




UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Baruer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Afonso Peché Filho e aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de dezembro de 1998. Campinas, 10 de agosto de 1999.

  
Presidente da Banca

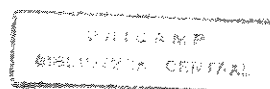
METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE DE  
TERRAS EM FUNÇÃO DA MECANIZAÇÃO DO PREPARO DE  
SOLO

AFONSO PECHE FILHO

CAMPINAS

1998

9919644



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	229/99
V.	Ex. 39395
PREÇO	229,99
G	0 X
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	09/11/99
N.º CPD	

CM-00136651-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA – BAE – UNICAMP

P332m

Peche Filho, Afonso

Metodologia para avaliação da fragilidade de terras  
em função da mecanização no preparo do solo / Afonso  
Peche Filho, --Campinas, SP: [s.n.], 1998,

Orientador: Archimedes Perez Filho

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Recursos Naturais – Conservação. 2. Agricultura  
– Mecanização. 3 – Agricultura – Aspectos ambientais.  
4. Solos – Manejo. 5. Terras – Classificação. 6.  
Agricultura – Administração. I. Perez Filho,  
Archimedes. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE DE  
TERRAS EM FUNÇÃO DA MECANIZAÇÃO NO PREPARO DE  
SOLO**

**AFONSO PECHE FILHO**

Orientador: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Estadual de Campinas, como requisito  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola

**CAMPINAS – DEZEMBRO – 1998**

Aos meus pais,

a Ana

ao Pedro

ao Fernando

e ao Henrique

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Archimedes Perez Filho, pela orientação, amizade, apoio e principalmente paciência.

Ao pesquisador científico do IAC, Pedro Luiz Donzeli pelas sugestões e incentivo.

Ao amigo e pesquisador científico do IAC, Jener Fernando Leite de Moraes pelo inestimável auxílio na aplicação dos resultados para geração das cartas temáticas.

Aos professores: Carlos Roberto Espindola, Sidneide Manfredini e Roberto Testeslaf.

Aos colegas Maria Ferreira, Sônia Elisabete Pereira, Varli José Dorighello pelo carinho, paciência e inestimável presteza.

Ao amigo e pesquisador científico do IAC, José Augusto Bernardi, pelo apoio, incentivo e companherismo.

Aos amigos e pesquisadores do IAC, João Aureliano de Souza Costa (*in memoriam*), Sérgio Augusto Kurachi, Moises Storino, Antonio Carlos Loureiro Lino, Ila Maria Corrêa, José Valdemar Gonzalez Maziero, Claudio Alves Moreira, Isabela Clerici de Maria, Francisco Lombardi Neto, Orivaldo Brunini e Maria Regina Gonçalves Ungaro.

Aos amigos José Luiz Duarte Coelho, Pedro Henrique Weirich Neto, Arsênio Sattler, Antônio Lilles Tavares, Angelo Vieira dos Reis, Edinaldo Carvalho Guimarães e Emília Hamada, pelo carinho e incentivo.

E aos funcionários do CMAA/IAC e UNICAMP.

Ao CNPq.

## RESUMO

O trabalho teve como objetivo fornecer subsídios metodológicos para estabelecer critérios de avaliação teórica da fragilidade de terras em função da intenção de utilização de sistemas operacionais de preparo de solo em áreas de exploração agrícola. Com base no estudo, coleta e organização de dados providos de levantamento pedológicos, cartas topográficas e imagens orbitais, fez-se uso da análise matricial para estudar a interação entre os fatores tipo de solo, sistemas operacionais mecanizados de preparo do solo e a declividade do terreno. Essa análise propiciou a obtenção de uma matriz geradora de indicadores numéricos que possibilita valorar a fragilidade das terras frente à possibilidade de impacto ambiental causado pela ação das máquinas componentes do sistema operacional adotado. Na análise matricial dos dados providos de informações contidas no levantamento de solos do Estado de São Paulo, obtiveram-se informações suficientes para 128 interações, relacionando 4 grandes grupos de solos, 4 sistemas operacionais mecanizados de preparo do solo e 8 classes de declive. Por estratificação simples, estabeleceu-se uma hierarquização dos valores obtidos na análise das 128 interações; essas classes foram denominadas fragilidade e hierarquizadas como: baixa, média, alta e severa. Com a utilização dos recursos de um sistema de informação geográfica (SIG) foram obtidas cartas temáticas e a distribuição percentual das áreas. Em exercício para aplicabilidade da metodologia, utilizaram-se dos dados gerados nos estudos realizados pelo Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo – BR, na microbacia do Córrego São Joaquim em Pirassununga – SP, em que foram obtidas quatro cartas temáticas, mostrando o zoneamento da fragilidade das terras frente à adoção de sistemas operacionais mecanizados para o plantio direto, escarificação,

aração e gradagem pesada/rotavação. A distribuição percentual das zonas de fragilidade para a carta com o plantio direto foi: baixa 64%, média 22%, alta 0%, severa 14%; carta para escarificação: baixa 55%, média 27%, alta 2%, severa 16%; carta para aração: baixa 39%, média 34%, alta 5%, severa 22%; carta para gradagem/rotavação: baixa 26%, média 36%, alta 8%, severa 30%. Os resultados mostram a aplicabilidade da análise matricial na elaboração de métodos para planejamento e tomada de decisões, relacionados com a previsão de impacto ambiental causado pela utilização de sistemas operacionais mecanizados no preparo e manejo de solos.

**PALAVRAS CHAVES:** mecanização, gerenciamento, fragilidade das terras, classificação de terras, preparo primário, metodologia.

## METHODOLOGY FOR EVALUATION OF LAND'S FRAGILITY AS FUNCTION OF SOIL PREPARING MECHANIZATION

### SUMMARY

This aim of this work is to provide methodological subsidies establishment of theoretical evaluation criterias of land's fragility, as function of operational systems utilization of soil preparing in agricultural exploitation areas.

Pedological surveys, topographic charts and orbital images were used to study the interaction among the following factors: soiltype, soil preparing operational systems and soil slope.

From matricial analysis, a generating matrix of numerical indexes was obtained, sothat land's fragility caused by the ambiental impact of the adopted operational system's machines.

By single stratification of data, 4 classes of land's fragility were determined. Then, the values from the analysis could be classified as: low, medium, high and severe.

Using a geographical information system (sig's) thematic charts and percentual distribution of land's fragility zones as were obtained.

Fragilty zones percentages for no tillage farming chart were: low class: 64%, medium class: 22%; high class: 0% and severe class: 14%, For soil escarification chart: low: 55%; medium: 27%; high: 2% and severe: 16%, For plowing chart: low: 39%; medium: 34%; high: 5% and severe: 22%. For heavy harrowing with rotovator chart: low: 26%; medium: 36%; high: 8% and severe: 30%.



The results confirm the applicability of matricial analysis , So the elaboration of planning methods and decisions taking are possible with prediction about the envirommental impact caused by the mechanized operational systems.

**KEY WORDS:** mechanization, managing, fragility soils, soil classification, soil prepare, methodology

## ÍNDICE

	Pág
Agradecimentos	I
Resumo	II
Summary	IV
Índice	VI
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	2
2-1 Potencial de dados disponíveis em trabalhos como: levantamentos e mapas de solos, imagens orbitais e sensoriamento remoto	2
2-2 Parâmetros de projetos de pesquisa relacionados com atributos do solo	6
2-3 Perdas de solo e água relacionados com os processos de mecanização e a fragilidade das terras	11
2-4 Resultados de pesquisa realizadas na Microbacia do Córrego São Joaquim	13
3. Material e Métodos	24
3-1 Fase 1- Estudo e compreensão da interação dos fatores: tipo de solos, sistemas operacionais de preparo e declividade	24
3-2 Fase 2 – Estudo dos fatores solo e declividade na Microbacia do Córrego São Joaquim – Pirassununga – SP	32
3-3 Fase 3 – Obtenção dos planos de informação do solo e declividade	34

3-4 Fase 4 – Obtenção das cartas de fragilidade à mecanização	36
4. Resultados e Discussão	38
4-1 Cartas de declive de acordo com a proposta para interação matricial	38
4-2 Cartas de solo de acordo com a a proposta de agrupamento para interação matricial	41
4-3 Matriz tridimensional para compreensão da interação entre fatores: grupo de solos, sistemas experimentais de manejo e declividade	44
4-4 Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional mecanizado de plantio direto na palha	47
4-5 Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional mecanizado com escarificação	49
4-6 Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional com aração	52
4-7 Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional com gradagem pesada e rotavação	55
5. Conclusões	58
6. Referências Bibliográficas	59

## 1. INTRODUÇÃO

Os efeitos da mecanização no preparo de solos tropicais constituem objeto de estudo há várias décadas, principalmente no que se refere a perdas por erosão e produtividade das culturas. Sem dúvida alguma, o efeito das ferramentas para revolvimento e mobilização causam um impacto ambiental no local de trabalho, que, dependendo da intensidade, jamais é possível recuperá-lo.

Todas as práticas de preparo fragilizam a superfície do solo, promovendo efeitos que causam impactos, que se manifestam das mais diferentes formas, nos diferentes tipos de solo e nas mais diferentes condições de relevo.

Com o desenvolvimento da estratégia que fundamenta os trabalhos de planejamento de desenvolvimento rural, com base em Microbacias Hidrográficas, os estudos relacionados com o planejamento agroambiental tomam cada vez mais importância, principalmente aqueles relacionados com a previsão de impactos. Na área da mecanização agrícola poucos são os trabalhos que contemplam subsídios metodológicos para o desenvolvimento, voltados à obtenção de informações com base na probabilidade de ocorrência de impacto ambiental.

A popularização do uso de Sistemas de Informações Geográficas no planejamento agroambiental propicia uma ampla abertura para o desenvolvimento de técnicas auxiliares nos estudos dos mais diferentes ambientes agrícolas.

O trabalho mostra parte dos esforços empreendidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas, no sentido de colocar à disposição dos usuários mais uma proposta metodológica para a classificação de terras com base na expectativa de fragilidade do solo causado pela adoção de sistemas operacionais mecanizados de preparo primário.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2-1 Potencial dos dados disponíveis em trabalhos como: levantamentos e mapas de solos, imagens orbitais e sensoriamento remoto

OLIVEIRA (1978) esclarece que os levantamentos pedológicos constituem documentos básicos por excelência, fornecendo informações indispensáveis para a elaboração de estudos interpretativos; contudo, tendo em vista que as camadas superficiais do solo estão sujeitas a mudanças importantes em curto espaço de tempo, em decorrência da ação antrópica, os critérios taxonômicos utilizados em pedologia enfatizam sobretudo horizontes inferiores. Desta forma, segundo este mesmo autor, ficam sem ser explicitadas, nas classes taxonômicas, e, conseqüentemente, nos levantamentos de solos executados com níveis menos detalhados, características das camadas superiores que interessam particularmente ao planejamento e à execução das práticas de fertilização.

Segundo LEPSCH (1985), existem vários tipos de levantamentos envolvendo identificação de solos, dentre os quais os mais conhecidos são os pedológicos, os morfológicos e os utilitários. A utilização de um ou outro depende de vários fatores, dentre os quais os recursos de trabalho, a acessibilidade de áreas e a finalidade a que se destina o levantamento.

Ainda segundo este mesmo autor, sempre que possível, deve se escolher um sistema conhecido, de uso corrente, pois isto permite melhor compreensão dos mapas pelos usuários. Pode haver o caso, no entanto, de haver a necessidade do desenvolvimento de um sistema especial para atender uma finalidade específica, para qual nenhum sistema conhecido adapte-se bem. Somente nesses casos a elaboração e uso de um sistema menos conhecido será desejável.

Para o caso dos estudos de zoneamento agrícola, de cultivos específicos, desde que não haja necessidade de especificar aptidão para mais de um nível de manejo, a solução ideal, segundo LEPSCH (1985), parece ser a da composição de um sistema específico baseado no esquema geral proposto pela FAO em 1976.

RANZANI (1969) relata algumas características de tipos de mapas de solos:

- Mapas detalhados: nestes o trabalho é conduzido ao nível de subdivisões da série de solos: tipos de solo e fases deste.
- Mapas de reconhecimento: variam de semidetalhes a associações de solos e os limites entre as unidades são marcados mediante observações conduzidas a intervalos relativamente grandes na linha de separação destas.
- Mapas generalizados: são obtidos a partir de mapas detalhados, sendo úteis para colocar em evidência atributos regionais e para comparação entre regiões distintas
- Mapas esquemáticos: o princípio adotado na sua elaboração é o da convergência de evidência, Cada solo é inferido pela interação dos cinco fatores de gênese: clima e organismos condicionados pelo relevo, atuando sobre o material de origem durante um certo intervalo de tempo.

Além dos relatos de RANZANI (1969), o IICA (1985) destaca o uso de:

- Mapa de aptidão de solos, em que se determina um conjunto de características atuais de um solo que são possíveis de serem relacionadas com a produção das plantas a serem cultivadas. Nestes mapas são encontrados: profundidade útil, água aproveitável, salinidade, pH, heterogeneidade, instabilidade estrutural, pendente, grau de erosão e outros dados.
- Mapa de vocação dos solos: a partir de uma carta de aptidão incluindo fatores não pedológicos, tais como econômicos, sociológicos e outros, elabora-se um

documento para compreender as relações do homem com o meio e a natureza; é também conhecido como mapa de ocupação de solos.

Citando o Comitê Francês de Cartografia, o IICA (1985) apresenta o quadro abaixo, onde é possível relacionar a escala, a classificação e utilização de mapas de solos.

Quadro 1 - Relações Escala – Classificação – Utilização  
Fonte: Comitê Francês de Cartografia, citado por IICA (1985).

Escala	Denominação da escala	Nível de classificação	Utilização
1/5000000 1/2500000  1/1000000	Pequena	Grupos e subgrupos	Mapa geral para planos governamentais
1/200000 1/100000  1/50000	Média	Famílias e às vezes séries	Mapa de inventário de solo para planos regionais e grandes linhas de manejo
1/25000 1/20000 1/10000  1/5000 1/2500	Grande    Planos	Séries, fases e tipos segundo os casos	Mapas para intervenções detalhadas de zonas pequenas, introdução de novos cultivos.

Segundo AMARAL (1969), para levantamentos de solos as melhores escalas de fotos aéreas, de acordo com o tipo de levantamento, são as seguintes:

- Levantamentos detalhados – escala 1:50000
- Levantamentos semi-detalhados – escala 1:25000
- Levantamentos de reconhecimento – escala 1:5000

Ainda segundo o mesmo autor, o ideal é que o mapa gerado tenha a mesma escala da fotografia.

ROSA (1990), citado por VIZINTIM (1990), afirma que imagens geradas pelo LANDSAT/TM em papel fotográfico em escala 1:1000000 são as mais utilizadas para caracterização de uso da terra. Ainda segundo este autor, a época e data da obtenção da imagem é também importante, pois em algumas regiões no período chuvoso é grande a possibilidade de haver alto grau da cobertura de nuvens, prejudicando a visão da superfície.

NOVO (1990) relata que para que se possam extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento. O conhecimento do comportamento espectral de alvos não é importante somente para a extração de informações de imagens obtidas pelos sensores, mas também na definição do tipo de processamento a que devem ser submetidos os dados brutos, ou mesmo na definição da forma de aquisição dos dados.

VALÉRIO FILHO et al. (1986), pela análise estrutural, realizou uma cartografia detalhada dos solos das bacias vertentes elementares em Padre Nóbrega, na região oeste de Marília (SP); a análise dos dados, segundo os autores, permitiu identificação de diferentes classes de solos, como também a diferenciação de vários aspectos superficiais do solo, tal como a erosão.

ANGULO FILHO & DEMÉTRIO (1986) utilizaram fotografias aéreas verticais na escala 1:35000 para analisar a rede de drenagem e o relevo na diferenciação de solos.

Segundo AMARAL (1969), a fotopedologia está baseada em seis critérios: relevo, drenagem, cabeceiras de erosão, vegetação natural, uso atual e tonalidade.



FROST (1960), citado por NOGUEIRA (1979), VETORAZZI (1975), MARCHETTI (1969) e FADEL (1972), englobam todos os fatores limitantes do emprego da fotopedologia em três categorias: fatores inerentes às técnicas e materiais fotográficos, habilidade do fotointérprete e características da paisagem.

FRANÇA (1968), citado por NOGUEIRA (1979), considera a densidade de drenagem, determinada em amostras circulares de 10 km<sup>2</sup>, entre os parâmetros úteis para fazer distinção entre unidades de solos classificados a nível de série.

## **2-2 Parâmetros de projetos de máquinas relacionados com os atributos do solo**

Seguramente o relevo é o atributo do solo que mais influencia no desempenho de máquinas, VIEIRA (1988) afirma que o impedimento ao uso de implementos agrícolas depende principalmente do grau e forma do declive, presença e ausência de pedregosidade, profundidade e consistência, dentre os fatores mais importantes.

CORREA (1953) afirma que quanto ao declive do terreno, o trator apresenta tanto mais força quanto menor for a declividade da gleba; há uma perda de força de tração que é proporcional ao peso do trator e ao declive da encosta.

GRANDI (1981) apresenta um quadro relacionando declividade com perdas de potência das máquinas:

Quadro 2 – Perda da tração em função da declividade

Declividade	Valor do ângulo de declividade	Perda de tração em Kgf/tonelada de peso
1%	1 <sup>0</sup>	9,06
2%	-	18,14
3%	-	27,21
4%	2 <sup>0</sup>	36,28
5%	-	45,35
6%	-	54,43
7%	-	63,50
8%	-	72,54
9%	-	81,64
10%	5 <sup>0</sup>	92,72
15%	8 <sup>0</sup>	134,16
20%	11 <sup>0</sup>	117,80
25%	14 <sup>0</sup>	219,99
50%	26 <sup>0</sup>	405,96
75%	36 <sup>0</sup>	542,49
100%	45 <sup>0</sup>	635,93

Para se determinar, segundo GRANDI (1981), o esforço tratório requerido, multiplica-se o peso bruto do trator mais equipamento, em toneladas, pelo esforço de tração, ou, separadamente, para o peso do implemento a ser usado, conforme for o caso. MIALHE (1980) preconiza que o estudo das forças em equilíbrio, que agem sobre o chassi do trator, é de fundamental importância para a compreensão de certos fenômenos que ocorrem durante a sua utilização no campo; o conhecimento das condições de equilíbrio permite uma aplicação segura do trator, evitando-se riscos de acidentes em terrenos de topografia acidentada. Segundo este mesmo autor, é importante que o terreno e as máquinas sejam analisados sob o ponto de vista de equilíbrio estático lateral, com um estudo dinâmico do comportamento do trator em movimento.

De acordo com MIALHE (1980), é possível determinar matematicamente as condições de equilíbrio lateral estático de tratores. Segundo o autor, pela relação

entre a medida em altura do centro de gravidade (CE) e bitola do trator, pode se estabelecer a equação:

$$d = \frac{S}{2Y} \cdot 100$$

d = declividade limite do plano de apoio

S = bitola do trator

Y = cota vertical do centro de gravidade

O autor afirma que por esta determinação é possível mostrar que as condições de equilíbrio estático lateral do trator ocorrem quando a declividade do plano de apoio for igual à declividade operacional limite (d). Ultrapassando esse valor, o trator tomba lateralmente. Na prática, segundo o autor muito antes de ser atingida essa declividade o trator já corre sério risco de perder sua estabilidade lateral.

Ainda segundo MIALHE (1980), pode se calcular a declividade operacional limite considerando o ângulo do plano de apoio, que é uma função da bitola do trator, S, e do desnível, p, existente entre os pontos de contato do pneu com o solo, pela equação abaixo:

$$d_l = \frac{\frac{S^2}{2Y} - P}{\frac{P \cdot S}{2Y} + S} \quad \text{onde:}$$

d<sub>l</sub> = declividade limite

S = bitola do trator

P = desnivelamento entre os pontos de contato dos pneus com o solo

Y = cota vertical do centro de gravidade

O autor afirma que, como norma de segurança, deve se tomar apenas a metade do valor do ângulo de inclinação correspondente da  $d/l$  para recomendar o limite máximo de inclinação dos terrenos de cultura nos quais o trator ou máquina automotriz pode trabalhar; sendo assim, de acordo com esse critério:

$$\alpha_{\text{máximo}} = 0,5 \cdot \alpha_{dl}$$

sendo que  $\alpha_{\text{máximo}}$  = o ângulo máximo recomendável para uso do trator ou máquina automotriz.

BARGER, et al., (1963) afirmam que a estabilidade longitudinal de um trator importa por, no mínimo, duas razões fundamentais: primeiro, pelo perigo de vida e ao equipamento (se o trator se torna instável, ele capota) e, segundo, pela variação nas relações entre as reações de apoio do solo nas rodas dianteiras e traseiras.

DAVIS & REHKUNGLER (1974) citam que nos EUA, de acordo com o relatório de Volpe em 1971, cerca de 500 pessoas morrem na zona rural a cada ano, por tombamento acidental de tratores. Esses fatos geraram uma enorme campanha a favor de tratores com estruturas de proteção contra capotagem. Ainda segundo esses autores, esses motivos levaram também a um forte incentivo aos estudos para entender completamente a mecânica de tombamento de tratores; assim, esses autores apresentam um modelo matemático para estudos da estabilidade lateral.

CROLLA & HALES (1979) empreenderam estudos sobre o comportamento de tratores com carretas acopladas na barra de tração; os resultados do trabalho culminaram em um modelo matemático para predição das condições de estabilidade quando o conjunto trator-carreta estão em movimento.

CHISHOLM (1979) coordenou mais de 30 experimentos para se estudar o tombamento de tratores; simulando diferentes condições de trabalho e declividade,

esse autor mostra que quando a declividade chega entre 15 e 20% normalmente a maioria dos modelos de tratores perdem a sua estabilidade dinâmica.

KIM & REHKUGLER (1987), em trabalho de revisão bibliográfica, indicam que os simuladores matemáticos estão bem desenvolvidos e que além do declive mais de 21 variáveis influem na estabilidade dinâmica do trator.

MITCHELL et al. (1972) também trabalharam no desenvolvimento de modelos matemáticos para estudo da estabilidade dinâmica de tratores em áreas declivosas, concluindo que os critérios para estudo da estabilidade dinâmica necessariamente têm que convergir para as variáveis componentes da velocidade angular crítica e o ângulo de inclinação da superfície.

MIALHE (1996) cita vários casos de estudos relacionados com a estabilidade dinâmica de tratores, trabalhando sob diferentes condições. O de Stefanelli, 1956, preconiza que para trabalhar com segurança em áreas de topografia declivosa, o limite de inclinação do plano de apoio deve ser 1,5 a 2,5 vezes menor que a declividade limite de tombamento estático da máquina. No de Meyer, 1973, com um trator MF-135, cuja bitola foi aberta para 2,28m, tendo conseguido operar em área com declive até 10% de forma satisfatória no cultivo de soqueiras de cana de açúcar, na Estação Experimental de Mount Edgecombe, na África do Sul; de 10 a 15% começaram a surgir dificuldades, tais como derrapagem lateral, danificação de soqueiras instabilidade perceptível etc; a operação ficou praticamente impossibilitada quando a declividade do terreno aproximou-se dos 20%.

## **2-3 Perdas de água e solo relacionadas com a mecanização**

Na literatura há inúmeras citações relacionando mecanização a perdas de solo e água; algumas dessas são a seguir referidas.

Em 1943, nos Estados Unidos, marca-se o aparecimento de uma publicação sobre sistemas de preparo do solo: Plowman's Folly, "A Insensatez do Agricultor", obra de Edward H. Faulkner, em que o uso do arado é severamente condenado, considerado como prejudicial e reconhecendo na aração a maior causa da erosão do solo (FAULKNER, 1981).

Browning & Norton, 1947, citados por BENATTI et al., (1983), relatam que o preparo do solo com aração proporcionou 3,5 vezes mais perdas de terra do que preparo com grade de discos.

Em 1950, o Dr. João Quintiliano de Avellar Marques, do Instituto Agrônomo de Campinas, publicou o livro "Processos Modernos de Preparo do Solo e Defesa Contra a Erosão", em que relata os trabalhos até então realizados pela Seção de Conservação do Solo do IAC. Em um solo arenoso com declive de 10%, comparando seis tratamentos de preparo, concluiu que os sistemas de preparo do solo que deixam os restos de cultura na superfície são, em geral, melhores do ponto de vista do controle da erosão. (MARQUES, 1950).

MARQUES e BERTONI (1961) estudaram o efeito de tipos de preparo do solo na cultura do milho, ocasionando maior ou menor revolvimento, tendo concluído que o sistema de preparo tem efeito significativo sobre as perdas de terra e de água. O tratamento "duas arações" com arado de aiveca resultou uma perda de terra de 14,6 t/ha e 5,7% da chuva anual em água escoada. Quando a aração foi sub-superficial, com arado de aiveca sem a telha tombadora, a perda foi de 8,6 t/ha de

terra arrastada e 5,0% da chuva anual em água escoada. Tais resultados mostram que o revolvimento deve ser limitado; caso contrário, aumentará a desagregação do solo e, conseqüentemente, as perdas por erosão.

Harrold & Eduards, 1972, citados por BENATTI et al. (1983), evidenciaram as relações de perdas de solo entre plantio direto e convencional, tendo demonstrado que a mobilização provoca perdas cerca de 7 vezes maiores do que o plantio direto.

CASTRO (1989) evidencia que o plantio direto no Latossolo Roxo reduziu as perdas de solo em 80% em relação ao sistema de arado de discos. Ainda segundo esse autor, o preparo primário com arado escarificador não apresenta a eficiência do plantio direto, mas permite uma redução expressiva, da ordem de 55%, em relação aos sistemas mais convencionais.

MUZILI (1994) destaca, em trabalhos realizados no Estado do Paraná, que o plantio direto mostrou perdas 10 vezes menores do que sistemas com grade pesada, e aproximadamente 4 vezes menores do que sistemas que utilizam arados.

Lombardi Neto, 1990, citado por CASTRO & DE MARIA (1993), organizou um quadro de perdas de solo e água em cultura de milho sob diferentes sistemas de preparo, em que é possível observar que em determinadas condições de solo e declive os sistemas tradicionais causam perdas 6,5 vezes maiores que os do plantio direto.

## 2-4 Alguns resultados da pesquisa relacionados com a microbacia do Córrego São Joaquim – Pirassununga - SP

A microbacia hidrográfica do Córrego São Joaquim está localizada na região Nordeste do Estado de São Paulo, mais precisamente no município de Pirassununga, que fica a uma distância aproximada de 210 km da Capital do Estado, quando a via de acesso utilizada é a Rodovia Anhanguera.

TOLEDO (1997) relata que geomorfologicamente esta bacia está inserida na Depressão Periférica, sendo que seu ponto de descarga está localizado no córrego do Descaroador, situado ao lado direito da rodovia Anhanguera, no sentido interior-capital.

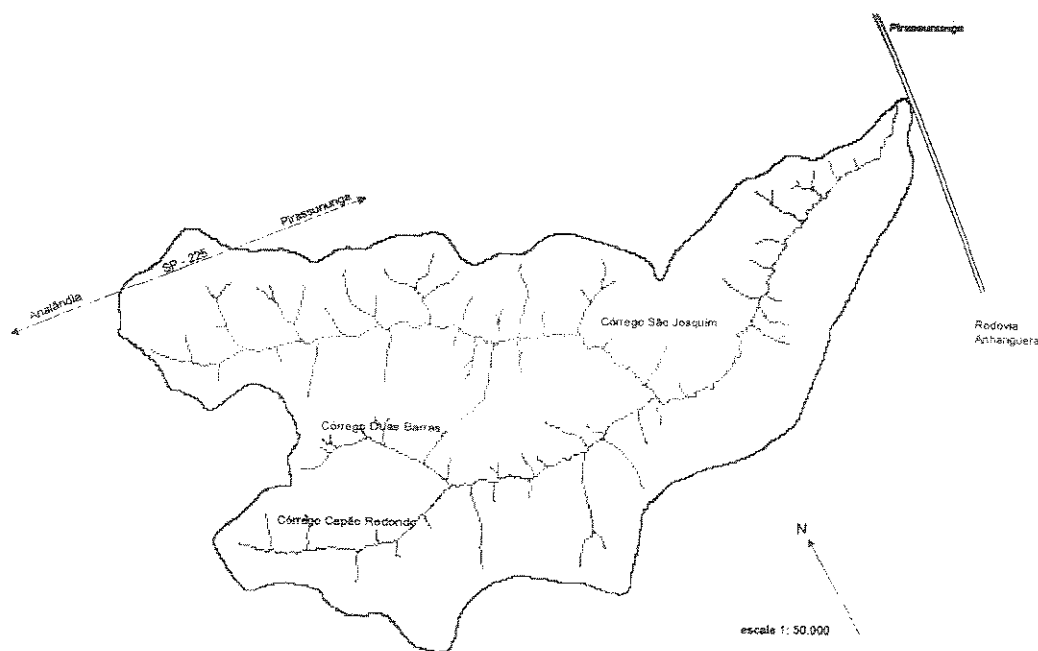


Figura 1 - Microbacia do Córrego São Joaquim, Pirassununga, SP

Fonte: TOLEDO (1997)



A figura 1 mostra o eixo principal de deflúvio orientado no sentido oeste a leste, e compreendendo cerca de 10 km entre seu ponto de descarga, na direção oeste e os divisores de água de seus dois afluentes: córregos do Capão Redondo e Duas Barras; ainda segundo TOLEDO (1997), do ponto de vista hidrológico a microbacia está sucessivamente inserida nas bacias dos rios Mogi-Guaçu e Grande, as quais, por sua vez, são componentes da macrobacia do rio Paraná.

STEIN et al. (1992) relatam que a estratigrafia e litótipos da bacia estão assim estruturadas: Grupo Passa Dois, Formação Corumbataí; Grupo São Bento, formação Piramboia; Intrusivas básicas correspondem ao sills e diques de diabásio, que se associam ao magmatismo da formação Serra Geral; Formação Pirassununga; em Coberturas Indiferenciadas; Mantos Coluviais espessos; Sedimentos da formação Pirassununga, Sedimentos aluvionares pré-atuais e Sedimentos aluvionares. Ainda segundo esses autores, a microbacia do Córrego São Joaquim é englobada por sistema de morrotes alongados e espigões nas porções de cabeceira, sendo que para jusante o relevo se torna colinoso, mais afeito ao sistema de colinas amplas que domina todo o leste da área. Quanto à característica de suas formas, os autores relatam que a bacia pode ser compartimentada em três setores mais abrangentes: o divisor norte, no alto e médio curso do Córrego Salto Grande; a região da mesopotâmia entre os córregos Salto Grande e Duas Barras, em sua porção alta; o divisor sul, região da mesopotâmia na porção baixa e o divisor norte, a partir do baixo curso do Salto Grande, constituindo o terceiro setor.

Quanto aos processos erosivos, de acordo com STEIN et al. (1992), constata-se, a priori, seu forte condicionamento à ocupação inadequada das terras e às rupturas de declives positivas; observações de campo indicam incidência de processo erosivos com cicatrizes já controladas e estabilizadas. A erosão laminar e o ravinamento são

amplamente predominantes, distribuindo-se por toda a área, sendo a ocupação o maior desencadeador dos processos.

TOLEDO (1997) observa que quase metade da área da Microbacia (cerca de 45%) apresenta declives acima de 17%, fator que corrobora a preocupação demonstrada por STEIN et al. (1992). TOLEDO (1997) apresenta uma tabela que mostra a distribuição atual das explorações agropecuárias da microbacia do córrego São Joaquim por classe de capacidade de uso. Observa-se que, de maneira geral, há ocorrência de todas as classes para as diversas atividades, quando seria de se esperar uma certa concentração de frequência de áreas com culturas nas classes II, III e IV, enquanto que áreas com pastagens, reflorestamento e matas naturais ocupariam predominantemente as classes V, VI e VII (Tabela 1).

Tabela 1 – Área das atividades exploradas, por classe de capacidade de uso, microbacia do córrego São Joaquim - Pirassununga, SP, 1994

Capacidade de uso (1)	Cítricos	Cana-de-açúcar	Culturas anuais	Pastagens	Reflorestamento	Matas naturais	Total
II f	147.60	87.43	154.08	13.68	5.40	4.68	412.67
II e	-	2.88	-	-	-	-	2.88
III e	44.64	49.32	32.76	24.84	-	10.08	161.64
III f	166.32	173.52	56.16	27.36	15.48	4.68	443.52
III a	-	-	-	6.12	-	3.60	9.72
III pe	4.32	1.80	3.60	-	1.08	0.72	11.52
IV e	94.32	233.64	51.80	190.08	11.52	57.60	678.96
IV f	47.88	-	-	27.72	11.52	2.16	89.28
V a	-	7.20	1.08	2.88	-	11.16	22.32
VI p	13.32	66.96	3.96	62.28	-	105.48	252.00
VI e	123.46	198.00	59.40	248.04	2.16	231.12	862.20
VII e	19.08	14.04	17.28	18.36	-	28.80	97.56
Total	660.96	834.79	420.12	621.36	47.16	460.08	3044.47

(1) Restrição: erosão (e), fertilidade (f), drenagem (a), profundidade (p) e pedregosidade (pe).

(2) Elaborado com dados da Seção de Fotointerpretação do IAC/SAA

Fonte: TOLEDO (1997)

Para PEDRO JÚNIOR et al. (1992), as características climáticas da bacia do córrego São Joaquim, segundo Koppen, são as do tipo Cwa (clima subtropical de altitude), com inverno seco e chuvas no verão; a média anual de precipitação num espaço amostral de 42 anos foi de 1385,8 mm.

Esses autores revelam ainda que os valores extremos de chuva (total mensal) ocorridos na microbacia, no período considerado, variam de 0, ausência de chuva, normal do inverno, a 500 mm, em dezembro de 1986. Os períodos com ausência de chuva são de importância para os cultivos anuais e perenes da região e os valores mais elevados de precipitação pluvial influenciam os problemas relacionados com a conservação do solo.

Com base no Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo, publicado por CAMARGO et al. (1974), e considerado as características termopluviométricas e o balanço hídrico resultante, PEDRO JÚNIOR et al. (1992) sugeriram que a região de Pirassununga, onde se localiza a bacia hidrográfica do córrego São Joaquim, apresenta condições favoráveis para as seguintes culturas: cana-de-açúcar, banana, abacaxi, algodão, soja, girassol, amendoim, abacate, arroz-de-sequeiro, café, chá, citros, fruticultura subtropical, mamão, mamona, mandioca, manga, milho, seringueira e sorgo.

A cultura da batata e a do feijão só teriam condições de bom desenvolvimento se realizadas no inverno, com irrigação suplementar. Para as culturas anuais, como arroz de sequeiro, milho e soja, as melhores épocas de plantio em função do atendimento hídrico foram definidas como se segue: milho: 21 de setembro a 11 de outubro; arroz-de-sequeiro: 11 de outubro a 1º de novembro; soja: 11 de outubro a 1º de novembro. Os plantios realizados nessas épocas contam com 70% de

probabilidade de atendimento hídrico durante as fases fenológicas críticas de tais culturas (FIGURA 2).

Com relação à ocorrência de temperaturas mínimas, letais aos tecidos das plantas, a região apresenta 20% de probabilidade em função das características topográficas locais, especialmente baixadas e relevos de configuração côncava.

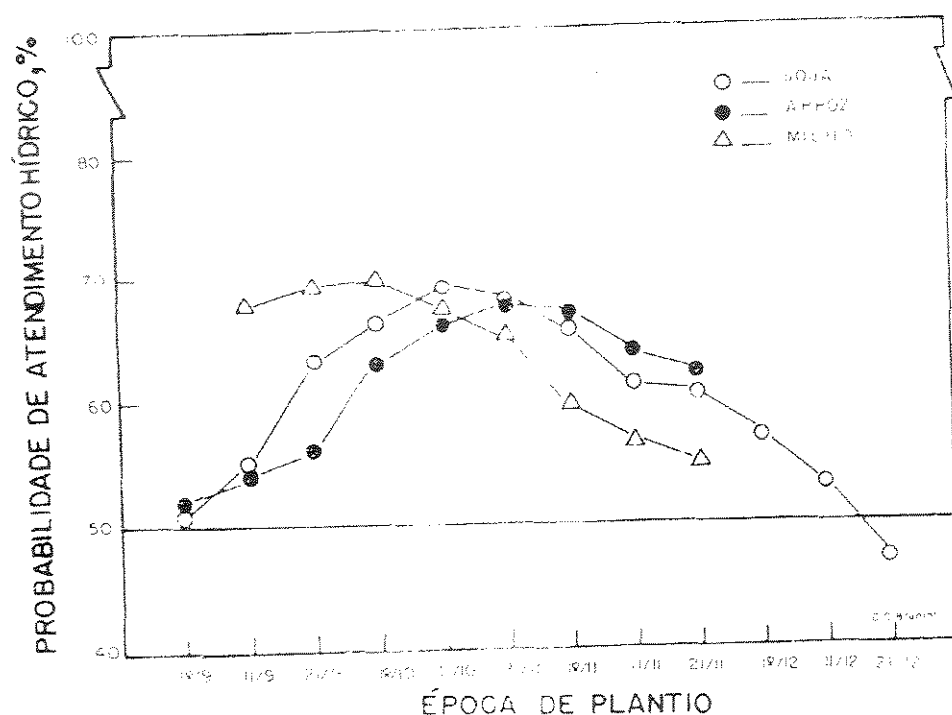


Figura 2 - Probabilidade de atendimento hídrico para a região da microbacia do córrego São Joaquim para as culturas de soja, arroz e milho em diferentes épocas de plantio. Fonte: PEDRO JÚNIOR et al. (1992).

HECKER FILHO & OLIVEIRA (1992) efetuaram o levantamento pedológico detalhado da bacia do córrego São Joaquim, cuja legenda consta do Quadro 3.

Quadro 3 – Classes de solos da microbacia do Córrego do São Joaquim.

Símbolo no mapa	Unidade	
	Nome	Classificação
LRe.....	Ribeirão Preto	Latossolo Roxo Eutrófico. A moderado. textura argilosa ou muito argilosa.
LE1.....	Hortolândia	Latossolo Vermelho-Escuro álico ou distrófico. A moderado. textura média.
LE 2.....	Bonfim	Latossolo Vermelho-Escuro álico ou distrófico. A moderado. textura argilosa.
LV1.....	Três Barras	Latossolo Vermelho-Amarelo álico ou distrófico. A proeminente. textura média.
LV2.....	Laranja Azeda	Latossolo Vermelho-Amarelo álico ou distrófico. A moderado. textura argilosa.
LV3.....	Mato Dentro	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. álico. A moderado. textura arenosa/média. imperfeitamente drenado.
PV1.....	Usina	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. álico. A moderado. textura arenosa/média. imperfeitamente drenado.
PV1d.....	Usina	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. distrófico ou álico. A moderado. textura argilosa/muito argilosa.
PV2.....	Olaria	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. distrófico ou álico. A moderado. textura argilosa/muito argilosa.
PV3.....	Alva	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. abrupto. álico. A moderado espesso. . textura argilosa/média.
PV4.....	Santa Cruz	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. abrupto. distrófico ou álico. A moderado. textura média/muito argilosa.

PV4s.....	Santa Cruz	Podzólico Vermelho-Amarelo. argila de atividade baixa. distrófico ou álico. A moderado. textura média/muito argilosa. com seixos.
PVL.....	Variante	Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico. álico ou distrófico. A moderado. abrupto. textura argilosa.
PE.....	-	Podzólico Vermelho-Escuro. eutrófico. A proeminente ou moderado. abrupto. textura arenosa/média.
TE.....	Estruturada	Terra Roxa Estruturada. eutrófica. A moderada. textura argilosa ou muito argilosa.
AQ.....	Analândia	Areias Quartzosas. álicas. profundas. A moderado.
Li1.....	-	Solos Litólicos. eutróficos. A moderado. textura argilosa. substrato diabásio.
Li2.....	-	Solos Litólicos. eutróficos ou distróficos. A moderado. textura argilosa. substrato folhelho ou argilito da formação Corumbatai.
Li3.....	-	Solos Litólicos. distróficos. A moderado. textura média. substrato arenitos finos da formação Pirambóia.
CB.....	Sete Lagoas	Cambissolo. Álico. A moderado ou proeminente. textura indiscriminada. imperfeitamente drenado. substrato sedimentos do quaternário.
HI.....	-	Glei Pouco Húmico. indiscriminado.

Fonte: HECKER FILHO & OLIVEIRA (1992).

No quadro 4 pode se observar a extensão e distribuição porcentual das unidades mapeadas.

Quadro 4 - Extensão e distribuição porcentual das unidades de mapeamento na microbacia do São Joaquim

Símbolo da unidade	Área	
	ha	%
Latossolo Roxo		
LRe.....	49.92	1.56
Latossolo Vermelho-Escuro		
LE1.....	159.68	4.99
LE2.....	64.96	2.03
Latossolo Vermelho-Amarelo		
LV1.....	573.44	17.92
LV2.....	234.24	7.32
LV3.....	19.84	0.62
Podzólico Vermelho-Amarelo		
PV1.....	194.56	6.08
PV1d.....	9.92	0.31
PV2.....	59.84	1.87
PV3.....	518.40	16.20
PV4.....	294.08	9.19
PV4s.....	194.56	6.08
PVL.....	99.84	3.12
Podzólico Vermelho-Escuro		
PE.....	35.20	1.10
Terra Roxa Estruturada		
TEe.....	269.12	8.41
Areia Quartzosa		
AQ.....	114.56	3.58
Solo Litólico		
LI1.....	94.72	2.96
LI2.....	49.92	1.56
LI3.....	139.52	4.36
Cambissolo		
CB.....	19.84	0.62
Solo Hidromórfico		
HI.....	3.84	0.12
TOTAL	3.200,00	100,00

Fonte: HECKER FILHO & OLIVEIRA, 1992.

TOLEDO (1997) apresenta na tabela 2 os valores do fator K (erodibilidade) para os solos presente na microbacia.

Tabela 2 - Área, erodibilidade e tolerância de perdas para as unidades de solo da microbacia do Córrego São Joaquim, Pirassununga, SP.

Solo	Área	K	Tolerância
	Ha	t.h/MJ.mm	t/ha
Latossolo Roxo, Ribeirão Preto	52.56	0.0098	13.0
Latossolo Vermelho Escuro, Hortolândia	143.84	0.0175	13.0
Latossolo Vermelho Escuro, Bonfim	63.16	0.0167	12.3
Latossolo Vermelho Amarelo, Três Barras	521.10	0.0132	14.2
Latossolo Vermelho Amarelo, Laranja Azeda	249.57	0.0132	14.2
Latossolo Vermelho Amarelo, Mato Dentro	126.30	0.0246	12.6
Podzólico Vermelho Amarelo, Usina	483.56	0.0462	9.6
Podzólico Vermelho Amarelo, Usina 'D'	88.49	0.0462	9.6
Podzólico Vermelho Amarelo, Olaria	241.00	0.0280	9.9
Podzólico Vermelho Amarelo, Alva	123.27	0.0462	9.6
Podzólico Vermelho Amarelo, Santa Cruz	178.59	0.0280	9.9
Podzólico Vermelho Amarelo, Santa Cruz "S"	15.77	0.0280	9.9
Podzólico Vermelho Amarelo, Variante	64.17	0.0266	11.0
Podzólico Vermelho Escuro	29.97	0.0357	7.7
Terra Roxa Estruturada	267.48	0.0181	13.4
Areia Quartzosa, Analândia	91.08	0.0296	8.2
Litólico Substrato Diabásico (Li1)	98.28	0.0442	6.7
Litólico Substrato Folhelho (Li2)	56.16	0.0302	7.4
Litólico Substrato Arenito (Li3)	136.72	0.0362	6.4
Cambissolo Álico, Sete Lagoas (CB)	18.72	0.0350	6.4
Glei Pouco Húmico (Hi)	4.68	-	-

Fonte: Dados da Seção de Fotointerpretação IAC/SAA, citados por TOLEDO (1997).

DONZELI et al. (1992) apresentaram estudos relacionados com potencial de erosão, conforme figura 3, onde se pode avaliar a distribuição espacial do potencial natural de erosão (PNE), distribuído em três categorias: baixo, médio e alto.



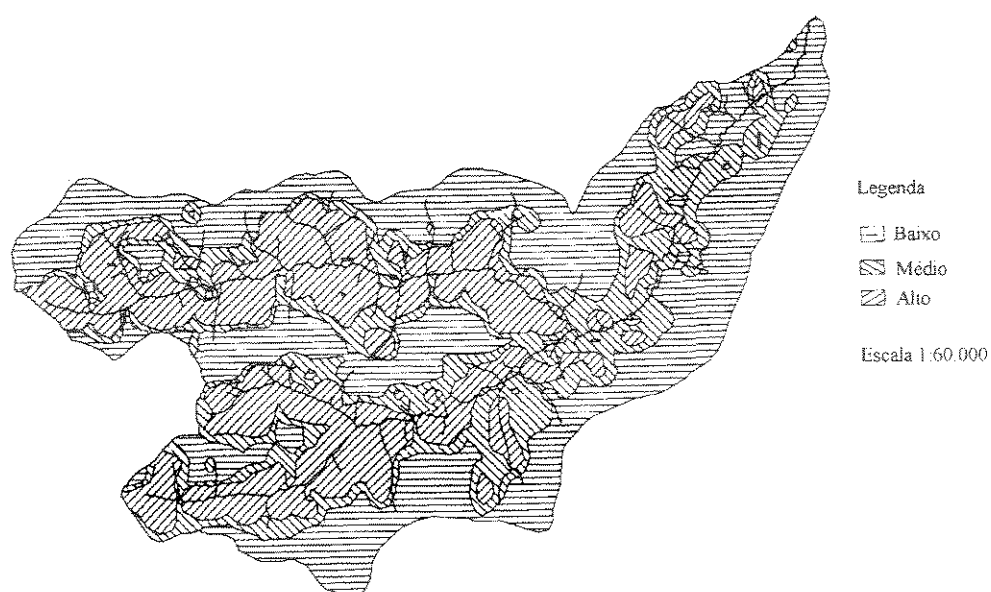


Figura 3 - Carta do potencial natural de erosão na microbacia do córrego São Joaquim

Fonte: DONZELI et al., (1992).

Com relação à expectativa de erosão, DONZELI et al. (1992) apresentaram estudos mostrando uma carta temática (figura 4), em que os dados foram agrupados em quatro categorias, a saber: nula, baixa, média e alta; 25% da área foi classificada como expectativa ausente, significando que o uso atual da época não estava provocando perdas acima do limite tolerável; as demais classes representam 75% da área dos limites de tolerância.



Figura 4 - Carta de expectativa de erosão na microbacia do córrego São Joaquim

Fonte: DONZELI et al., (1992)

Para avaliar a capacidade de uso das terras, DONZELI et al. (1992) apresentam a carta de capacidade de uso que pode ser visualizada na figura 5.



Figura 5 - Carta de capacidade de uso das terras

Fonte: DONZELLI et al., (1992)

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A estratégia utilizada para a estruturação das diferentes etapas componentes deste trabalho foi estabelecer quatro fases operacionais, sendo que na primeira empreenderam-se estudos teóricos para construção da matriz de interação dos fatores e estabelecimento de classes de criticidade, no sentido de se obterem ferramentas para avaliar casos sobre a expectativa do grau de fragilidade que os sistemas de preparo expõem as áreas agrícolas; a segunda fase é caracterizada pela aplicação da matriz e inicia por estudos sobre os dados gerados pela pesquisa na área da microbacia hidrográfica do Córrego São Joaquim em Pirassununga - SP; a terceira fase caracterizou-se pelos trabalhos empreendidos na obtenção dos planos de informação em sistemas de informações geográficas – SIG e a quarta fase foi caracterizada pelos trabalhos de obtenção das cartas de fragilidade e análise final dos resultados. A descrição de cada fase é a seguir detalhada.

#### **3.1 - Fase 1 - Estudo e compreensão da interação dos fatores: tipo de solos, sistemas operacionais de preparo e declividade**

Nesta fase empreenderam-se esforços para estruturar a interação ou as correlações existentes entre fatores tipos de solo, sistemas operacionais de preparo e declividade, no sentido de estudar as glebas de terra quanto aos efeitos como a fragilidade ao impacto ambiental, causados pela degradação do solo à fragilidade das glebas quanto à segurança do operador de máquinas e à fragilidade das glebas quanto à qualidade operacional. Para tanto, optou-se pela utilização de uma análise matricial

de dados, cuja ferramenta escolhida foi a organização dos fatores em uma matriz tridimensional denominada por DELLARETI FILHO (1996), de matriz C. Na figura 6 é possível analisar os cortes que mostram quadros de interações entre dois fatores para um terceiro nível específico. A figura 7 mostra uma representação bidimensional da matriz "C", que é obtida acrescentando-se uma coluna adicional a uma matriz em "L", em que cada interseção representa a relação entre os fatores  $a_i$ ,  $b_j$  e  $c_k$ ; sendo assim, a visão tridimensional é perdida, mas a análise fica facilitada.

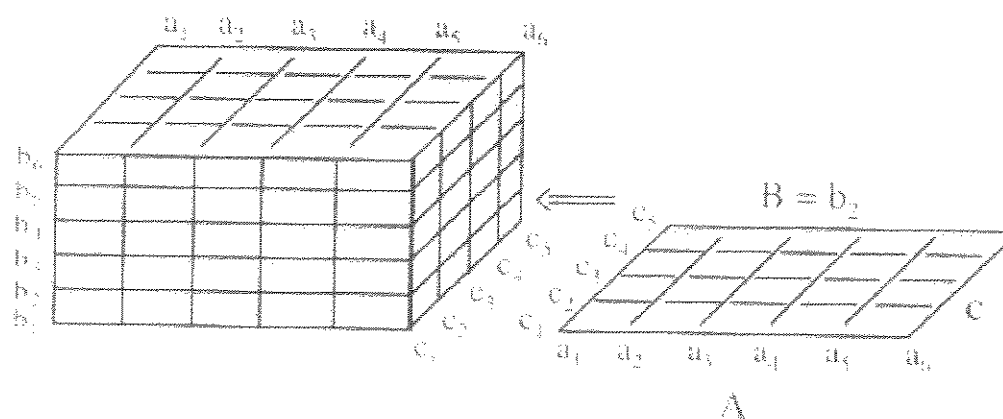


Figura 6 – Matriz em “C”

Fonte: DELLARETI FILHO (1996) - adaptado

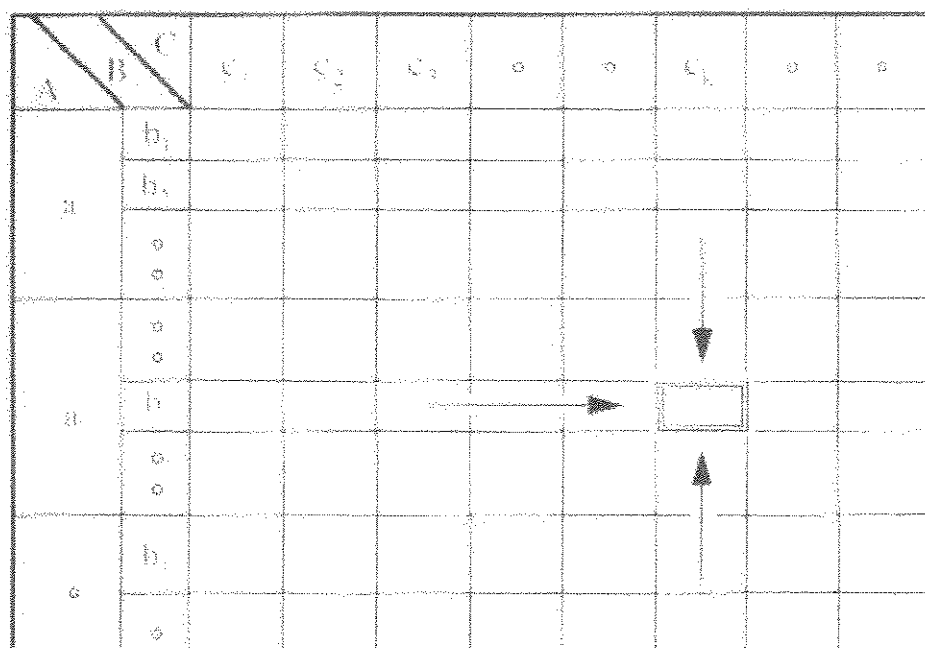


Figura 7 - Representação bidimensional da Matriz "C"

Fonte: DELLARETTI FILHO (1996) - adaptado

Para quantificar o grau de relacionamento entre os fatores, estabeleceram-se pesos numéricos para cada um dos fatores, e utilizando da técnica de somatória simples dos valores, obteve-se um produto numérico por interseção, cujos valores são avaliados de acordo com uma proposta de classes para intensidade da fragilidade de terras. Os valores adotados para cada fator foram estabelecidos a partir da análise dos resultados de pesquisas básicas desenvolvidas no Instituto Agrônomo de Campinas – SP.

Para o fator tipo de solo, inicialmente empreendeu-se uma pesquisa bibliográfica para análise de resultados de pesquisa apresentados por HECKER FILHO & OLIVEIRA (1992), pelo Boletim Brasil 12, 1960, do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, por LEPSCH (1994), PRADO (1997), ROSS (1996), ROSS (1997) e pelos dados propostos por LOMBARDI NETO et al., (1989) e LOMBARDI NETO & BERTONI (1994), LOMBARDI NETO & BERTONI (1975<sup>a</sup>), LOMBARDI NETO & BERTONI (1975<sup>b</sup>) e BERTONI et al., (1992).

Após estudo e análise destas publicações, optou-se por adotar o agrupamento sugerido por LOMBARDI NETO et al. (1989), conforme exposto no Quadro 5.

De acordo com o grau de resistência à erosão, pesos numéricos foram atribuídos em ordem crescente, conforme mostra o quadro 6.

Quadro 5 - Agrupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão

Grupo	Grupo de resistência à erosão	Principais características				Exemplos <sup>(3)</sup>	Índice
		Profundidade <sup>(1)</sup>	Permeabilidade <sup>(1)</sup>	Textura <sup>(1)</sup>	Razão Textural <sup>(2)</sup>		
A	alto	muito profundo (> 2,0m) ou profundo (1,0 a 2,0m)	rápida/rápida moderada/rápida	média/média m.argilosa:m.argilosa argilosa/argilosa	< 1,2	LR, LE, LV, LVr, LVe, LH, LEa, e LVa	1,25
B	moderado	profundo (1,0 a 2,0m)	rápida/rápida rápida/moderada moderada/moderada	Arenosa/arenosa Arenosa:média Arenosa/argilosa Média/argilosa Argilosa m.argilosa	1,2 e 1,5	LJ, LVP, PV, PVL, Pln, TE, PVLs, R, RPV, RLV, Lea (5) e LVa (5)	1,10
C	baixo	profundo (1,0 a 2,0m) moderadamente profundo (0,5 a 1,0m)	lenta/rápida lenta/moderada rápida/moderada	Arenosa:média <sup>(4)</sup> Média/argilosa <sup>(4)</sup> Arenosa/argilosa Arenosa m.argilosa	< 1,5	Pml, PVp, PVLs, Pc e M	0,90
D	muito baixo	moderadamente profundo (0,5 a 1,0m) ou raso (0,25 a 0,50m)	rápida, moderada ou lenta sobre lenta	Muito variável	muito variável	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac e PVp (rasos)	0,75

<sup>(1)</sup> Segundo Manual para levantamento do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH et al., 1983).

<sup>(2)</sup> Média da porcentagem de argila do horizonte B (excluindo B3) sobre média da porcentagem de argila de todo horizonte<sup>a</sup>

<sup>(3)</sup> Abreviações segundo BRASIL (1960).

<sup>(4)</sup> Somente com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B.

<sup>(5)</sup> Somente aqueles com horizonte A arenoso.

Fonte: LOMBARDI NETO et al. (1989)

Quadro 6 - Atribuição de valores (pesos) para interação matricial fator grupo de solos em função da resistência à erosão.

Grupo	Valor (peso)	Abreviações dos exemplos de tipo de solo <sup>(1)</sup>	Resistência à erosão
A	1	LR, LE, LV, LVr, LVe, LH, LEa, LVa	alta
B	2	LJ, LVP, PV, PVL, PLn, TE, PVLs, R, RPV, RLV, LEa <sup>(2)</sup> , LVa <sup>(2)</sup>	moderada
C	3	Pml, PVp, PVLs, PC e M	baixa
D	4	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac e PVp (rasos)	muito baixa

(1) Abreviações segundo BRASIL (1960)

(2) Somente aqueles com horizonte A arenoso

Fonte: LOMBARDI NETTO et al. (1989), adaptado

Para o fator sistemas operacionais de preparo do solo, empreendeu-se uma pesquisa bibliográfica para análise de resultados de pesquisa apresentados por CASTRO & DE MARIA (1993), CASTRO (1989), CASTRO (1985), VIEIRA et al., (1989), LOMBARDI NETO (1992), BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), LOMBARDI NETO et al., (1989), PRADO (1995), PRADO (1991) e LANDON (1984). Após estudo e análise destas publicações, optou-se por adotar que os sistemas operacionais de preparo do solo seriam distribuídos por quatro grandes grupos denominados: plantio direto, escarificação, aração (arado de discos e arado de aiveca), gradagem pesada/rotavação.

As letras utilizadas para identificação dos sistemas operacionais na legenda da matriz podem ser reconhecidas analisando o quadro 7.

Quadro 7 - Identificação dos grupos de sistemas operacionais

Grupo de sistemas operacionais	Denominação	
PD	Plantio direto	- na palha - no mato - com preparo mínimo
E	Escarificação	- arado escarificado trabalhando até 30 cm de profundidade
AR	aração	- arado de disco - arado de aiveca
GE	- gradagem - rotavação	- grade aradora média - grade aradora pesada - enxada rotativa

A valoração (atribuição de pesos numéricos) dos grupos de sistemas operacionais deu-se principalmente em função da proporção de perdas de solo apresentadas nos diferentes trabalhos de pesquisa, sendo admitido que o plantio direto, como sistema que menos fragiliza a gleba, recebeu um peso com valor



numérico de 1 (um) e os demais sistemas foram recebendo pesos proporcionais à capacidade de fragilizar o solo e expor a superfície ao escoamento superficial, perdendo solo e água; a escarificação recebeu peso 2 (dois), os sistemas de aração receberam peso 5 (cinco) e os sistemas de gradagem e rotação receberam peso 7 (sete), ou seja, esse sistema fragiliza a gleba numa intensidade sete vezes mais que o plantio direto. No quadro 8 pode se analisar facilmente o esquema de valoração numérica para os sistemas operacionais de preparo do solo.

Quadro 8 - Atribuição de valores (pesos) para interação matricial do fator sistemas operacionais de preparo do solo

Grupo	Fator	Valor (peso)	Exposição a Fragilidade
PD	plantio direto	1	baixa
E	Escarificação	2	média
AR	aração	5	alta
GE	Gradagem/rotação	7	severa

Para o fator declividade, empreendeu-se uma pesquisa bibliográfica para análise de resultados de trabalhos que envolvem estudos quanto à influência do relevo nas questões relacionadas com a estabilidade lateral de tratores, principalmente em função da segurança do tratorista e a qualidade operacional. Os trabalhos utilizados foram: BRASIL (1979), MIALHE (1980); MIALHE (1996); BARGER et al., (1963); HENKLAIN & CASÃO JUNIOR (1994); MUZILLI (1994); BERTONI et al., (1972); MAZUCHOWSKI (1984); CROLLA & HALLES (1979), DAVIS & REHKUGLER (1974<sup>a</sup>); DAVIS & REHKUGLER (1974<sup>b</sup>); MITCHELL et al., (1972); KIM & REHKLUGER (1987); REHKLUGER et al., (1976), CHRISHOLM (1979); GRANDI (1981). Após estudo e análise das

publicações, optou-se por estabelecer para essa interação matricial que a declividade máxima fosse de 16%, em função de seguramente se estar no limite para o conjunto trator-implemento com uma estabilidade dinâmica segura; para operar em nível, optou-se também pelo uso, na matriz, de valores de declives com intervalo de 2 em 2%, até o limite de 16%.

Partindo da premissa de que toda a forma de mecanizar o preparo do solo impõe à gleba uma fragilidade e, conseqüentemente, impactando-a, optou-se por estabelecer classes de fragilidade a partir da metade do valor máximo obtido na análise matricial; assim, estabeleceu-se uma proposta para enquadrar os resultados em classes denominadas de fragilidade baixa, média, alta e severa, conforme quadro 9.

Quadro 9 – Interpretação sumária para classes de fragilidade

Classe de Fragilidade	Considerações Técnicas
baixa	Compreende áreas em que a interação entre o tipo de solo e o relevo mostra que o fator preparo de solo é menos interferente pois as condições de operacionalidade são favorecidas
média	Compreende áreas em que a interação solo/relevo mostra algumas restrições ao fator preparo do solo que interfere na gleba facilitando a erosão, principalmente em períodos chuvosos, aumentando o risco de acidentes
alta	Compreende áreas em que a interação solo/relevo/preparo do solo expõe as glebas a uma fragilidade considerável e a um risco moderado de acidente
severa	Compreende áreas que a interação solo/relevo/preparo do solo fragiliza fortemente a gleba expondo-a processos degradativos bem com a operacionalidade de máquinas é de alto risco de acidentes

### **3.2 - Fase 2 - Estudo dos fatores solo e declividade na microbacia de São Joaquim - Pirassununga-SP**

Nesta fase empreenderam-se esforços em organizar os dados disponibilizados por HECKER FILHO & OLIVEIRA (1992), no sentido de se enquadrarem na proposta de agrupamento as unidades de solos ocorrentes na Bacia; para tanto, estruturou-se o quadro 10, que mostra a distribuição das unidades de solos de acordo com a proposta de agrupamento realizada por LOMBARDI NETO et al. (1989).

Para a obtenção da documentação cartográfica utilizou-se da Carta de Solos da Microbacia do Córrego São Joaquim, escala 1:20.000, do levantamento de solos executado pela Seção de Pedologia do IAC (HECKER FILHO & OLIVEIRA, 1990). Com relação ao relevo utilizaram-se cartas topográficas na escala 1:50.000, do IBGE, referentes às folhas Corumbataí e Leme e carta topográfica na escala 1:20.000 - IAC - Seção de Fotointerpretação, compilada de cartas topográficas 1:10.000 do IGC-SP (DONZELI et al., 1992).

Quadro 10 - Agrupamentos das unidades de solo ocorrentes na Microbacia do  
Córrego São Joaquim - Pirassununga-SP

Grupo de solo	Peso	Símbolo no mapa	Classificação
A	1	LRe	- Latossolo Roxo eutrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa
		LE <sub>1</sub>	- Latossolo Vermelho-Escuro álico ou distrófico, A moderado, textura média
		LE <sub>2</sub>	- Latossolo Vermelho-Escuro, álico ou distrófico, A moderado, textura argilosa
		LV <sub>1</sub>	- Latossolo Vermelho-Amarelo, álico ou distrófico, A proeminente, textura média
		LV <sub>2</sub>	- Latossolo Vermelho-Amarelo, álico ou distrófico, A moderado, textura média
		LV <sub>3</sub>	- Latossolo Vermelho-Amarelo, álico ou distrófico, A moderado, textura argilosa
B	2	PV <sub>1</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa, álico, A moderado, textura arenosa/média
		PV <sub>1d</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa, álico, A moderado, textura arenosa/média, imperfeitamente drenado
		PV <sub>2</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa, distrófico ou álico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa
		PV <sub>3</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa, abrupto, álico, A moderado, espesso, textura arenosa/média
		PV <sub>4</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, latossólico álico ou distrófico, A moderado, textura argilosa
C	3	PV <sub>4</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa, abrupto, distrófico ou álico, A moderado, textura média/muito argilosa
		PV <sub>4s</sub>	- Podzólico Vermelho-Amarelo, argila de atividade baixa, abrupto, distrófico ou álico, A moderado, textura média, muito argilosa, com seixos
		P <sub>e</sub>	- Podzólico Vermelho-Escuro, eutrófico, A proeminente ou moderado, abrupto, textura arenosa
		T <sub>e</sub>	- Terra Roxa Estruturada, eutrófica, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa
		A <sub>u</sub>	- Areias Quartzosas, álica profunda, A moderado
D	4	LI <sub>1</sub>	- Solos Litóticos eutróficos, A moderado, textura argilosa, substrato diabásico
		LI <sub>2</sub>	- Solos Litóticos, eutróficos ou distróficos, A moderado, textura argilosa, substrato folhelho ou argilito da formação Corumbataí
		LI <sub>3</sub>	- Solos Litóticos, distróficos, A moderado, textura média, substrato arenitos finos da formação Pirambóia
		CB	- Cambissolo, álico, A moderado ou proeminente, textura indiscriminada, imperfeitamente drenado, substrato sedimentos do quaternário
		HI <sub>1</sub>	- Gleis pouco húmicos, indiscriminados

Fonte: HECKER FILHO & OLIVEIRA (1992) - adaptado  
LOMBARDI NETO et al. (1989) - adaptado

### 3.3 – Fase 3 - Obtenção dos planos de informação de solo e declividade

Para obtenção das cartas temáticas de fragilidade à mecanização utilizaram-se as cartas de solo e isolinhas altimétricas, já disponíveis em formato digital (DONZELI et al., 1992), fornecidas pelo Centro de Solos e Recursos Agroambientais – IAC. Para a obtenção da carta de declividade da área, utilizou-se o plano de informação contendo as isolinhas altimétricas com espaçamento vertical de 20 metros, que, com o auxílio dos técnicos do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC, foram importadas para o programa SURFER, onde, então, procedeu-se à interpolação das cotas altimétricas pelo método da "krigagem". Em seguida esses técnicos produziram um Modelo Digital de Elevação (MDE), figura 11, que foi exportado para o programa IDRISI, gerando posteriormente a carta de classes de declive (em porcentagem), mediante o comando SURFACE. O plano de declividade foi, então, reclassificado, considerando-se as seguintes faixas: 0-2%, 2-4%, 4-6%, 6-8%, 8-10%, 10-12%, 12-14%, 14-16%, >16%.

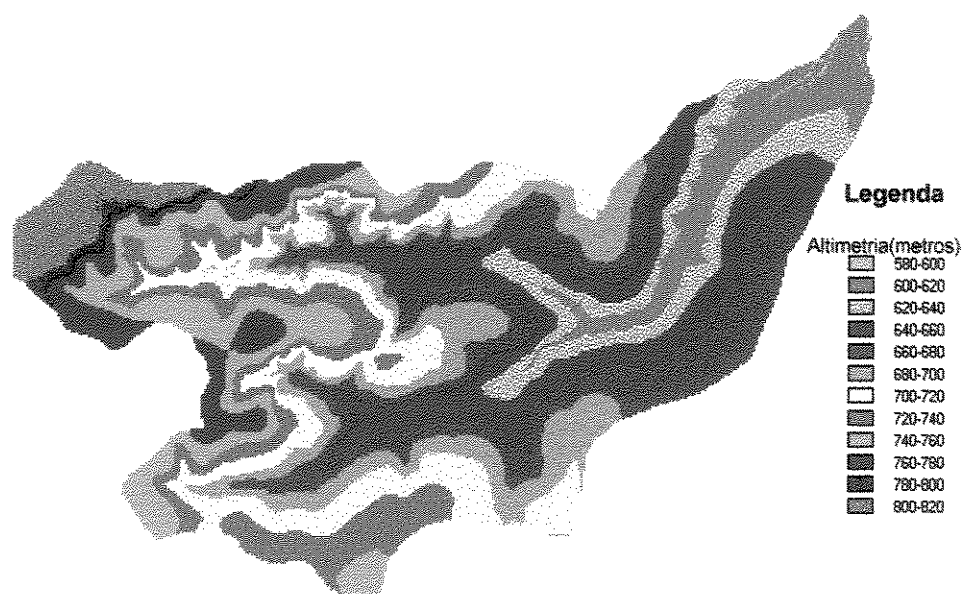


Figura 11 - Modelo Digital da Elevação da Bacia  
 Fonte: Centro de Solos e Recursos Agroambientais – IAC 1998

A carta de solos digitalizada no sistema SGI/INPE foi exportada para o formato DXF, e posteriormente importada para o programa IDRISI, por intermédio da função (IMPORT/DXFIDISI), gerando um plano de informação no formato vetorial, que, em seguida, foi convertido para o formato imagem "raster", contendo 21 unidades de mapeamento, em cinco grandes grupos, de acordo com LOMBARDI NETO et al., (1989), assim denominados:

- Solos com B-Latossólico
- Solos com B-Textural
- Solos pouco desenvolvidos
- Solos Hidromórficos
- Areias Quartzosas

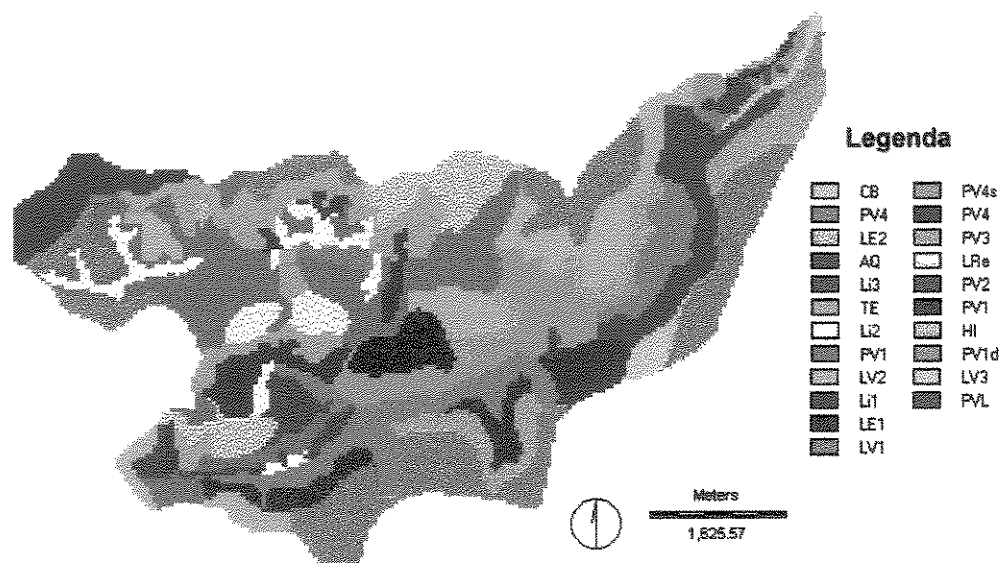


Figura 12 - Carta de Solos da Microbacia do Córrego São Joaquim  
Fonte: Centro de Solos e Recursos Agroambientais – IAC 1998

### 3.4 - Fase 4 - Obtenção das cartas de fragilidade à mecanização

De acordo com a matriz geradora, onde a expectativa da fragilidade à mecanização é função do grupo de solo e da classe de declive, realizou-se uma série de operações com os planos de informação de solo e declive no programa IDRISI, utilizando-se o comando reclass. Por intermédio desse comando foram atribuídos pesos distintos para cada classe de declive e grupos de solos, conforme apresentado nos quadros 11 e 12.

Quadro 11- Classes de declive e respectivos pesos

Classe de declividade (%)	Peso
0-2	2
2-4	4
4-6	6
6-8	8
8-10	10
10-12	12
12-14	14
14-16	16
>16	30 <sup>(1)</sup>

(1) O peso 30 atribuído às áreas com declive superior a 16%, delimita teoricamente as áreas impróprias à qualquer tipo de mecanização

Quadro 12 - Grupos de solos e respectivos pesos

Grupos de Solo	Peso
A	1
B <sup>(2)</sup>	2
C	3
D	4

(2) Ao solo Arcia Quartzosa, atribuiu-se, especificamente para este tipo de análise, o mesmo peso atribuído aos solos com B-Textural

A partir dos planos de declividade e solo, reclassificados de acordo com os respectivos pesos, procedeu-se à sobreposição desses planos para cada sistema de preparo primário do solo. Essa análise foi realizada no programa IDRISI, pela operação "Image Calculator", de acordo com a equação:

$$(Imagem1 + Imagem2) + X$$

onde:

Imagem1 = plano de declividade

Imagem2 = plano de solo

X = valor numérico variando com valores de 1, 2, 5 e 7, respectivamente para os sistemas: Plantio Direto, Escarificador, Aração, Grade e Enxada Rotativa.

Para cada plano de informação gerado, procedeu-se um agrupamento dos valores de cada pixel, de acordo com as seguintes classes de fragilidade no quadro 13

Quadro 13 - Classes de fragilidade à mecanização

Classe de fragilidade	Valores
Baixa	<14
Média	14-19
Alta	20-23
Severa	>23

Em seguida realizou-se uma filtragem, utilizando-se um filtro de moda com uma janela de 5x5, para homogeneização das classes de declividade e eliminação de pixels isolados. Essa operação é bastante útil para a preparação da cartografia final.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Cartas de declividade de acordo com a proposta para interação matricial

Pela observação da figura 12, pode-se analisar a distribuição espacial ocorrida quando se delimitam classes com intervalo de 2% para um total de nove unidades de relevo.

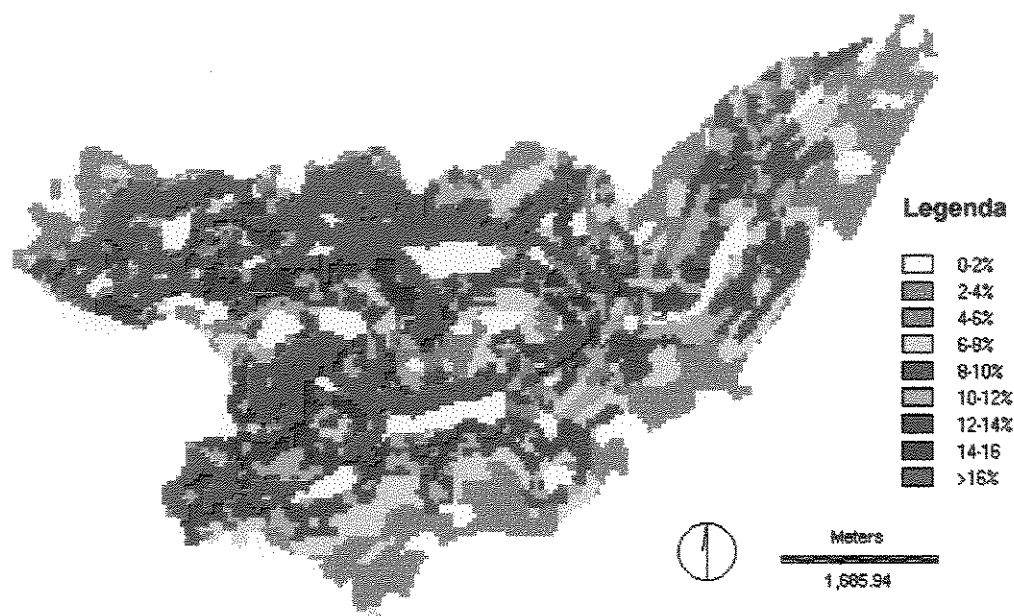


Figura 12 - Carta de declividade em intervalos de 2% até o máximo de 16%

Analisando visualmente a espacialização das unidades, pode se admitir que as áreas menos inclinadas estão distribuídas nos topos da periferia da bacia, e à medida que se vai interiorizando, observa-se uma acentuada presença de áreas cuja declividade é superior a 10%. Sob a ótica desta análise, restrições do relevo para

operacionalização motomecanizadas do preparo do solo são maiores na região central da bacia.

Analisando o gráfico nº 4 pode se observar a distribuição percentual das áreas de acordo com as classes de declive, onde se verifica que 54% da bacia contém áreas com declividades maiores que 10%. Conseqüentemente, mais da metade das glebas motomecanizáveis podem apresentar problemas relativos a aumento de risco de acidentes e também de perda da qualidade operacional, de acordo com os relatos de Meyer, 1973, citado por MIALHE (1996). De acordo com GRANDI (1981), nestas áreas a perda de tração em kgf/tonelada de peso estaria acima de 90 kgf.

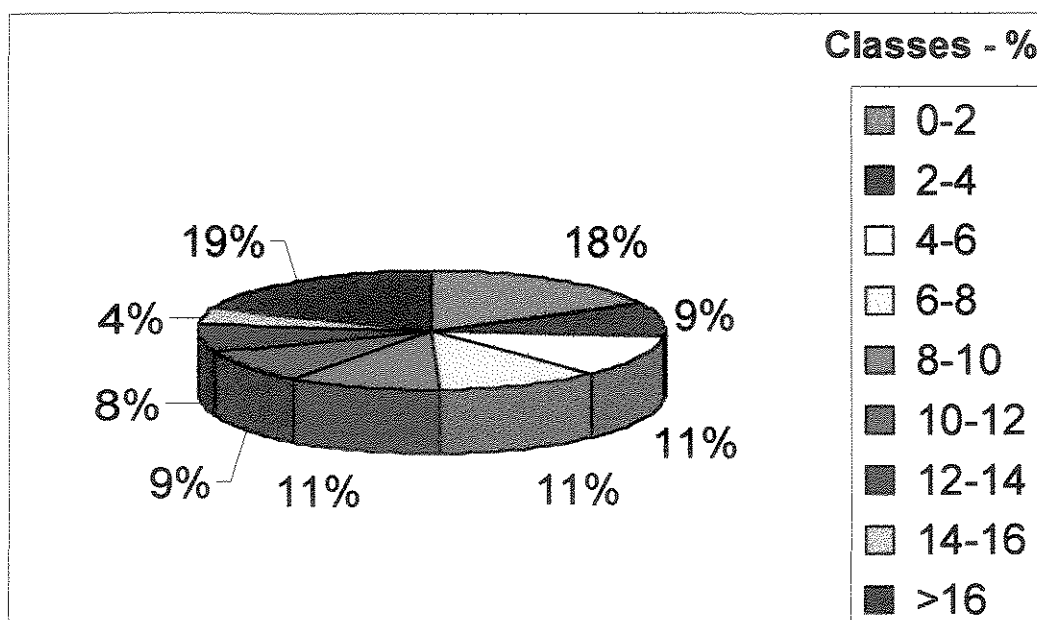


Figura 12 - Gráfico da distribuição percentual das classes de declive

Tomando por base os limites elásticos opcionais para classes de declividade adaptados do "Soil Survey Manual" (EUA 1951), citado por LEPSCH et al. (1991), tem-se aproximadamente a distribuição das áreas expressa na tabela 3.

Tabela 3 - Distribuição percentual das áreas classes de declive

Classes de Declive	Limites elásticos opcionais	
	Inferiores	Superiores
A	18%	27%
B	9%	22%
C	22%	32%
D	32%	19%
E		
F	19%	
G		
TOTAL	100%	100%

Assim sendo, pode-se admitir que aproximadamente 18% a 27% da extensão territorial da bacia tem classificação de declividade A, o que vale dizer que essas áreas são planas ou quase planas, em que o escoamento superficial ou enxurrada (deflúvio) é muito lenta, o declive não oferece nenhuma dificuldade para o uso de máquinas agrícolas e não existe erosão hídrica significativa. Neste sentido, aproximadamente de 9 a 22% da área da bacia podem estar sendo consideradas como áreas de classe B, caracterizadas por glebas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio; os declives, por si só, não impedem ou dificultam o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola mais usual; em alguns tipos de solos com esse declive a erosão não oferece nenhum problema, e em muitos deles práticas simples de conservação são necessárias, enquanto em solos muito erodíveis e com comprimento de rampa muito longo, proteções com práticas complexas podem ser necessárias, tais como sistemas de terraços e faixas de

retenção. Classificadas como classe C, há entre 22 a 32% da área com superfícies inclinadas, geralmente com o relevo ondulado, nas quais o escoamento superficial é médio ou rápido, sendo que o declive, por si só, ainda não prejudica o uso de máquinas agrícolas; em alguns casos, a erosão hídrica oferece poucos problemas, podendo ser controlada com práticas simples. Na maior parte das vezes, no entanto, práticas complexas de conservação do solo são necessárias para que as terras com esse declive possam ser cultivadas intensivamente. Cerca de 19 a 32% das glebas ainda são classificadas como classe D, que compreende áreas muito inclinadas ou colinosas, com escoamento superficial rápido, na maior parte dos solos; a não ser que os declives sejam muito complexos, a maior parte das máquinas podem ser usadas, mas com dificuldades; os solos desta classe são muito facilmente erodíveis, exceto aqueles muito permeáveis e não muito arenosos, que são normalmente áreas indicadas para cultivos perenes, pastagens e reflorestamento. Agrupadas entre as classes E, F e G, há aproximadamente 19% da área, que são fortemente inclinadas, com condição inadequada para a motomecanização tradicional, podendo ser admitidas máquinas especiais e máquinas leves, mesmo assim com dificuldades; em alguns locais não é permitida a mecanização, em hipótese alguma.

#### **4.2 - Cartas de solo de acordo com a proposta de agrupamento para interação matricial**

Os trabalhos para agrupamento dos solos ocorrentes na microbacia do Córrego São Joaquim em Pirassununga – SP, seguindo as premissas de LOMBARDI NETO et al. (1989), permitiram obter cinco grandes grupos de solos, sendo que a distribuição espacial na área da bacia pode ser observada na figura 13, onde se pode

constatar a carta de solos resultante da proposta de agrupamento. Observa-se nitidamente a presença predominante, na periferia da bacia, de solos com B latossólico, grupo esse que sob a ótica da mecanização representa áreas com forte tendências para o desenvolvimento de sistemas mecanizados menos impactantes; a ação das máquinas de preparo está muito ligada ao processo operacional adotado pelo usuário, que, com a adoção de procedimentos racionais, permite a sustentabilidade da mecanização na área. Os solos com presença de B textural encontram-se nitidamente ocupando as glebas próximas aos leitos do Córrego São Joaquim e do Córrego do Capão Redondo; nessas áreas a mecanização do preparo primário, dependendo da época e da forma que é desenvolvida, pode promover sérios impactos ambientais, principalmente ligados ao favorecimento da erosão; nestas áreas o trabalho em nível também propicia aumento no risco de ocorrência de acidentes, principalmente em função da possível redução da estabilidade lateral dos tratores.

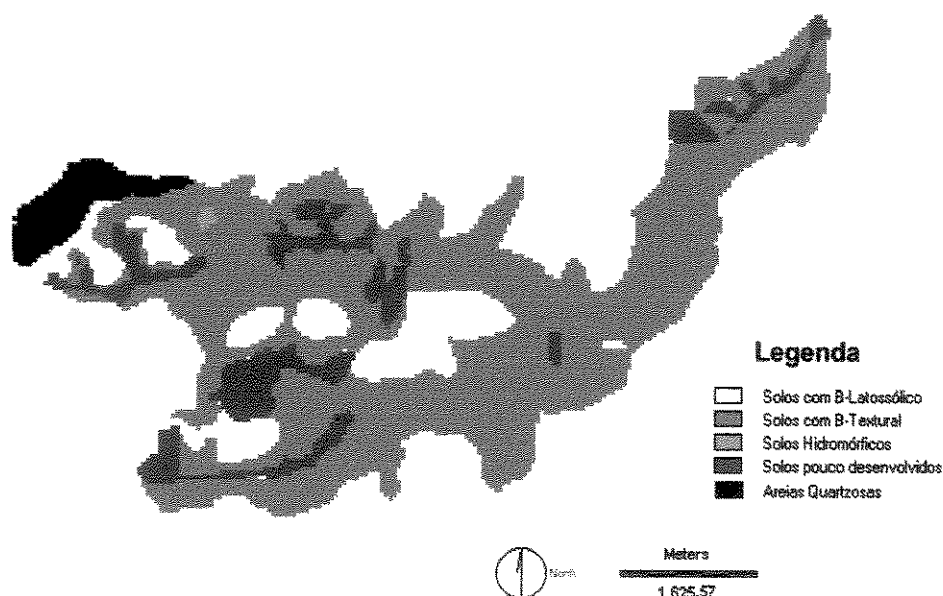


Figura 13 - Carta dos solos de acordo com a proposta de agrupamento

As áreas com presença de solos hidromórficos perfazem, segundo HECKER FILHO & OLIVEIRA, (1992), 0,12% da área, com sérias dificuldades de acesso. Os solos pouco desenvolvidos presentes na bacia ocorrem em relevo ondulado ou ondulado/dissecado, ocupando sempre posição próxima às vertentes, em pequenas áreas de difícil acesso, com declives acima de 25%, que praticamente impedem a mecanização.

Os cambisolos, apesar de ocorrerem em áreas com declive pouco acentuados, inferiores a 2%, são solos de médio potencial agrícola, altamente mecanizáveis, porém apresentam fatores restritivos, como limitações de drenagem interna e riscos de inundações. Segundo HECKER FILHO & OLIVEIRA (1992), apresentam distribuição espacial muito restrita, perfazendo apenas 0,62% da área total, conforme segue a figura 14.

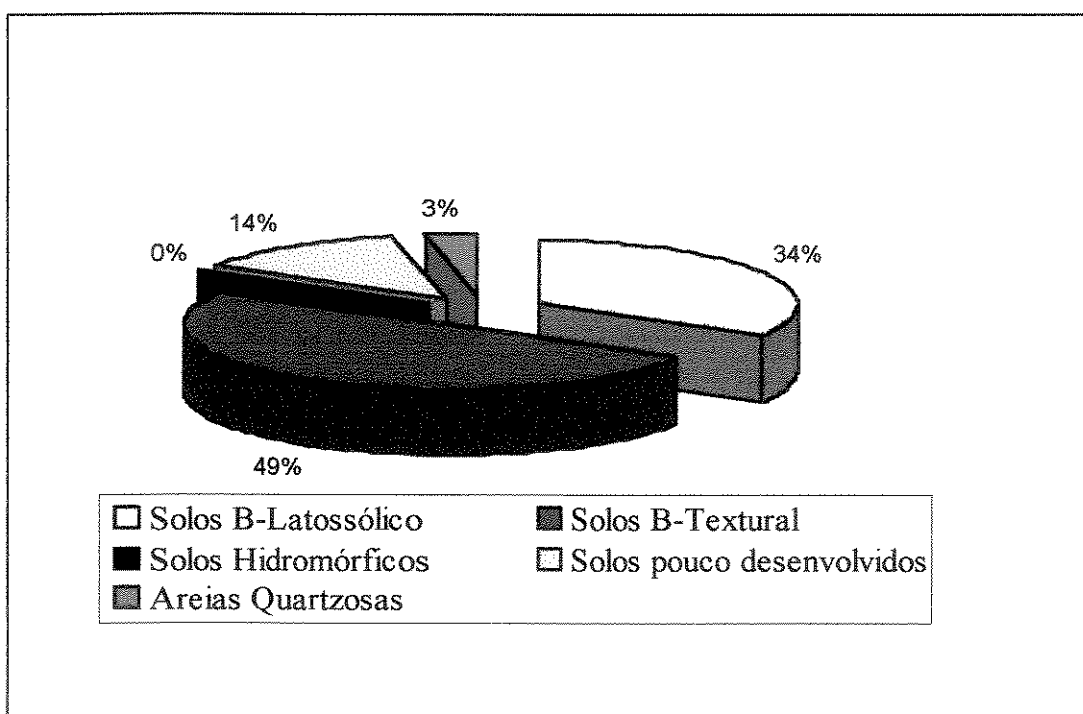


Figura 14 – Gráfico da distribuição percentual dos grupos de solos da bacia

As áreas com presença de Areias Quartzosas são localizadas em vertentes suaves, principalmente no extremo superior esquerdo da bacia, com declives de 0 a 2%, ou seja, praticamente planas e altamente mecanizáveis, porém com baixa fertilidade e acentuada erodibilidade, o que motivou a enquadrá-las no grupo B, com peso 2, semelhante ao dos solos com B textural, sob a ótica da fragilidade frente aos processos operacionais mecanizados.

#### **4.3 - Matriz tridimensional para compreensão da interação entre os fatores grupos de solo, sistemas operacionais de manejo e declividade,**

Seguindo as orientações de DELLARETTI FILHO (1996), para análise matricial foi construída a matriz geradora de parâmetros numéricos indicadores da expectativa da intensidade de impacto ambiental provocado pela mecanização interagindo com os fatores solo e declividade (Quadro 13).

Quadro 13 – Matriz geradora de indicadores de Fragilidade para Mecanização do preparo do solo,

Solo	Manejo	Declividade (%)							
		2	4	6	8	10	12	14	16
A 1	PD – 1	4	6	8	10	12	14	16	18
	E – 2	5	7	9	11	13	15	17	19
	AR – 5	8	10	12	14	16	18	20	22
	GE – 7	10	12	14	16	18	20	22	24
B 2	PD – 1	5	7	9	11	13	15	17	19
	E – 2	6	8	10	12	14	16	18	20
	AR – 5	9	11	13	15	17	19	21	23
	GE – 7	11	13	15	17	19	21	23	25
C 3	PD – 1	6	8	10	12	14	16	18	20
	E – 2	7	9	11	13	15	17	19	21
	AR – 5	10	12	14	16	18	20	22	24
	GE – 7	12	14	16	18	20	22	24	26
D 4	PD – 1	7	9	11	13	15	17	19	21
	E – 2	8	10	12	14	16	18	20	22
	AR – 5	11	13	15	17	19	21	23	25
	GE – 7	13	15	17	19	21	23	25	27

No quadro 13 cada valor representa a relação numérica por somatória simples, perfazendo um total de 128 interações, representando a expectativa de intensidade da fragilidade que opções de mecanização em estudo expõem a gleba a um possível impacto ambiental. Mediante a matriz geradora, foram obtidos os valores para subsidiar os planos de informação do SGI-IDRISI, no sentido de se obterem as cartas temáticas para fragilidade em função do sistema operacional de preparo primário de solos.

Ainda segundo as orientações de DELLARETTI FILHO (1996), para caracterizar o grau da intensidade do relacionamento entre os fatores é preciso definir os níveis e seus respectivos pesos, e, assim, construir uma tabela de classes de



fragilidade; os valores para enquadramento foram determinados partindo-se da premissa de que qualquer que seja a ação operacional agrícola sobre uma gleba de terra, sempre haverá impacto, com maior ou menor intensidade; para tanto, promoveram-se extratificações dos valores, utilizando separatrizes a partir de um valor de 14 pontos, que representa aproximadamente a metade do valor máximo de 27 pontos, obtidos na matriz geradora. Com isso, apoiados nos trabalhos de ROSS (1996), CAJAZEIRA (1997), HOFFHERR (1995), BACKER (1995) e em resultados de pesquisa do IAC e em diversas observações de campo, foi proposto que para se avaliar a expectativa de intensidade da fragilidade, os dados gerados na matriz tridimensional foram enquadrados nas seguintes classes: baixa para valores menores que 14 pontos, média para valores entre 14 e 19 pontos; alta para valores entre 20 e 23 pontos, e severa para valores maiores que 23 pontos. O quadro 14 explana as classes de maneira organizada.

Quadro 14 - Resultados da proposta para classificação dos valores quanto a intensidade da fragilidade

<b>Classes</b>	<b>Valores</b>
Baixa	< 14
Média	14 – 19
Alta	20 – 23
Severa	> 23

Contabilizando os dados gerados na matriz tridimensional, observa-se que 39% dos valores são enquadrados na classe baixa, 37,5% na classe de fragilidade média, 17,25% na classe alta e 6,25% na classe de intensidade severa. Essa distribuição percentual pode ser considerada normal, visto que se optou por trabalhar

com classes de declive de até 16%, o que mostra uma adequada recomendação para a qualidade ambiental da exploração agrícola motomecanizada.

#### 4. 4 Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional mecanizado de plantio direto na palha

Pelo quadro 15 pode se observar detalhadamente a análise matricial específica para enfatizar os estudos de interações dos fatores: grupos de solo, declividade, quando da adoção do sistema operacional mecanizado de plantio direto na palha.

Quadro 15 – Matriz geradora de indicadores de fragilidade para Sistema operacional mecanizado de plantio direto

Solo		PD	Declividade%							
Grupos	Peso	Peso	2	4	6	8	10	12	14	16
A	1	1	4	6	8	10	12	14	16	18
B	2	1	5	7	9	11	13	15	17	19
C	3	1	6	8	10	12	14	16	18	20
D	4	1	7	9	11	13	15	17	19	21

A figura 16 apresenta a carta de fragilidade gerada a partir dos dados provindos da análise matricial, devendo se observar que as áreas da bacia foram classificadas em três classes, e que praticamente toda a periferia é classificada como de fragilidade baixa e média, consolidando as premissas conservacionistas do sistema. As áreas classificadas como severas compreendem o centro da bacia, locais

de reconhecidas limitações agrícolas. Para a classe alta nenhuma área foi classificada.

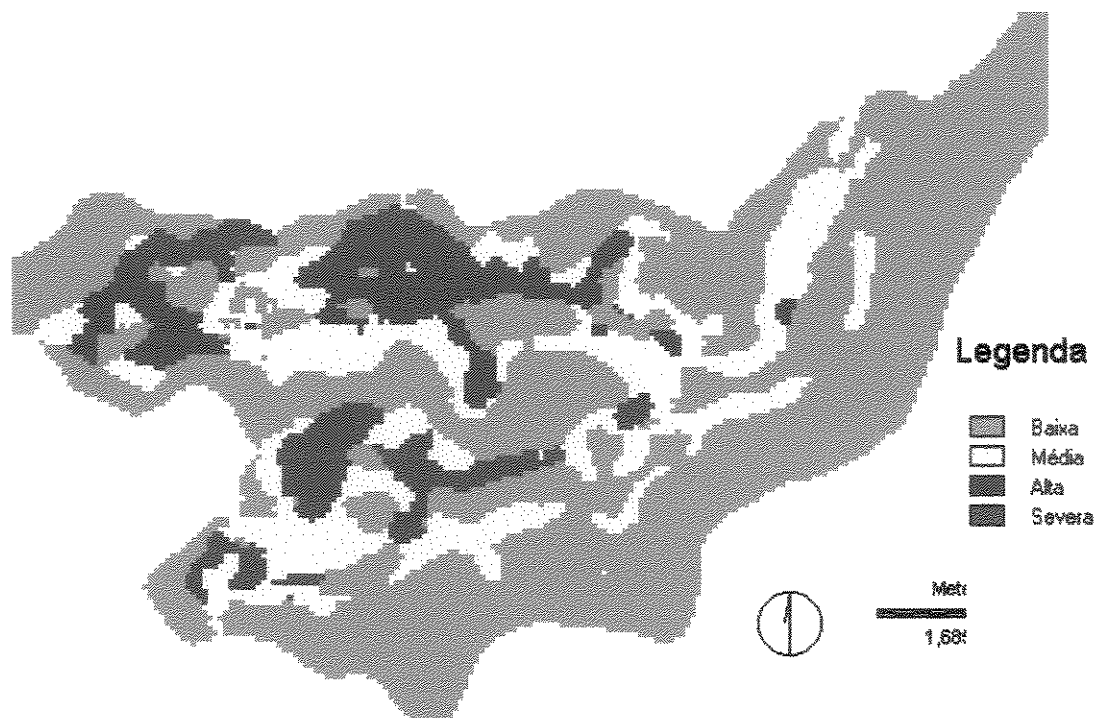


Figura 16 - Carta de fragilidade para plantio direto.

Na figura 17 é possível constatar a distribuição percentual das áreas classificadas de acordo com a expectativa da intensidade que as interações expõem a bacia a fragilidade das terras se for adotado o plantio direto.

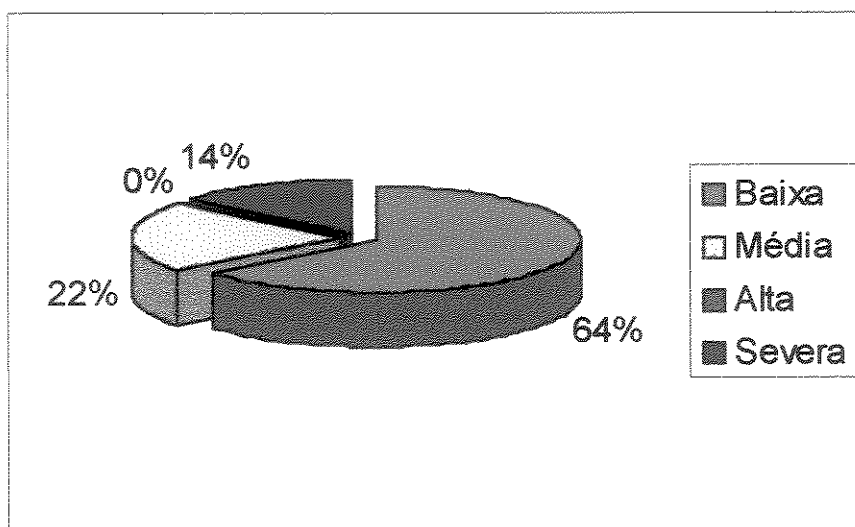


Figura 17 – Gráfico da distribuição percentual das áreas classificadas para fragilidade frente ao sistema de plantio direto.

#### 4.5 - Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional mecanizado para escarificação

O quadro 16 apresenta a análise matricial específica para enfatizar os estudos de interações dos fatores, grupos de solo e declividade quando da adoção de um sistema operacional para a escarificação.

Quadro 16 – Matriz geradora de indicadores de fragilidade para sistema operacional mecanizado para escarificação

Solo		E	Declividade%							
Grupos	Peso	Peso	2	4	6	8	10	12	14	16
A	1	2	5	7	9	11	13	15	17	19
B	2	2	6	8	10	12	14	16	18	20
C	3	2	7	9	11	13	15	17	19	21
D	4	2	8	10	12	14	16	18	20	22

Na figura 18 pode se analisar a carta de fragilidade gerada a partir dos dados provindos da análise matricial; observa-se que grande parte da bacia (principalmente as áreas de periferia) enquadra-se em classe de baixa e média exposição à fragilidade, englobando principalmente as áreas mais baixas, localizadas no terço final à direita da bacia. As áreas classificadas como de fragilidade alta, severa distribuem-se posicionando-se nas cabeceiras e no terço esquerdo; na região central da bacia as classes de intensidade alta e severa distribuem-se ao longo dos leitos do córregos.

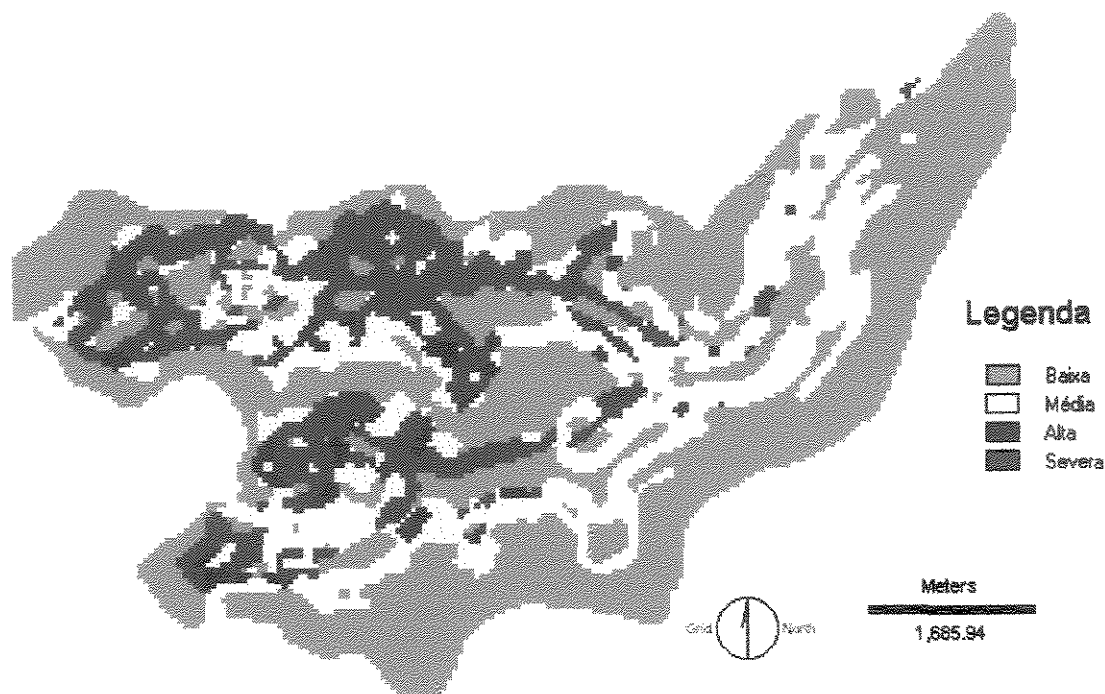


Figura 18 – Carta de fragilidade para escarificador

Pela figura 19 é possível analisar a distribuição das áreas classificadas pela fragilidade quando da adoção de sistemas operacionais mecanizados para escarificação. Pode se notar que 18% das áreas são classificadas como sensíveis ao processo de escarificação, principalmente as cabeceiras; 55% das glebas são consideradas como de baixa fragilidade, consolidando as qualidades da escarificação como uma das principais técnicas intermediárias entre o não revolvimento e a mobilização intensa.

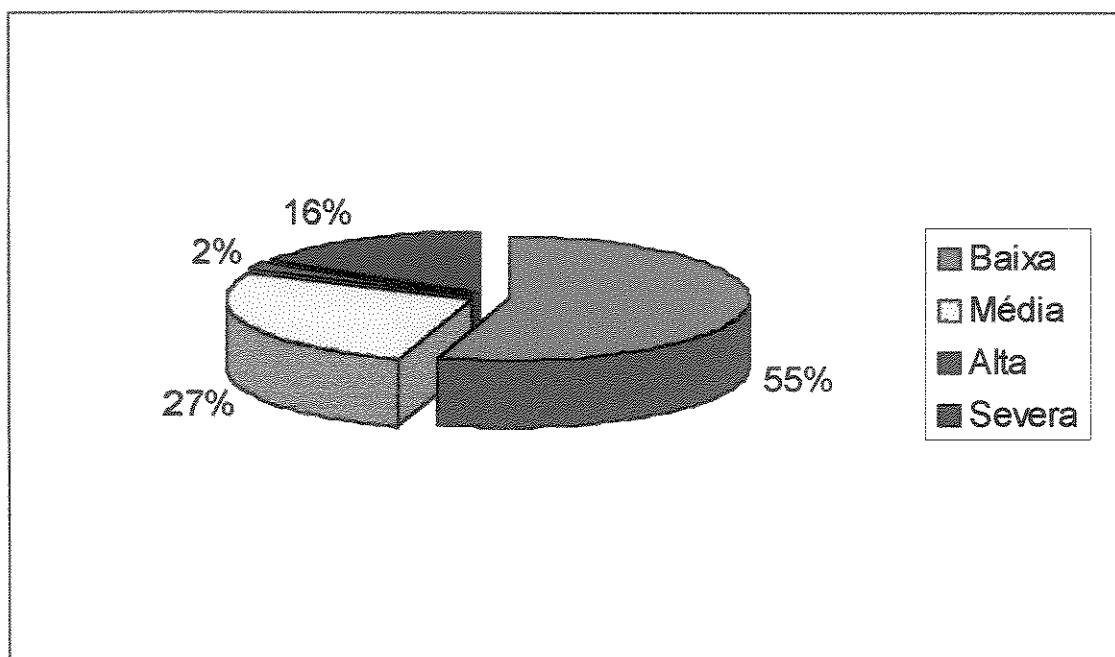


Figura 19 – Gráfico da distribuição percentual das áreas classificadas para fragilidade frente ao sistema de escarificação

#### 4.6 - Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional para aração

O quadro 17 mostra o resultado da análise matricial específica para enfatizar os estudos de interações quando da adoção de um sistema operacional para aração das terras da microbacia do córrego São Joaquim.

Quadro 17 – Matriz geradora de indicadores de fragilidade para sistema operacional mecanizado para aração

Solo		AR	Declividade%							
Grupos	Peso	Peso	2	4	6	8	10	12	14	16
A	1	5	8	10	12	14	16	18	20	22
B	2	5	9	11	13	15	17	19	21	23
C	3	5	10	12	14	16	18	20	22	24
D	4	5		11	13	15	17	19	21	23

Observando a figura 20 pode-se notar a forte distribuição espacial de terras classificadas como de fragilidade alta e severa, principalmente nas cabeceiras formadoras dos dois Córregos, São Joaquim e Duas Barras, chamando também atenção as nascentes formadoras do Córrego Capão Redondo. Uma boa parte das terras recebem classificação alta e severa, demonstrando a importância de práticas conservacionistas associadas aos processos de aração.

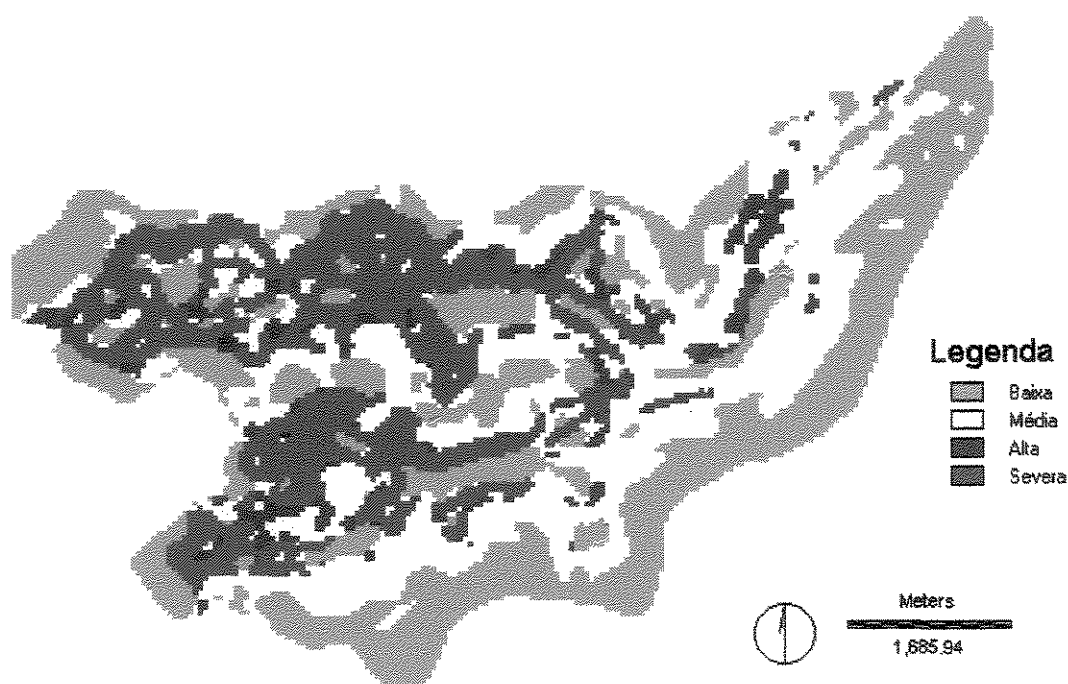


Figura 20 – Carta de fragilidade para aração.



Na figura 21 pode-se avaliar a distribuição percentual das terras com vistas à adoção da aração como prática de mobilização, ressaltando a considerável parcela de 27% como terras consideradas inadequadas à adoção da aração; cabe lembrar que 34% das áreas da bacia classificam-se como de fragilidade média e 39% de fragilidade baixa, sem nenhum impedimento para o desenvolvimento da mecanização.

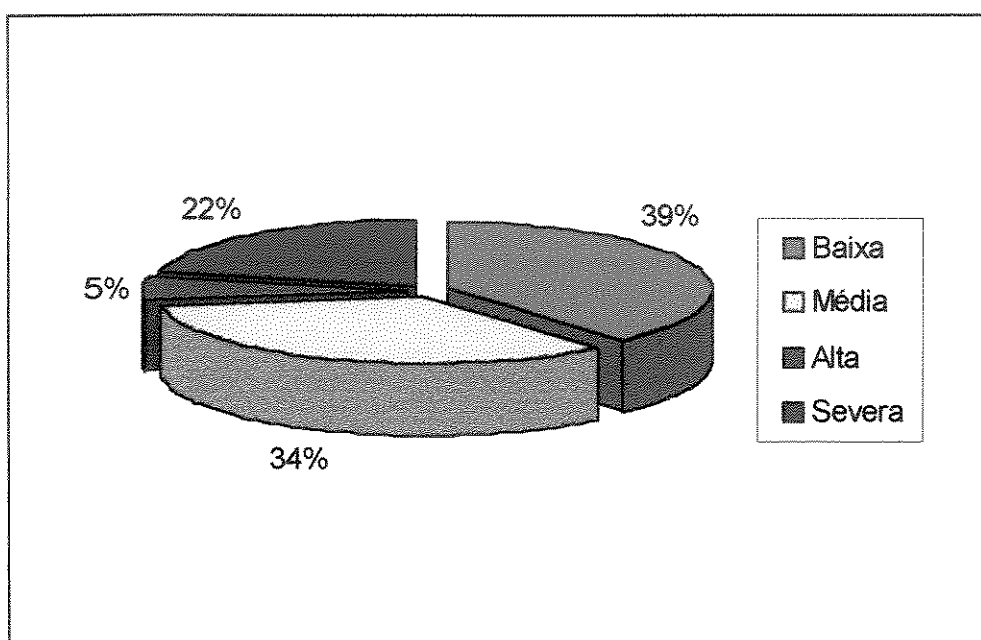


Figura 21 – Gráfico da distribuição percentual das áreas classificadas para fragilidade ao sistema de aração.

#### 4.7 – Carta de fragilidade referente a estudos para adoção do sistema operacional para gradagem pesada e rotação

O quadro 18 mostra o resultado da análise matricial específica para enfatizar os estudos de interações quando da adoção de um sistema operacional para gradagem pesada e rotação.

Quadro 18 — Matriz geradora de indicadores de fragilidade para sistema operacional mecanizado para gradagem pesada ou rotação.

Solo		GE	Declividade%							
Grupos	Peso	Peso	2	4	6	8	10	12	14	16
A	1	7	10	12	14	16	18	20	22	24
B	2	7	11	13	15	17	19	21	23	25
C	3	7	12	14	16	18	20	22	24	26
D	4	7	13	15	17	19	21	23	25	27

Analisando a figura 22 é possível averiguar a ampla distribuição espacial das áreas classificadas com alta e severa fragilidade, com a adoção do sistema operacionais com base no uso de grade aradora e ou enxada rotativa; a carta mostra que todas nas áreas próximas às cabeceiras do lado esquerdo da bacia, sob o aspecto desta interação solo-delive-manejo, é praticamente impeditivo à sua adoção.

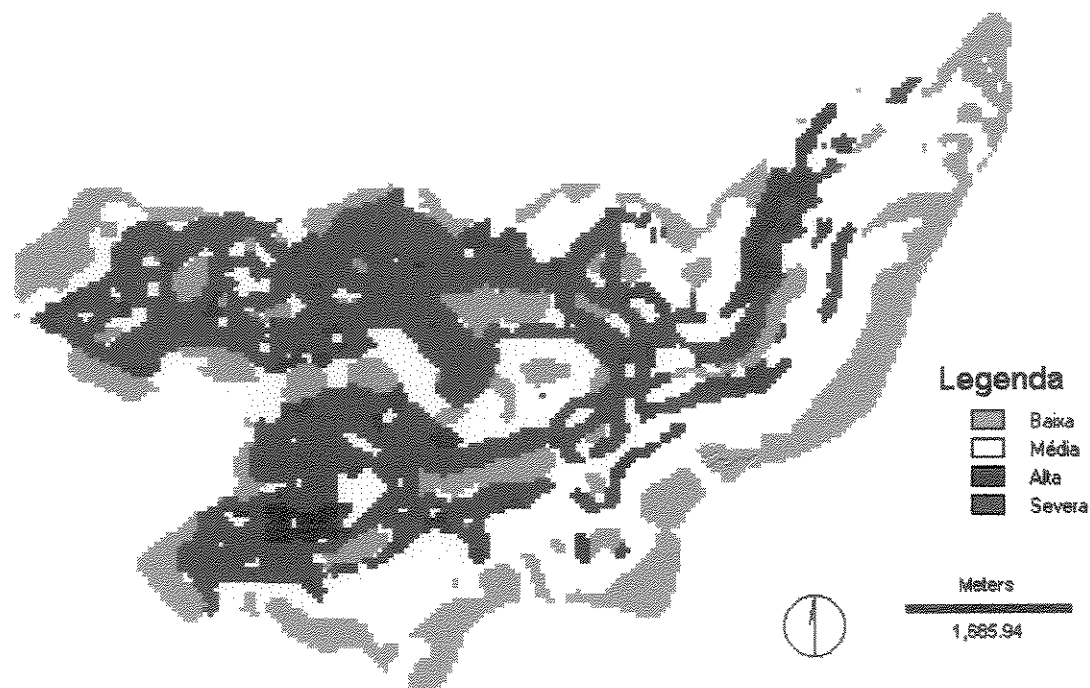


Figura 22 – Carta da fragilidade para grade aradora e enxada rotativa

A figura 23 mostra a distribuição percentual das áreas classificadas para a fragilidade relacionadas com mobilização do solo com grade aradora/ou enxada rotativa; em 38% da gleba não se recomenda esse tipo de mecanização, e grande parte do terço final é praticamente inviável à sua adoção.

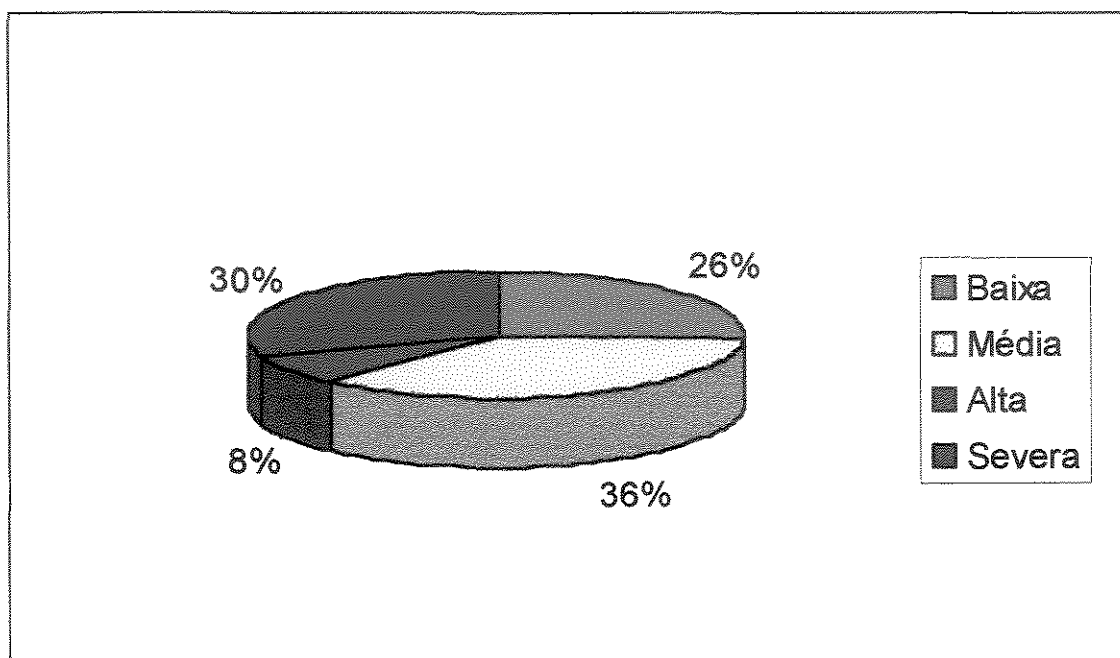


Figura 23 - Gráfico da distribuição percentual das áreas classificadas para fragilidade frente ao sistema de gradagem e rotação.

## 5. CONCLUSÕES

- O uso da análise matricial mostrou-se muito eficiente e prática para o estudo e a compreensão da interação entre os fatores grupo de solos, sistemas de mecanização agrícola e declividade
- A utilização da matriz tridimensional denominada matriz “C”, na geração de indicadores de fragilidade, proporcionou subsídios suficientes para a elaboração de proposta para classes de fragilidade de terras frente à expectativa de impacto ambiental causado pela mecanização.
- A metodologia utilizada proporcionou subsídios suficientes para a aplicação de um sistema de informação geográfica (SIG) e estabelecer cartas temáticas.
- O estudo de aplicabilidade da metodologia nos dados referentes à Microbacia do Córrego do São Joaquim – Pirassununga – SP mostrou que a proposta é eficiente e prática, gerando mapas temáticos e dados referentes à distribuição percentual da zonas de fragilidade.
- O aprimoramento do método pode propiciar estudos mais avançados na área do planejamento e tomadas de decisões.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.Z. Uso de fotografias aéreas nos levantamentos de solos. In: Curso Básico de solos, coord.: MONIZ, A.C.; GROHMANN, F.. Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Apostila datilografada, Campinas, 1969, p. 335-339.
- ANGULO FILHO, R.; DEMÉTRIO, V.A. Características da drenagem determinadas em fotografias aéreas e do relevo determinado em cartas planialtimétricas de escalas diferentes para três tipos de solos do Estado de São Paulo. In: Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, Gramado, 1986, p. 212-213.
- BACKER, P. de. - Gestão Ambiental: a administração do verde, Rio de Janeiro, Qualitymak, Ed. 1995, 252p.
- BARGER, E.L.; LILJEDAHN, J.B.; CARLETON, W.M.; MCKIBBEN, E.G. - Tratores e seus motores, São Paulo – Editora Edgard, Blucher, 1963, 398p.
- BENATTI JÚNIOR, R.; FRANÇA, G.V. de; MOREIRA, C.A. Manejo convencional e reduzido em quatro tipos de solos na cultura do milho em São Paulo; Fundação Cargil. Campinas 1983, 68p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. - Conservação do solo, São Paulo, Ed. Ícone, 1990, 356p.
- BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. - Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo do Instituto Agronômico – Campinas – SP, Instituto Agronômico, Circular nº 20 – 1972, 56p.
- BRASIL – Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, - Comissão de Solos – Levantamento dos solos do Estado de São Paulo, Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura – Boletim 12 - 1960, 634p.

- BRASIL, Comissão de Solos, Ministério da Agricultura, Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola, - Aptidão Agrícola das Terras de São Paulo – Binagri Edições, 1979, 114p.
- CAJAZEIRA, J.E. - ISO 14001: Manual de implantação, Rio de Janeiro, Qualitymak Ed, 1997, 120p.
- CAMARGO, A.P. de; PINTO, H.S.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R. & ORTOLANI, A.A. Aptidão climática das culturas agrícolas. In: São Paulo, Secretaria da Agricultura. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, 1974. V 1 p. 109-149.
- CASTRO, O. M.; DE MARIA, I.C. - Plantio Direto e Manejo de solo, In: Simpósio de Agricultura Ecológica, Campinas, Fundação Cargil, 1993, 220p.
- CASTRO, O. M. - Preparo do Solo para a cultura do milho, Campinas, Fundação Cargil, 1989, 41p.
- CASTRO, O. M. - Manejo e preparo do solo e erosão, In: Aspectos de Manejo do Solo – 1º Encontro do uso da terra na região do vale do Paranapanema, Fundação Cargil, Assis-SP, 1985, 97p.
- CORRÊA, A.A.M. Rendimento dos tratores e máquinas agrícolas e custo da motomecanização das culturas; In: Agrônômica, vol. XI, nº 3-4, Rio de Janeiro, 1952, p.228-240.
- CROLLA, A.D.; HALES, F.D. - The lateral stability of tractor and trailer combinations, Journal of Terramechanics, Oxford, vol 16, nº 1, 1979, 1-22p.
- CHISHOLM, C.J. - Experimental Validation of a Tractor Overturning Simulation, Journal Agricultural Engng Res., Silsoe, vol, 24, 1979, p, 395-415.

- DAVIS, D.C.; REHKUGLER, G.E. - Agricultural wheel-tractor overturns – Part I: Mathematical Model; Transactions of the ASAE, St, Joseph, v, 17, nº, 3, 1974 a, p 477-483.
- DAVIS, D.C.; REHKUGLER, G.E. - Agricultural wheel-tractor overturns – Part II: Mathematical Model Verification by Scale Model Study; Transaction of the ASAE; St, Joseph, v, 17, nº, 3, 1974 b, p 484-492.
- DELLARETTI FILHO, O. - As sete ferramentas do planejamento da qualidade; Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996, 183p.
- DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F. - Técnica de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas, In: LOMBARDI NETO, coord, Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP) coordenado por Francisco Lombardi Neto e Otávio Antonio de Camargo, Campinas, Instituto Agrônômico, Documentos IAC, nº 29, 1992, 138p.
- FADEL, H. Fotointerpretação de bacias e de redes de drenagem em três séries de solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra, SP, tese de mestrado, Esalq/USP, Piracicaba, 1972, 92p.
- FAULKNER, E.H. La insensatez del agricultor – Erosión: un planteo ecológico. Livraria “El ateneo”Editorial, Buenos Aires, 1981, 138p.
- GRANDI, L.A. Máquinas agrícolas, apostila mimeografada, Esal, Lavras, 1981, 205p.



- HECKER FILHO, J.; OLIVEIRA, J.B. - Levantamento pedológico detalhado – Microbacia do Córrego São Joaquim – Pirassununga – SP, In: Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga – SP) coordenado por Francisco Lombardi Neto e Otávio Antonio de Camargo, Documentos IAC nº 29, Instituto Agronômico 1992, 138p.
- HENKLAIN, J.C.; CASÃO JÚNIOR R. - Preparo do solo, In: Paraná, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação de Solos, 2ª Edição – Curitiba, 1994, 372p.
- HOFFHERR, GLEND. - O livro ferramenta: tomada de decisão e planejamento para otimizar resultados; Rio de Janeiro, Qualitymark, Ed, 1995, 72p.
- IBGE, Cartas topográficas – folhas: Corumbataí e Leme – Rio de Janeiro – 1971.
- IICA-INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA; Compendio de Agronomía Tropical; San José, Costa Rica, 1985, 827p.
- KIM, U.K.; REHKUGLER, G.E. - A review of tractor Dynamics and Stability – Transaction, of the ASAE; St, Joseph, v, 30, 1987, 615-623 p.
- LANDON, J.R. - Booker Tropical Soil Manual, New York – USA; Booker Agriculture International Limited, 1984, 450p.
- LEPSCH, I.F. - Solos do Estado de São Paulo, In: Manual técnico de manejo e conservação de solo e água, vol, II, coordenado por Francisco Lombardi Neto e Mário Ivo Drugowich; CATI Campinas, 1994, 168p.
- LEPSCH, I.F., BELINAZZI, R.; BERTOLINI, D. & ESPINDOLA, C.R. - Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de

capacidade de uso, 4ª aproximação, 2ª impressão revisada, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991, 175p.

LEPSCH, I.F. O inventário de solos como base do planejamento racional do uso da terra, In: Aspectos de Manejo de Solos, Fundação Cargill, 1985, 1-42p.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P.A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B. - Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços, In: Simpósio sobre terraceamento agrícola, coordenado por Francisco Lombardi Neto e Ricardo Bellinazzi Júnior, Campinas, SP, Brasil, Fundação Cargil, 1989, 266p.

LOMBARDI NETO, F.; BERTOLINI, D. - Tecnologias disponíveis para controlar o escoamento superficial do solo, In: Manual técnico de Manejo e Conservação de Solo e Água – Volume IV CATI, coordenado por Francisco Lombardi Neto e Mário Ivo Drugowidi, Campinas, 1994, 65p.

LOMBARDI NETO, F. - Práticas conservacionistas em microbacias, In: Drugovich, M.I, coord., Mecanização Conservacionista – Noções Básicas – Campinas – SP – CATI, 1990, 117p.

LOMBARDI NETO, F. - Manejo e conservação de solo, In: Microbacia do Córrego São Joaquim- Pirassununga – SP – Documento IAC nº 29 – Campinas – Instituto Agrônômico 1989, 139p.

LOMBARDI, Neto, F.; BERTONI, J. - Erodibilidade de solos paulistas – Campinas – SP, IAC, Boletim Teórico nº 27, 1975, 12p.

LOMBARDI, Neto, F.; BERTONI, J. - Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo, Campinas – SP, IAC, Boletim Teórico nº 28, 1975b, 12p.

- MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação de atributos de relevo aplicado a solos da região de Piracicaba, Tese de Mestrado, Esalq/USP, Piracicaba, 1969, 58p.
- MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J. Sistemas de preparo do solo em relação à produção e a erosão; Bragantia – IAC, vol 29, nº 9, Campinas, 1960, 403-459p.
- MARQUES, J.Q.A. Processos Modernos de preparo do solo e defesa cointra a erosão, Boletim 19, Instituto Central de Fomento Econômico da Bahia – Salvador – BA – 1950, 197p.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. & DERPSCH, R. - Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas, Curitiba, Acarpa, 1984, 68p.
- MIALHE, L.G. - Máquinas motoras na agricultura, EPU: Editora da Universidade de São Paulo – São Paulo, 1980 – V. 1 e 2, 368p.
- MIALHE, L.G. - Máquinas Agrícolas – Ensaios & Certificação, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – Piracicaba – SP – 1996 – 722p.
- MITCHELL, B.W.; ZACHARIAH, G.L.; LILJEDAHN, J.B. - Prediction and Control of tractor Stability to Prevent Recerward Overturning, Transaction of the ASAE; St, Joseph, v, 16, 1972, 838-844 p.
- MUZILLI, O. - Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo, In: Paraná, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação de Solos, 2ª Edição – Curitiba, 1994, 372p.
- NOGUEIRA, F.P. Utilização de fotografias aéreas em três escalas no estudo de redes de drenagem em diferentes unidades de solos. Tese de Mestrado Esalq/USP; Piracicaba, 1979, 110p.

- NOVO, E.A.L.M. Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1989, 308p.
- OLIVEIRA, J.B. Classificação de solos de quadricula de Campinas, boletim técnico nº 59, Instituto Agrônomo, Campinas, 1978, 25p.
- PEDRO JÚNIOR, M.J.; MELLO, M.H. de A.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. Características climáticas; In: Microbacia do Córrego São Joaquim (Pirassununga, SP) coordenado por Francisco Lombardi Neto e Otávio Antonio de Camargo. Campinas, Instituto Agrônomo, Documentos IAC, nº 29, Campinas, IAC, 1992, 139p.
- PRADO, H. do - Os solos do Estado de São Paulo: mapas pedológicos; Hélio Prado, Piracicaba, 1997, 205p.
- PRADO, H. - Manejo de Solos: descrições pedológicas e suas implicações, São Paulo, Ed, Nobel 1991, 117p.
- PRADO, H. - Solos Tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso, Piracicaba, H, Prado, 1995, 166p.
- RANZANI, G. Manual de Levantamento de Solos, Editora Edgard Clucher, 2º edição São Paulo, 1969, 162p.
- REHKUGLER, G.E.; KUMAR, V.; DAVIS, D.C.- Simulation of tractor Accidents and Overtuns; – Transactions, of the ASAE; St, Joseph, v, 19, 1976, 602-609 p.
- ROSS, J. L. S. - Geomorfologia aplicada aos Eias-Rimas, In: Geomorfologia e Meio Ambiente, organização, Antônio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha – Bertrand Brasil Editora, Rio de Janeiro 1996; 372p.

- ROSS, J.L.S. - Geomorfologia: ambiente e planejamento Editora Contexto, 4ª edição, São Paulo 1997, 87p.
- STEIN, D.P., ROTTA, C.L.; STEFANI, F.L. Geologia e geomorfologia. In: Microbacia do Córrego São Joaquim – Município de Pirassununga, SP, Documento IAC nº 29, Campinas, IAC, 1992, 138p.
- TOLEDO, P.E.N. Impacto ambiental e análise econômica de medidas mitigadoras: o caso da microbacia hidrográfica do Córrego São Joaquim, Pirassununga, SP, Piracicaba – tese doutorado – esalq/USP, 1977, 142p.
- VALÉRIO FILHO, M.; PELLERIM, J.; POUGET, J.J.; QUEIROZ NETO, J.P. Estudo preliminar na utilização de dados do mapeador temático TM em relação com um estudo detalhado da análise estrutural do solo no platô de Padre Nóbrega-SP. In: Simpósio Latino-Americano de sensoriamento remoto. Gramado, 1986, 839p.
- VETTORAZZI, C.A. Fotointerpretação de bacias hidrográficas e redes de drenagem em cinco solos da região do rio Ribeira do Iguape no Estado de São Paulo, tese de mestrado, Esalq/USP, Piracicaba, 1985, 110p.
- VIERIA, L.S. Manual da ciência do solo: com ênfase a solos tropicais, Editora Agronômica ceres, 2ª ed., São Paulo, 1988, 464p.
- VIEIRA, S.R.; CASTRO, O. M.; DE MARIA I.C. - Dinâmica da água no solo em função do manejo, In: Fancelli, A, L, Coordenador, Anais do II Encontro Paulista de plantio direto, Fealq/Esalq/USP, Assis-SP, 1989, 190p.
- VIZITIN, M. Utilização de dados orbitais no reconhecimento de classes de uso de solo: Bacia do Ribeirão Cafezal – Pr; tese de mestrado, USP, São Paulo, 1990, 94p.