>. Acesso em: 09 set. 2013.

CARVALHO, D. F. de *et al.*.Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 215-224, 2014. Disponível em: <10.1590/S0100-204X2014000300008>. Acesso em: 4 nov. 2014.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Relatório PIBAGRO-Brasil:** GDP Agribusiness - Brazil Outlook. Piracicaba: ESALQ/USP, 2013. Disponível em :<http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_PIB_BR_dez13.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

CHEN, X.; NUÑEZ, H. M.; XU, B. Explaining the reductions in Brazilian sugarcane ethanol production costs: importance of technological change. **GCB Bioenergy**, v. 7, p. 468-478, 2014.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO. **Programa melhor caminho**. [201-?]. Disponível em: <http://www.codasp.sp.gov.br/site/index.php/servicos/melhor-caminho/programa-melhor-caminho>. Acesso em: 19 jan. 2015.

COWEN, J. A proposed method for calculating the LS factor for use with the USLE in a grid-based environment. In: ANNUAL ESRI USER CONFERENCE, 13., 1993, Redlands. **Proceedings.** Redlands: Environmental Systems Research Institute, c1993. p. 65-74.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

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**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

DURIGON, V. L. *et al.*. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014. Disponível em <10.1080/01431161.2013.871081>. Acesso em: 5 ago. 2014.

EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA. **Programa de mapeamento do Estado de São Paulo (MAPEIA), imagens aerofotogamétricas: ortofotos e modelo digital do terreno**. Disponível em: < http://www.emplasa.sp.gov.br/Emplasa/>. Acesso em: 22 jan. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Formas de controle da erosão linear**. 2014.Disponível em: <www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=243&func=unid>. Acessoem: 14 mar. 2014.

ESRI. **Software mapeamento em GIS**. 2014. Disponível em: <http://www.esri.com/products>. Acessoem: 14 jan. 2014.

FARGIONE, J. *et al.*. Land clearing and the biofuel carbon debt.**Science**, v. 319, n. 5867, p. 1235-1238, 2008.

FATEC JAHU. **Estação hidrometeorológica**.2014. Disponível em: <http://www.fatecjahu.edu.br/estacao/>. Acesso em: 22 jan. 2015.

FERNANDES, C. B. S.; SHIKIDA, P. F. A.; CUNHA, M. S. da. O mercado de trabalho formal no setor sucroalcooleiro no Brasil. **Redes**, v. 18, n. 2, p. 177-192, 2013.

FERNANDES, R. C.; CORREIA F. W. L. F. Espacialização temporal dos focos de queimadas e de poluentes atmosféricos (CO, CH 4, NO 2, N 2 O) em Alagoas.**Ciência e Natura**, v. 35, n. 2, p. 287-294, 2014.

FIORENTIN, A. M. X. **Descrição de relevo com base no intervalo de porcentagem de inclinação**. 2014. 1 ilustração.

_____. **Imagem de satélite da microbacia do Ribeirão da bocaina**. 2014. 1ilustração.

_____.**Mapa altimétrico da microbacia do Ribeirão da Bocaina**.2014. 1 ilustração.

FURLANI NETO, V.L. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar, **STAB**: Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.12, n.3, p.8-9, jan./fev. 1994.

JESUS, K. R. E.; CARDOSO, B. O.; TORQUATO, S. A. Indicators for sustainability assessment of sugarcane production system in São Paulo State: an environmental approach. In: BRAZILIAN BIOENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY CONFERENCE, 2., 2014, Campos do Jordão. **Proceedings…** Campos do Jordão: Bioenergy Society, 2015.

GARBIATE, M. V. *et al.*. Erosão em entre sulcos em área cultivada com canacrua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **RevistaBrasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2145-2155, 2011.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS. **Software Net Erosividade**. 2015. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares/net_erosividade>. Acesso em: 20 Fev. 2015.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**: fundamentals, applications, and environmental considerations. San Diego: Academic Press, c1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014a. **História de Bocaina.** Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=350680&search=sao-paulo|bocaina>. Acesso em: 30 set. 2014.

_____.(IBGE, 2014b). **Cartas topográfica do estado de São Paulo**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/fisico/unidades_federacao/sp_fisico.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa de monitoramente da cana-de-açúcar, Canasat**. 2014. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>. Acesso em: 23 set. 2014.

JONG, S. M. de. **Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment**.1994. 237 f. Thesis (Ph. D.) – Departament of Physical Geography, Utrecht University, 1994.Nederlandse Geografische studies, 177.

KARABURUN, A. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. **Ozean Journal of Applied sciences**, v. 3, n. 1, p. 77-85, 2010.

LAL, R. Mechanized tillage systems effects on soil erosion from an Alfisol in watersheds cropped to maize. **SoilandTillageResearch**, v. 4, n. 4, p. 349-360, 1984.

LE, Q. B.; TAMENE, L.; VLEK, P. L. G. Multi-pronged assessment of land degradation in West Africa to assess the importance of atmospheric fertilization in masking the processes involved. **Global and Planetary Change**, v. 92-93, p. 71-81, 2012. Disponível em: <10.1016/j.gloplacha.2012.05.003>. Acesso em: 17 mar. 2014.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

LIN, C.-Y.; LIN, W.-T.; CHOU, W.-C. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. **SoilandTillageResearch**, v. 68, n. 2, p. 143-152, 2002. Disponível em:<10.1016/S0167-1987(02)00114-9>. Acesso em: 15 jun. 2014.

LIM, S. S. *et al.*. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. **The Lancet**, v. 380, n. 9859, p. 2224-2260, 2013.

LIMA, L. C.; SOARES, M. F. T.; SIZENANDO, E. C. N. As queimadas realizadas no setor sucroalcooleiro na região de Campos dos Goytacazes e os impactos no solo e na fauna local. In: SEMINÁRIO SOBRE ECOTOXICOLOGIA AQUÁTICA, 2., 2011, Campos dos Goytacazes. **Anais...** Campos dos Goytacazes: [s.n.], 2011. p. 1-2.

LIMA, P. C. R. **Os carros flexfuel no Brasil**. Brasília:Câmara dos Deputados, 2009. Nota técnica.

LOPES, S. F; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Revista Brasileira Epidemiologia**, v. 9, n. 2, p. 215-225, jun. 2006.

LABORATÓRIO DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EXPERIMENTAL. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. **Combustíveis para frota leve**: cenários de mudança no perfil de consumo de etanol/gasolina e impacto epidemiológico estimado em saúde. São Paulo: [s.n.], 2014.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. S. **Terraceamento**. [201-?]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fohgb6cq02wyiv8065610dfrst1ws.html>. Acesso em: 24 mar. 2015.

MANNIGEL, A. R. *et al.*. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**,v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2008.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro.**Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232–239, 2013.

MARQUES, J. J. G. S. M. *et al.*. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados-primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 427-434, 1997.

MARTINS FILHO, M. V. *et al.*. Modelos para a estimativa do subfator cobertura-manejo (C iII) relativo à erosão entre sulcos. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 24, n. 3, p. 603-611, 2004.

MATAVELI, G. A. V. *et al.*. Dinâmica dos focos de queimada em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre 2008 e 2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 66/2, mar./abr. 2014.

MEIRA FILHO, L. G.; MACEDO, I. C. **Etanol e mudança do clima**: a contribuição para o PNMC e as metas para o pós-Kyoto. São Paulo: UNICA, 2009.

MELLO, G. de; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of the soil loss, natural potential and erosion risk in intensively cultivated areas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 315-322, 2006.

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. O Protocolo de Kyoto ea geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 8, n. 1, p. 33-43, 2007.

MILLER, R. W.; GARDINER, D. T. **Soils in our environment**. Upper Saddle River: Pearson, 1997.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2009.. **Zoneamento Agro ecológico da cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_cana_de_acucar/ZonCana.pdf> Acesso em: 7 jun. 2014.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**.Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 25 fev. 2014.

MIRANDA *et al.*.A proibição da queima da palha da cana-de-açúcar e suasimplicações no interior paulista.**Revista Fatecnológica Gestão & Tecnologia**, n. 7. 2014.

MISRA, S. R.; SHRIVASTAVA, A. K. Sugarcane (Saccharum species) research in the post-independence era. **American Journal of Botany**, v. 58, n. 3, p. 257-262, 2008.

MORAES, M. A. F. D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período 1992-2005. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 37, n. 4, p. 875-902, 2007.

NEVES, M. F. Dez questões que devem moldar e até mudar o mercado de açúcar. **Revista Attalea Agronegócio**, p. 29-30, set. 2013.

ODUM, E. P. **Fundamentals of ecology**. 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 1971.

OLIVEIRA FILHO, F. X. *et al.*. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileirade Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 186-193, 2015.

OLIVEIRA, T. H. M. **Impactos socioambientais da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar no Brasil contemporâneo**. 2011. 53f. Monografia. (Tecnólogo em Bicombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2011.

OMETTO, A. R. *et al.*.Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. 2005, Goiânia. **Anais ...** São José dos Campos: INPE/SELPER, 2005. p. 2297-2299, 2005.

PARVEEN, R.; KUMAR, U. Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil loss risk assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand. **Journal of Geographic Information System**, v. 4, p. 588, 2012. Disponível em: <10.4236/jgis.2012.46061>. Acesso em: 18 out. 2014.

PEREIRA, Gener *et al.*.Modelagem espaço temporal da perda de solo por erosão em cenários de cultivo de cana-de-açúcar. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v. 3, n. 3, p. 584-588, 2014.

PEROSA, B.;FREDO, C. E.; BELIK, W. Protocolo agroambiental:riscos e oportunidades. **Mercado e Negócios**, v. 32, n. 10, p. 16-18, out. 2012.

PHOOLCHUND, H. N. Aspects of occupational health in the sugar cane industry. **Occupational Medicine**, v. 41, n. 3, p. 133-136, 1991.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. Elementos traço em sedimentos urbanos e sua avaliação por Guidelines. **Holos Environment**, v. 8, n. 2, p. 100-118, 2009.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 27, n. 1, p. 33-42, 2008.Disponível em: <10.4025/actascitechnol.v27i1.1496>. Acesso em 2 mar. 2014.

PREFEITURA DA CIDADE DE BOCAINA. **Histórico**. 2014. Disponível em: <http://www.bocaina.sp.gov.br/portal1/municipio/historia.asp?iIdMun=100135077>. Acesso em: 22 nov. 2014.

PRUSKI, F.F. (Ed.).**Conservação do solo e água**:práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2009.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999.

REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base.** 2009.88 f. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

RENARD, Kenneth G. *et al.*. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).**Agriculture Handbook (Washington)**, n. 703, 1997.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças.**Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 255-271, 2010.

RICCI, R; ALVES, F. J. C.; NOVAES, J. R. P. **Mercado de Trabalho do Setor Sucroalcooleiro no Brasil**. Brasília: IPEA, 1994. 176p. (Estudos de Política Agrícola ,15. Documentos de Trabalho)

ROUSE, J. W. *et al.*. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1974, Washington. **Proceedings...**Washington: Goddart Space Flight Center, 1974. p. 09-317. (NASA Special Publication, v. 1).

SACHS, I. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde.**Estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 195-214, 2005.

SANTOS, N. B. *et al.*. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Saccharum spp.). **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 1, p. 9-13, jan./mar. 2014.

SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SÃO PAULO. (Estado). Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 5 de julho de 1998. Seção I, v. 98, n. 123, p. 1-2. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/188439/lei-6171-88-sao-paulo-sp>. Acesso em: 19 jan. 2015.

SÃO PAULO. (Estado). Lei estadual nº 8.421, de 23 de novembro de 1993. Altera a redução de dispositivos da lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 25 de novembro de 1993. Seção I, v. 103, n. 219, p. 1. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/176857/lei-8421-93-sao-paulo-sp>. Acesso em: 19 jan. 2015.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Decreto Estadual nº 42.056, 6 de agosto de 1997. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 7 de agosto de 1997. Seção I, v. 107, n. 149, p. 1-2. Disponível em:<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/decretos/decreto-estadual-n%C2%B0-42-056/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 11.241, 19 de setembro de 2002. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 20 de setembro de 2002.Seção I, v. 112, n. 180, p. 2. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/legislacao/2002_Lei_Est_11241.pdf>. Acessoem: 19 ago. 2014.

SCARPINELLA, G. D. **Erosão em carreadores da cultura da cana-de-açúcar**: estudo de caso na bacia do Ribeirão do Feijão (SP). 2012. 209 f. Tese (Doutorado em Ciências da

Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

SCHÖNBRODT, Sarah *et al.*.Assessing the USLE crop and management factor C for soil erosion modeling in a large mountainous watershed in Central China. **Journal of Earth Science**, v. 21, n. 6, p. 835-845, 2010. Disponível em:<10.1007/s12583-010-0135-8>. Acesso em: 21 jun. 2014.

SCHWELA, D.H. *et al.*. (Eds.). **Health guidelines for vegetation fire events**. Genebra: World Health Organization, 1998. Disponível em: <http://www.fire.uni-freiburg.de/vfe/WHO%20Health%20Guidelines%20Vegetation%20Fires-Complete.pdf>. Acesso em: 6 Jan. 2004.

SCOTT, H. Don *et al.*. **Soil physics**: agricultural and environmental applications. Iowa state university press, 2000.

SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh_home_colegiado.exe?TEMA=APRESENTACAO&COLEGIADO=CRH/CBH-TJ&lwgactw=542708>. Acesso em:9 jun. 2014.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré**. [201-?]. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>. Acesso em: 30 out. 2014.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás. **Revista Territorial**, v. 2, n. 1, p. 106-127, 2014.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2. ed. São Carlos: Rima,2007.

SILVA, F.G.B.; CRESTANA, S. Reunião de modelos e formulações para análise de erosão de solos em bacias hidrográficas voltadas ao planejamento ambiental. In: SIMPÓSIO DOS CURSOS DE PÓS GRADUAÇÃO DA ENGENHARIA AMBIENTAL, 9., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Rima,2003.p.55-72.

SOUZA, Z. M. *et al.*. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

SPAROVEK, G. *et al.*. Comparison of three water erosion prediction methods (137Cs, WEPP, USLE) in south-eastbrazilian sugarcane production. **Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics**, v. 101, n. 2, p. 107-118, 2000.

TUCCI, C. E.M; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. TUCCI, CEM; MARQUES, D. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana.** Porto Alegre: EdUFRGS, 2000. v. 1, p. 119-127.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR. **A Sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro**. 2014a. Disponível em: <http://www.unica.com.br/sustentabilidade//>. Acesso em: 10 jun. 2014.

_____. **Relatório anual de atividades da ÚNICA – 2013**.2014b. Disponível em: <http://www.unica.com.br/imprensa/11087344920315173097/bioeletricidade-consegue-gerar-uma-usina-belo-monte-em-2013>. Acesso em: 1 jul. 2014.
_____. **Mapa da produção**. 2014c. Disponível em: <http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/>.Acesso em:20 maio 2014.

_____. **Histórico do setor**. 2014d. Disponível em: <http://www.unica.com.br/linha-do-tempo/>. Acesso em: 24 set. 2014.

_____. **Relatório anual de atividades da ÚNICA – 2013**.2014e. Disponível em: <http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=18797613>.Acessoem: 1 jul. 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Imagens Landsat 8 do local de estudo**. 2014. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/>. Acessoem: 15 Ago. 2014.

URIARTE, M. *et al.*.Expansion of sugarcane production in São Paulo, Brazil: implications for fire occurrence and respiratory health. **Agriculture, Ecosystems& Environment**, v. 132, n. 1, p. 48-56, 2009.

VALENTE, O. F. **Sobre barraginhas, terraços e caixas de captação de enxurradas.** 2009.Disponível: <http://www.ecodebate.com.br/2009/09/02/sobre-barraginhas-terracos-e-caixas-de-captacao-de-enxurradas-artigo-de-osvaldo-ferreira-valente/>. Acesso em: 24 mar. 2015.

ZOCCAL, J. C. **Soluções:** cadernos de estudos em conservação do solo e água.Presidente Prudente: CODASP, 2007.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains:** guide selection of practices for soil and water conservation.Washington: USDA, 1978.

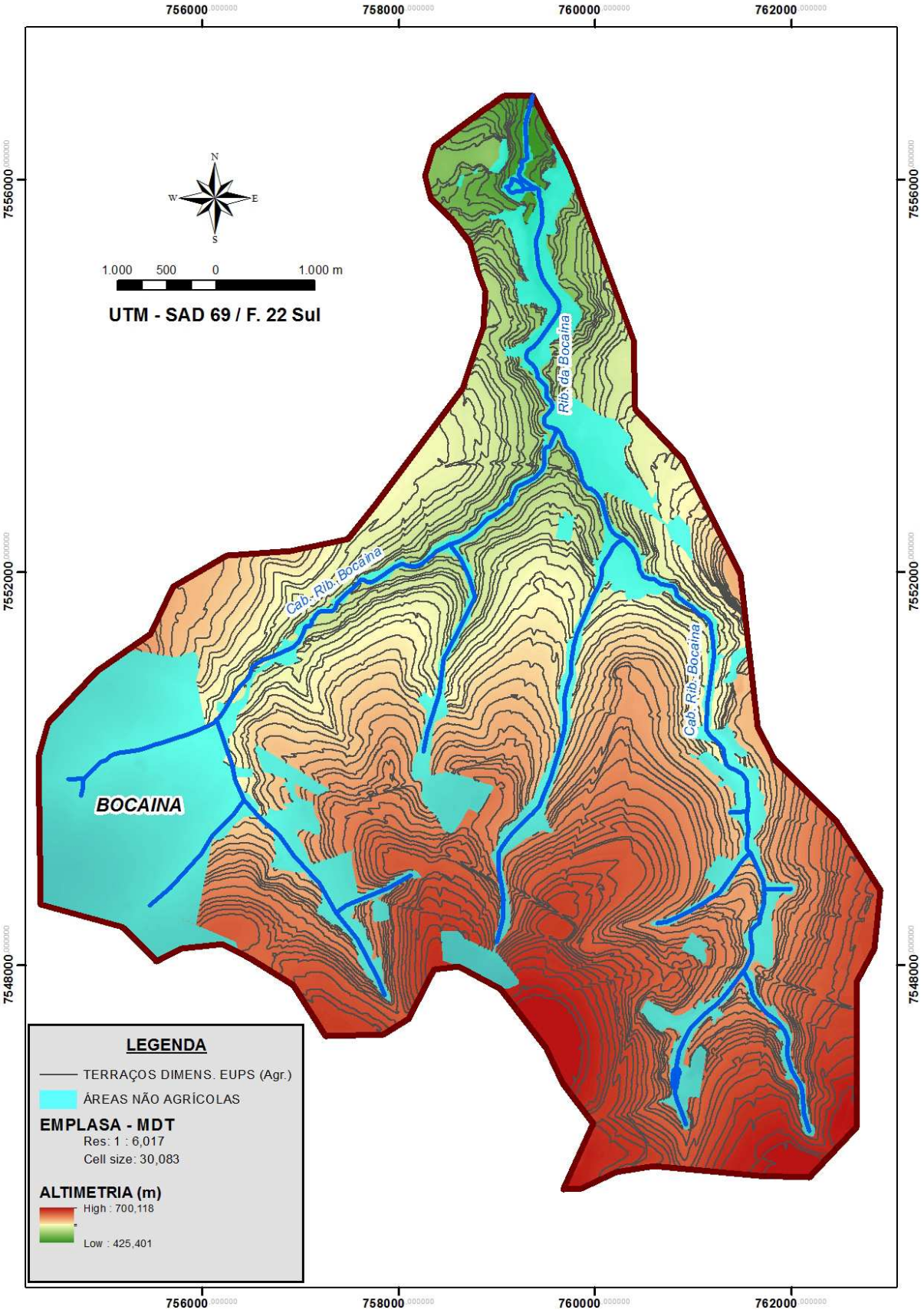
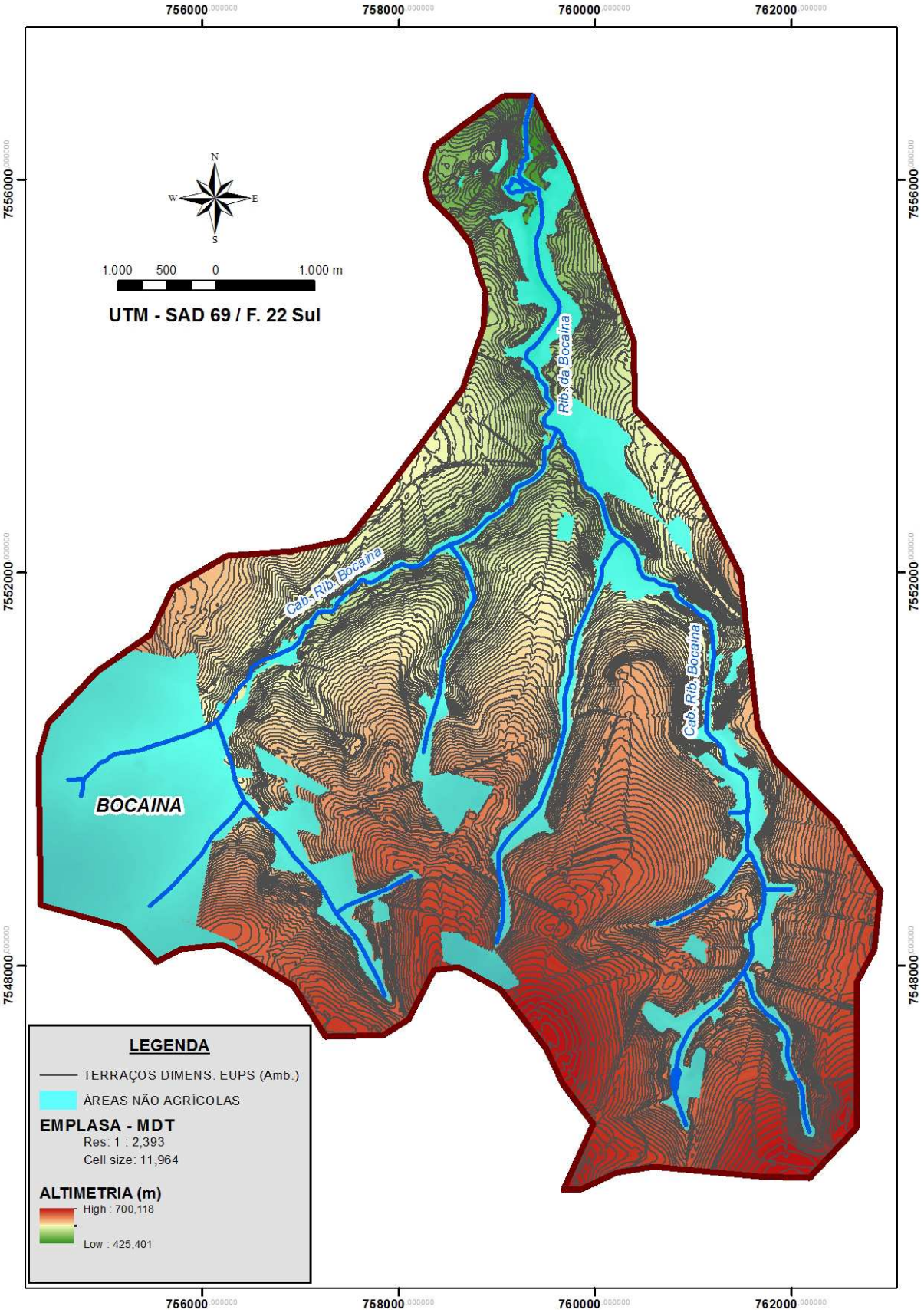
WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health Guidelines for Vegetation Fire Events**. ed. Schwela DH, Goldammer JG, Morawska LH, Simpson O. Genebra: World Health Organization; 1999. Disponível em <URL:http://www.who.int/docstore/peh/Vegetation_fires/Backgroundpapers/ BackgrPap1.pdf> Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

ZORZO, C. R. B; JESUS, K. R. E.; TORQUATO, S. A. Mecanização no cultivo de cana-de-açúcar como componente de sustentabilidade: o caso de Piracicaba/SP e Quirinópolis/GO. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP AGROENERGIA MATÉRIAS PRIMAS, 8., 2014, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: APTA, 2014. Ref. 053. 2015.

ZUCOLLO, A. E. **Encontro água & floresta**: vivência: programa estadual de microbacias. 2014). Disponível em:

<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/222/Documentos/2008_Agua%20e%20Floresta/07-25_VeraLuciaeOutros_ProgEstMicrobaciasHidrograficas.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2015.

APÊNDICE A – Cenário A - Dimensionamento de terraços agrícolas mediante conceito de tolerância de perda de solos agronômico.



APÊNDICE B – Cenário B - Dimensionamento de terraços agrícolas mediante conceito de tolerância de perda de solos ambiental.