UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

SUSCETIBILIDADE E RISCO À EROSÃO LAMINAR NO SETOR SUL DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO ARAGUAIA (GO/MT): DISCUSSÃO METODOLÓGICA E PROPOSTA DE AVALIAÇÃO ESPACIAL

Victoria Christina Vilela Oliveira

Orientadora: Profª. Drª. Selma Simões de Castro

Goiânia, novembro de 2004.

VICTORIA CHRISTINA VILELA OLIVEIRA

SUSCETIBILIDADE E RISCO À EROSÃO LAMINAR NO SETOR SUL DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO ARAGUAIA (GO/MT):
DISCUSSÃO METODOLÓGICA E PROPOSTA DE AVALIAÇÃO ESPACIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Sócio – Ambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Natureza e apropriação do espaço no Cerrado

Linha de pesquisa: Estudos Geoambientais

Orientadora: Profª. Drª. Selma Simões de Castro

Goiânia, novembro de 2004.
Victoria Christina Vilela Oliveira

SUSCETIBILIDADE E RISCO À EROSÃO LAMINAR NO SETOR SUL DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO ARAGUAIA (GO/MT):
DISCUSSÃO METODOLÓGICA E PROPOSTA DE AVALIAÇÃO ESPACIAL

Dissertação defendida e aprovada em ____/____/2004.

Banca examinadora constituída pelos professores (as):

Profª. Drª. Selma Simões de Castro
Universidade Federal de Goiás
(orientadora)

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho
Universidade Estadual de Campinas
(membro)

Profª. Drª. Luciana Maria Lopes
Universidade Federal de Goiás
(membro)

Dedicado este trabalho à Profª. Drª. Selma Simões de Castro, pela admiração enquanto pessoa e Geógrafa, por ter caminhado junto comigo nessa pesquisa, e sobretudo, por ter acreditado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo fato de ter chegado até aqui e pelas oportunidades que a vida me deu.

A segunda pessoa que gostaria de agradecer é a minha orientadora, a profª. Selma, que soube mais do que ninguém conduzir a orientação deste trabalho com muita maestria, num convívio extremamente edificador, que me possibilitou crescer não só profissionalmente, mas também pessoalmente. Suas dicas e todas oportunidades que me proporcionou foram de muita valia e sou extremamente grata.

Agora vou tentar citar os nomes não por ordem de importância, porque de uma certa forma cada um aqui teve o seu papel e contribuiu de alguma maneira na realização desse trabalho.

A Adriana (loira), que foi a pessoa responsável por eu ter entrado no mestrado, valeu pelo incentivo e todo companheirismo durante o curso.

Os companheiros de curso, em especial a amiga Olga (Olguíssima), Simone, Ronaldo, Rute, Niransi e a todos outros, os quais eu tive mais ou menos contato, principalmente nas aulas freqüentadas juntos, que muito enriquecem a cada um.

Aos velhos amigos da Geografia: Rui, pelo companheirismo, as discussões e divagações; Gracielly (fiotim), Gisélia, Tadeu, grande Geógrafo.

Maria Barbalho, pelas discussões e todo “help” com seu trabalho sobre a área da pesquisa; Gilberto, pelos mesmos motivos, sempre me ensinou muito; Denise, que puxou a orelha, ajudou e contribuiu enormemente com seu trabalho, e um agradecimento mais que especial ao Luciano, que sem ele esse trabalho não teria se finalizado, obrigada pela ajuda, pelo aprendizado e pela paciência (é, foi isso tudo sim). Agradeço também aos quatro por terem disponibilizado gentilmente o material de pesquisa, que facilitou enormemente o meu trabalho.

Ao amigo de curso e de balada, Roberto, que tem dado a maior força desde o bacharelado e foi muito importante na reta final da pesquisa.

Ao pessoal do LABOGEF, que sempre me ajudaram muito e fizeram companhia ao longo desses anos: Cinttia, Kênia (valeu pelos “puxões de orelha”), Gisela (grande ajuda), Clarisse, Tiago e o prof. Latrubesse, pelas valiosas dicas.

Aos professores do IESA que contribuíram ou continuam contribuindo na minha formação, especialmente àqueles mais próximos: Calaça, Claudinha, Maria Amélia, Eguimar, Maria Geralda, Alecsandro, Gislaine e Tadeu.

Aos professores Archimedes Perez Filho e Luciana Maria Lopes, que participaram da qualificação e deram sugestões e orientações extremamente valiosas.

Aos meus pais, Dolva e Eurípedes, pelo grande apoio e incentivo que sempre tiveram; à minha irmã Djowfriny, a tia Gê e tia Zeli.

Aos amigos: Danielle, Leandro, Fabiano e Michelly, pela companhia e pelos bons momentos, em especial a Valéria, Nardilane e Polliana, que além destes motivos sempre me incentivaram e me deram apoio no mestrado.

À Saurin, que apareceu na minha vida na reta final da pesquisa, que soube esperar e me deu todo apoio inimaginável.

Ao Rafael, pela grande ajuda com a parte de digitalização no LAPIG, Valney, pelas discussões e companheirismo, ao Edílson (da xerox), sempre “quebrando galhos”.

Às secretárias do mestrado, Roberta e principalmente Rosane, a alma mais prestativa do IESA.

Aos professores da Escola Estadual Marieta Telles Machado, que souberam entender minha ausência, tendo contribuído enormemente para que eu pudesse concluir esse trabalho, em especial às professoras Cida, Mariinha, Márcia e Lorena, que sempre foram muito prestativas.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS ---------- v
viii
LISTA DE FIGURAS ----------
x
RESUMO ----------
11
APRESENTAÇÃO ----------
12
1- INTRODUÇÃO ----------
22
2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ----------
2.1. Características climáticas ---------- 22
2.2. Aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos da área da pesquisa --------- 33
2.3. Capacidade de uso das terras ---------- 46
2.4. Uso da terra ---------- 49
58
3. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS ----------
3.1. Bacias hidrográficas e sistemas ---------- 58
3.2. Os processos erosivos ---------- 63
3.2.1. Tipos de erosão segundo a forma de escoamento das águas ---------- 65
3.2.2. Fatores condicionantes dos processos erosivos ---------- 70
3.2.3. Métodos para cálculo preditivo de perdas de solo por erosão ---------- 75
90
4. REVISÃO SOBRE MÉTODO, METODOLOGIA E OS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS ----------
4.1. Fator R – Erosividade ---------- 92
4.2. Fator K – Erodibilidade ---------- 97
4.3. Fator LS – Comprimento de rampa e declividade (Fator topográfico) ---------- 98
4.4. Mapa de suscetibilidade à erosão laminar ---------- 99
4.5. Mapa de risco à erosão laminar ---------- 102
105
5. ***A SUSCETIBILIDE E O RISCO À EROSÃO LAMINAR NO SETOR SUL DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO ARAGUAIA***---------- 105
5.1. Análise dos fatores ----------
5.1.1. Erosividade (Fator R) ---------- 105
5.1.2. Erodibilidade (Fator K) ---------- 123
5.1.3. Comprimento de rampa e declividade (Fator LS) ---------- 126
5.2. Suscetibilidade à erosão laminar ---------- 126
5.3. Risco à erosão laminar ---------- 131
5.4. Conclusões ---------- 135
139
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES ----------
143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----------
ANEXOS ---------- 154

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01- Localização da Área da Pesquisa ---------- 23
Figura 02: Estação pluviométrica Fazenda Taquari – Análise freqüêncial (80% de ocorrência) por pentadas.---- ---------- 26
Figura 03: Isoietas da média dos totais anuais ---------- 27
Figura 04: Estação Fazenda Taquari – Intensidade Máxima do dia e duração (janeiro-95) ---------- 28
Figura 05: Estação Fazenda Taquari – Intensidade Máxima do dia e duração (dezembro-95) ---------- 28
Figura 06: Intensidade, duração e classificação das chuvas na Estação Fazenda Taquari. ---------- 29
Figura 07: Estação Fazenda Paraíso – Intensidades Máximas Instantâneas (ago/01 a ago/03). ---------- 31
Figura 08: Estação Fazenda Paraíso - Curva de Intensidade Máxima Instantânea (ago/01 a ago/03) ---------- 32
Figura 09: Geologia ---------- 34
Figura 10: Quadro comparativo de áreas ---------- 35
Figura 11: mapa geomorfológico ---------- 36
Figura 12: mapa hipsométrico ---------- 37
Figura 13: clinografia ---------- 38
Figura 14: mapa pedológico ---------- 39
Figura 15: esboço morfológico ---------- 45
Figura 16: mapa capacidade de uso ---------- 47
Figura 17: Cálculo de áreas e características das terras baseadas no sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH, 1991). ---------- 48
Figura 18: uso das terras ---------- 52
Figura 19: Grau de Discrepância entre a Classificação das Terras baseada no Sistema de Capacidade de uso e uso atual. ---------- 56
Figura 20: discrepância entre a classificação das terras e o uso atual ----------
Figura 21: Modelo conceitual de erosão hídrica de Meyer e Wischmeier (1969), que forma a base do modelo erosivo de ravinas/ inter-ravinas (Foster & Meyer, 1975)----- 68
Figura 22: Fatores que influenciam a erosão ---------- 70
Figura 23: Fatores que afetam a erosão hídrica ---------- 74
Figura 24: Nomograma de Wischmeier, para estabelecimento da erodibilidade dos solos. ---------- 83
Figura 25: Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão ---------- 87
Figura 26: Efeito de práticas conservacionistas em culturas anuais sobre as perdas por erosão (Médias na base de 1300 mm de chuva nos tipos de solo arenoso, massapê e roxa. Declives entre 6,3 e 10,8%).---------- 89
Figura 27: Estações pluviométricas: localização, total de anos de registro de dados e coeficiente de correlação (r) para a fórmula adotada. ---------- 93
Figura 28: Comparação da distribuição da precipitação pluviométrica anual entre Mococa-SP e Fazenda Taquari-GO. ---------- 94
Figura 29: Intervalo de confiança (Fazenda Taquari x Mococa) ---------- 95
Figura 30: Classes de erodibilidade (fator K, em t.h/MJ.mm) para os solos do Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia. ---------- 98
Figura 31: Roteiro metodológico para a definição das classes de suscetibilidade à

erosão laminar. ---------- 99
Figura 32: Quadro – Classes de suscetibilidade à erosão laminar, por meio da relação erodibilidade X fator LS, para os diferentes solos encontrados na área. ---------- 100
Figura 33: Comparação entre as classes de declividade e do fator LS. ---------- 102
Figura 34: Método para estabelecimento do Mapa de risco à erosão laminar.---------- 102
Figura 35: Matriz de definição das classes de risco à erosão laminar ---------- 103
Figura 36: Precipitação média mensal e anual –AltaBacia do rio Araguaia, 1964-1999 105
Figura 37: Isoietas do período seco e chuvoso ---------- 106
Figura 38: Esboço do mapa erosividade ---------- 107
Figura 39: Pluviosidade mensal - Estação Fazenda Taquari, no período 1970 a 1990.-- 108
Figura 40: Estação Fazenda Taquari – média mensal da pluviosidade e do fator R, para o período 1970-1990 ---------- 109
Figura 41: Valores médios mensais e anuais do índice de erosividade EI_{30} na Estação Fazenda Taquari, no período 1970 a 1990. ---------- 110
Figura 42: Índice de erosividade calculado para vários locais do país. ---------- 110
Figura 43: Distribuição da precipitação pluviométrica e da erosividade – Estação Fazenda Taquari (1970-1990) ---------- 112
Figura 44: Gráfico – Estação Fazenda Taquari – Médias anuais da pluviosidade e da erosividade no período 1970-1990 ---------- 112
Figura 45: Período de retorno e probabilidade de ocorrência ---------- 113
Figura 46: Gráfico – Comparação de chuvas erosivas por dois métodos ---------- 116
Figura 47: tabela de análise física dos perfis dos solos da voçoroca Chitolina.---------- 117
Figura 48: Diagrama de pluviógrafo – Estação Fazenda Paraíso ---------- 119
Figura 49: Estação Fazenda Paraíso (30/31/11/01) – Quantidade de chuvas, duração e intensidade. ---------- 120
Figura 50: mapa erodibilidade ---------- 124
Figura 51: mapa fator LS ---------- 127
Figura 52: mapa de suscetibilidade ---------- 129
Figura 53: Quadro comparativo das áreas de suscetibilidade à erosão laminar ---------- 130
Figura 54: mapa de risco ---------- 132
Figura 55: Quadro comparativo das classes de risco à erosão laminar ---------- 135

ANEXOS

01- Localização das estações ---------- 154
02 - Índice de erodibilidade (fator K), para vários tipos de solo encontrados.– legal: fator ls ---------- 155
03 – Cruzamento utilizado no LEGAL, do SPRING para geração da carta de suscetibilidade à erosão laminar ---------- 157
04 - Cruzamento utilizado no LEGAL, do SPRING, para geração da carta de risco à erosão laminar ---------- 159

RESUMO

A preocupação com a conservação do solo na atualidade é crescente, frente às diversas formas de degradação desse recurso natural. Uma das formas de degradação que mais tem chamado atenção é a erosão dos solos que traz uma série de outros impactos ao meio ambiente. Nesse sentido, o atual trabalho trata de fazer um estudo da suscetibilidade e dos riscos à erosão laminar no setor sul do alto curso da Bacia do Rio Araguaia, localizada entre as divisas do Estados de Goiás e Mato Grosso. A pesquisa partiu de uma visão sistêmica do meio ambiente, de modo a complementar uma série de estudos que vinham se desenvolvendo nessa área, sendo mais um subsídio ao planejamento geoambiental da área. A pesquisa fundamentou-se na adaptação de uma metodologia que se baseia num dos modelos mais conhecidos de predição de perdas de solo, a USLE (Equação Universal de Perdas de Solo). Do estudo dos seus principais fatores – erosividade, erodibilidade, declividade e comprimento de rampas – foram produzidos dois mapas síntese: um de suscetibilidade à erosão laminar, que leva em consideração os condicionantes do meio físico no desenvolvimento da erosão, e o mapa de risco, que indica o real potencial de ocorrência do fenômeno, uma vez que considera também a forma de utilização das terras. Os resultados obtidos apontaram que quase metade da área da pesquisa (48,61%) enquadra-se na classe III: suscetibilidade moderada, que são àqueles ocupados sobretudo pelos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, dominantes na área de estudo. As áreas de Chapada, por apresentarem declividades baixas e solo menos erodível foram enquadradas nas classe V: pouco a não suscetível, ocupando 21,92% da área; a classe IV: pouco suscetível (6,33%); os 23,15% restantes estão nas classes II e I: muito suscetível e extremamente suscetível, que são aquelas próximas ou nas próprias escarpas da Chapada ou de seus testemunhos. Quanto ao risco à erosão laminar o mapa apresenta três classes, sendo que a maior parte da área (49,21%) apresenta baixo potencial (classe III), correspondentes à relevos planos dos topos da Chapada ou dos fundos de vale. Outra grande parte é ocupada pela classe II (45,5%), que apresentam relevo mais ondulado e solos arenosos, estando ocupadas sobretudo por pastagens, situadas na zona rebaixada que contorna a Chapada. As áreas mais críticas (Classe I) somam apenas 5,3% e são aquelas que estão ocupadas com agricultura em desacordo com a classificação de capacidade de uso das terras, que deveriam ser destinadas à preservação ambiental.

Palavras-Chave: Alto Curso do Rio Araguaia, Erosão laminar, USLE, suscetibilidade, risco.

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho se insere no "Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Bacia do Alto Araguaia – Proposta de Implantação de uma Rede Integrada de Pesquisa sobre Erosão, suas conseqüências e propostas de controle", coordenado pela Profª. Drª. Selma Simões de Castro e com a participação de professores, alunos de graduação e mestrado do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, da Universidade Federal de Mato Grosso e da Universidade Estadual de Campinas. Os financiamentos do projeto foram provenientes do CONCITEG e do CNPq-PCOOP (Programa Centro-Oeste de Pesquisa e Pós-Graduação), além das próprias IES (Instituições de Ensino Superior) envolvidas e para esta pesquisa relativa à suscetibilidade e ao risco à erosão laminar contou-se com bolsa da CAPES.

O referido programa teve início em 1998 e objetivou indicar diretrizes de uso e manejo das terras que integram o alto curso da Bacia do Rio Araguaia, onde o problema erosivo se constitui na principal conseqüência dos impactos ambientais sofridos pela área, sobretudo nas últimas três décadas. As inúmeras informações produzidas sobre a erosão linear da área vinculadas a esse Programa, resultaram de pesquisas já realizadas, que acumularam também uma base de dados significativa. Entretanto alguns estudos ainda se faziam necessários para um melhor conhecimento da dinâmica erosiva da área, como é o caso da erosão laminar, de que trata a presente dissertação.

1- INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de extrema importância para a vida em geral, em especial a vida humana, por ser o suporte de toda cobertura vegetal da terra, o que permite a existência dos seres vivos. Por outro lado é também o suporte de grande parte das atividades humanas. Apesar de toda esta importância, em muitos locais não se tem tido o devido cuidado para a sua conservação, o que vem causando a sua degradação.

Uma das formas de degradação do solo é a erosão que, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), se constitui, sem dúvida, na principal causa do depauperamento acelerado das terras, que promove perdas de áreas agricultáveis, desertificação e prejuízos de toda ordem. A erosão traz problemas tanto para áreas urbanas quanto rurais, além de provocar alterações consideráveis nos recursos hídricos, tais como o assoreamento, a poluição de mananciais por carreamento de substâncias, como agrotóxicos, sedimentos, etc; dentre outros.

A erosão, quanto à sua origem, pode ser geológica ou acelerada (GALETI, 1986). A erosão dita geológica, ou ainda natural, é causada por fenômenos naturais que provocam alterações nas condições geológicas ou climáticas, e ocorrem ao longo de centenas de milhares de anos ou mais, na superfície terrestre. Este tipo de erosão não é em geral considerada maléfica, pois é este processo que permite a modelagem do terreno, além de permitir ou não a formação e o desenvolvimento de solo, podendo ocorrer em equilíbrio dinâmico. A partir do momento que há uma intervenção humana de forma que desestabilize esse equilíbrio natural existente, pode se desenvolver a chamada erosão acelerada. Esta é gerada principalmente pela ação direta do ser humano, através das suas práticas de uso e manejo das terras, em geral agropecuárias e na ocupação desordenada do solo urbano.

Quanto ao agente, a erosão pode ser provocada pela ação do gelo (glacial), do vento (eólica) ou da água (hídrica), dentre outras, sendo que esta última no Brasil, é a mais importante, devido aos índices pluviométricos elevados (LEPSCH, 1993). A erosão hídrica pode apresentar-se de forma linear, formando sulcos e ravinas, ligadas ao escoamento superficial concentrado e voçorocas, ligadas além deste, também ao escoamento

subsuperficial também concentrado (SALOMÃO, 1999); ou de forma laminar ou em lençol, quando é causada por um escoamento superficial difuso das águas da chuva, lateralmente ou em pequenos filetes, retirando de forma praticamente homogênea a camada superficial do solo. A erosão linear, ao se dar pelo escoamento concentrado de água segundo linhas de fluxo, forma canais de escoamento que transportam grandes volumes de terra. Por isso é mais visível do que a laminar, que é conhecida como “silenciosa”, pois só é percebida quando as raízes das plantas, sobretudo árvores, ficam expostas e/ou quando as areias começam a recobrir os terrenos, ou o assoreamento dos fundos de vale começam a ficar evidentes.

A presente pesquisa faz uma análise da erosão laminar que, segundo Lepsch (1993, p.141), é o tipo mais importante de erosão hídrica pois

> as perdas de solo por esse tipo de erosão superam em muitas vezes as outras duas formas, mas, no entanto, ela chama menos atenção que os sulcos e as voçorocas e, por isto, estas duas outras formas causam comumente preocupação ao público. A erosão em sulcos e as voçorocas afetam imediatamente a capacidade de produção da terra de uma determinada propriedade, ao passo que a natureza lenta e insidiosa da erosão laminar faz com que muitos agricultores não percebam o problema, antes de atingir maiores proporções, para poder ser corrigido.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) também se referem à erosão laminar como sendo a mais perigosa, por ser uma forma de erosão dificilmente perceptível e que quando visível já se encontra, não raro, em estágio avançado, como exposto acima. Este fato coloca em evidência a necessidade dos estudos para avaliação do risco à erosão laminar, a fim de se estabelecer um uso adequado do recurso solo, bem como se adotar medidas preventivas e de controle dos processos erosivos.

Se formos analisar a problemática da degradação ambiental no país numa perspectiva histórica, teremos que remontar pelo menos ao instante em que os primeiros portugueses aqui chegaram. Andrade (1993, p.37) se refere aos quinhentos anos de história do Brasil como “cinco séculos de depredação e devastação do meio ambiente, acompanhados de cinco séculos de poluição”. O autor sintetiza toda esta degradação em quatro aspectos: a destruição da vegetação natural, a degradação das águas, a destruição dos solos e a degradação do homem.

Centraremos nossa discussão no aspecto solo, mas que ao ser abordado numa visão sistêmica, implica relações com os demais aspectos citados. Explicitando de uma forma simplificada temos que: a destruição da vegetação natural expõe o solo às ações climáticas, sobretudo chuva, facilitando a sua degradação. O solo exposto é mais facilmente erodido, perdendo materiais os quais transportados para os fundos de vale degradam as águas. As terras erodidas perdem capacidade produtiva e assim perdem-se áreas agricultáveis, o que pode causar abandono e êxodo rural, dentre outras conseqüências como os riscos à saúde vegetal, animal e humana em geral. A água degradada também causa diversos malefícios ao ser humano, que envolve igualmente, desde aspectos de saúde até aspectos econômicos. Este é um simples exemplo da interação existente entre fatores do meio ambiente, onde várias outras interações são ainda possíveis.

Sobre o conceito de área degradada, Alvarenga e Souza (1995) ressaltam que esse é um conceito bastante amplo e que depende do aspecto a ser enfocado. Neste caso, cujo alvo é o solo, Grainger (1998) apud Alvarenga e Souza (1995, p.15)

> define como terras degradadas aquelas quando a modificação ou remoção substancial da composição e/ou estrutura de sua cobertura vegetativa e/ou o conseqüente esgotamento da fertilidade do solo pela agricultura tem prejudicado a estabilidade da ecologia e economia local e/ou regional.

Lepsch (1993) assinala que a degradação dos solos é um problema que há muito tempo vêm preocupando os cientistas e os lavradores mais conscientizados. Esta degradação se dá de várias formas, sendo que uma que tem chamado bastante atenção é a erosão acelerada, que se evidencia na presença de voçorocas, ravinas e sulcos nas áreas de pastagens, plantas raquíticas e com raízes expostas (conseqüência da erosão laminar), perda da produtividade (devido à remoção da camada superficial do solo, rica em nutrientes – também conseqüência da erosão laminar) assoreamento de rios, etc. O problema toma dimensões maiores, uma vez que a erosão, além de degradar o solo, agrava a poluição das águas, pelo arraste de sedimentos, adubos e agrotóxicos para os recursos hídricos.

Vários autores apontam a erosão acelerada como um dos principais motivos do depauperamento dos solos, dentre eles, Graziano Neto (1985), Bertoni e Lombardi Neto (1993), Lepsch (1993), Salomão (1999). A respeito das conseqüências dos processos erosivos, Morgan (1995) considera que elas afetam tanto o nível local quanto não local,

que são assim definidos: “on-site effects” (efeitos locais) e “net effects” (efeitos em rede). Os *on-site effects* são particularmente importantes em terras agrícolas, onde a redistribuição de terra dentro de um campo, a perda de terra de um campo, a quebra de estrutura do solo e o declínio de matéria orgânica e nutrientes resultam em uma redução na profundidade do solo cultivável e em um declínio da fertilidade do solo. O “*net effect*” é a perda da produtividade, a qual, primeiramente restringe o que pode ser cultivado e resulta num aumento das despesas com fertilizantes para manter os rendimentos, mas depois ameaça a produção de alimentos e pode conduzir, ao final do processo, ao abandono das terras. Analisados estes aspectos, percebe-se o quanto o tema erosão é amplo, e envolve fatalmente uma série de fatores[1] e considerações.

Na área de estudo desta pequisa, o setor sul da Alta Bacia do Rio Araguaia, a preocupação com os processos erosivos já é fato. O assunto destas erosões nessa área é tão grave que vêm chamando a atenção até dos meios de comunicação, que denunciam o problema. Em 1998 deu-se início ao “Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Bacia do Alto Araguaia – Proposta de Implantação de uma Rede Integrada de Pesquisa sobre Erosão, suas conseqüências e propostas de controle” (IESA/UFG) e logo depois, em 2000, ao projeto “Diagnóstico, Prognóstico e Controle de Erosões Urbanas e Rurais nos Estados de Goiás e Mato Grosso” (IESA/UFG). Em 1998, em conseqüência de um outro projeto – Projeto Recomposição Ambiental das Nascentes do Araguaia (EMAS, 2000) – o IPT/METAGO (1998) e a CELG/SMET (1998) cadastraram as 23 maiores voçorocas nessa área e recentemente o IESA/UFG, através da SEMARH/GO – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Goiás elaboraram um Atlas Geoambiental (CASTRO et al., 2004[a]) e um Plano de Controle (CASTRO et al,2004b).

Nesse setor predominam solos arenosos finos e álicos (NOVAES et al, 1983; BARBALHO, 2002 dentre outros), o que significa baixa coesão de partículas, porosidade fina e baixa fertilidade. Com a introdução de práticas agropecuárias que se sucederam ao desmatamento indiscriminado, tais solos tornam-se alvo do impacto direto da chuva e não têm condições satisfatórias de resistência, dada a baixa coesão e os teores baixos de matéria orgânica. As chuvas são intensas (RAMOS, 2003) e concentradas no verão, e não raro excedem a capacidade de infiltração podendo promover o acúmulo de água na

[1] Os fatores condicionantes dos processos erosivos são discutidos no capítulo 3.

superfície, condição intimamente ligada ao escoamento superficial e conseqüentemente à erosão.

As pesquisas desenvolvidas nesses projetos revelam que a Alta Bacia do Rio Araguaia apresenta uma série de ocorrências erosivas lineares de grande porte, na maioria voçorocas. Silva (2000), por exemplo, contabilizou um total de 97 focos na alta bacia, sendo 74 situados somente no seu setor sul, onde se localizam as nascentes do rio Araguaia, e identificou as sub-bacias mais críticas ao processo. A autora destacou as relações entre o sistema viário, a rede de drenagem e as ocorrências erosivas lineares nessa área, na escala 1:100.000. Posteriormente foram identificadas 91 ocorrências, somente para o Setor Sul da bacia, quando se ampliou o estudo para a escala 1:60.000 (BARBALHO, 2002).

Há também outros trabalhos vinculados a esse projeto que merecem destaque, como os referentes ao uso do solo (FARIA, 2001), que demonstrou uma redução brutal do Cerrado na área nas últimas décadas (cerca de 50%); a elevada suscetibilidade da maioria dos solos aos processos erosivos lineares (OLIVEIRA, C., 1999); à algumas características do relevo (vertentes longas e suaves) e ocorrências erosivas lineares (BARBALHO & CAMPOS, 2001); à estrutura fundiária concentrada e uso intensivo da terra (MEDEIROS, 2002); às variáveis morfométricas das vertentes e sua importância nos processos pluvio-erosivos (SANTOS, 2001); à evolução do uso do solo ligada à apropriação rápida das terras às custas de desmatamento indiscriminado, e relações com a degradação ambiental em especial com as erosões lineares (MATIAS, 1999); à compartimentação morfopedológica e suas diferentes suscetibilidades, identificando os mais críticos situados na setor sul referido (BARBALHO, 2002); à análise da distribuição temporal das precipitações, que são intensas e concentradas no verão, e suas relações com os processos erosivos (RAMOS, 2003); ao elevado risco à erosão linear nas áreas de maior suscetibilidade e uso inadequado (XAVIER, 2003); ao controle litoestrutural da evolução dos focos (REZENDE, 2003) e aos fluxos hídricos internos concentrados (lençol freático), e suas relações com os solos e a identificação dos indicadores de risco localizado nas concavidades basais das vertentes ou das nascentes que formam embaciados amplos, todos concentradores de fluxos superficiais e subsuperficiais (MARINHO, 2003).

Entretanto, apesar de já haver um grande número de pesquisas desenvolvidas sobre a área, em especial o referido setor sul, ainda não havia estudos sobre a erosão

laminar, embora observações preliminares em campo tenham revelado a presença de inúmeros areais que poderiam ter relação também com este tipo de erosão, sobretudo nas concavidades identificadas e aparentemente situados à montante das voçorocas.

A respeito da erosão laminar, Bertoni e Lombardi Neto (1990, p.68) lembram que:

> A erosão do solo afeta a vida de muitas maneiras, e é difícil compreender a magnitude do problema. As perdas de solo pela erosão afetam todo o povo, porém, principalmente o lavrador, tendo sido estimado por MARQUES [1949] que o Brasil perde, por erosão laminar, cerca de quinhentos milhões de toneladas de terra anualmente; esse prejuízo lento e continuado, que a erosão do solo tem ocasionado à nossa economia, vem-se patenteando já de maneira nítida e insofismável na fisionomia depauperada de algumas de nossas regiões.

Os autores acima destacam que esta perda de terra por erosão laminar "[...] corresponde ao desgaste uniforme de uma camada de 15 cm de espessura numa área de cerca de 280.000 hectares de terra" (p.68). Ainda neste aspecto, Mafra (1999, p.307) lembra que "o maior problema da erosão em terras com vocação agrícola consiste na eliminação da capa superficial do solo, importante por seu conteúdo em matéria orgânica e frações minerais finas, as quais garantem a nutrição indispensável ao crescimento dos vegetais". De fato, a redução da profundidade do solo, eliminando a camada superficial, denominada epípedon, traz sérios problemas, principalmente à agricultura, uma vez que o horizonte A, onde se fixa grande parte do sistema radicular, e é o que contém a maior parte dos nutrientes utilizados pelas plantas, assim como a maior parte da matéria orgânica e, ainda, possui a melhor estrutura para o desenvolvimento das raízes, como já exposto (GUERRA, 1998).

Na Alta Bacia do Rio Araguaia, situada entre as nascentes desse rio na Serra de Caiapó, próximo ao Parque Nacional das Emas e as localidades de Santa Rita do Araguaia (GO) e Alto Araguaia (MT), o tipo de uso do solo sofreu uma mudança significativa nas últimas décadas, com uma inversão na forma de uso: em 1976, 83,28% da área era ocupada com vegetação nativa (cerrado) e 16,72% utilizadas na agropecuária; em 1999 a vegetação nativa diminui para 42,94% e as terras destinadas à agropecuária aumentaram para 57,06% (FARIA, 2001). Relacionado a estes fatores, Silva (2001) observara que a maior concentração de ocorrências erosivas lineares situava-se nessa área.

Em relação ao sudoeste de Goiás (a parte goiana da área de pesquisa se localiza nesta microrregião), Oliveira (2001) apresenta dados que comprovam o uso intensivo de máquinas e insumos modernos, com ênfase na evolução do número de tratores e máquinas para plantio e colheita, que tiveram aumentos consideráveis de 1970 a 1996, assinalando que o uso de tratores, por exemplo, cresceu 738,71% na região neste período. Outros dados ainda evidenciam o tipo de agricultura existente hoje nesta área, e sua evolução a partir da década de 70, período em que se iniciou a modernização do campo, no sudoeste de Goiás. Estes dados referem-se ao uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, que podem ser conferidos em Marinho (2000), o qual mostra que o uso de adubos químicos por exemplo, teve um aumento de 2602% em apenas 5 anos: de 1970 a 1975.

Percebe-se também, que o uso agrícola intensivo destinado à produção de grãos, sobretudo soja, viável no topo dos relevos tabuliformes onde dominam os latossolos espessos e argilosos, vem se estendendo para as zonas rebaixadas e dissecadas, que são naturalmente inadequadas e constituídas freqüentemente por solos arenosos finos (BARBALHO, 2002; CASTRO et al., 2004b). Nesse sentido, estudos ainda revelaram forte conflito ou discrepância entre a capacidade de uso das terras e o uso atual no setor sul da Alta Bacia do rio Araguaia, onde cerca de 41,56% da área apresenta alto grau de discrepância e 29,63% grau máximo e muito alto de discrepância, o que soma 2/3 da área em situação de grande incompatibilidade entre uso e capacidade de uso (SILVA et al., 2002; BARBALHO, 2002).

Em mapeamento mais recente, Barbalho (2002) tratando mais especificamente do denominado Setor Sul da Alta Bacia do Araguaia, onde se concentra o maior número de ocorrências erosivas lineares – mapeadas por Silva (2000) e utilizando imagem de satélite LANDSAT-ETM 7 de 1999 – aponta que esse setor apresenta 44,2% de sua área ocupada pelo cerrado enquanto que 55,65% está sendo utilizada com agricultura e pastagem, sendo que a maior parte dos focos erosivos lineares encontra-se nas pastagens (57,14%). A autora estabelece uma relação estreita entre as erosões, a suscetibilidade natural e a forma de ocupação e hierarquiza os compartimentos morfopedológicos por ela delimitados, por grau de criticidade.

A história de ocupação intensiva da região revela assim, que a sua apropriação deu-se sobretudo nos últimos cerca de trinta anos e comparando-se o número das ocorrências erosivas lineares em 1967 (12) com as atuais (91), pode-se deduzir que houve

uma indiscutível falha no planejamento de uso e ocupação das terras, associado à problemas de conflito entre a capacidade de uso e os usos e manejos não conservacionistas (BARBALHO, 2002), que resultaram em riscos elevados à ocorrência desses processos, como demonstrou Xavier (2003).

Com vistas ao que foi exposto acerca dos estudos já existentes sobre a Alta Bacia do Araguaia, citaremos ainda um aspecto importante colocado por Baccaro (1999, p.197) a respeito do sistema geomorfológico do cerrado que,

> [...] é complexo na sua estrutura e funcionamento e vem recebendo a entrada de novos e intensos fluxos de energia e matéria, via ação antrópica. Há necessidade de um conhecimento integrado e profundo dos elementos, dos processos físicos, químicos, biológicos e das ações humanas que se interagem e contribuem para a dinâmica do sistema ambiental físico, objetivando conhecer a estabilidade e os limites do equilíbrio dinâmico dos mais diversos subsistemas geomorfológicos. Isto nos leva a fazer uma reflexão e uma avaliação sobre a manutenção da estrutura e realizar modelagens sobre até que ponto a intensidade e extensividade dos impactos antropogenéticos poderão ser absorvidas no sistema geomorfológico do Cerrado.

Esse comentário deixa clara a necessidade de estudos que englobem todos estes aspectos, bem como os que envolvem o bioma cerrado. Neste mesmo sentido, Bertoni e Lombardi Neto (1993, p.271), falando sobre os propósitos dos trabalhos sobre erosão, evidenciam a necessidade da pesquisa para um programa nacional de conservação do solo, que “exige informações reais sobre a quantidade e intensidade de erosão nas condições de solo e clima” e que “a avaliação dos fatores que provocam a erosão e o armazenamento de dados são importantes para uma previsão e o estudo antecipado de problemas em potencial para evitar situações desastrosas”.

Bacellar (2000), Guerra (1999), dentre outros, lembram que há controvérsias sobre a ligação entre a erosão linear e a laminar, salientando ser possível que tudo comece com esta, através de pequenos filetes de água, anastomosados, que podem evoluir para sulcos, estes para ravinas e estas para voçorocas, embora haja casos de voçorocas que já se iniciam como tal (OLIVEIRA, M., 1999).

Assim, percebe-se o quanto se torna importante o estudo da erosão laminar no setor sul do alto curso da Bacia do Rio Araguaia, que pode contribuir para uma visão mais completa dos problemas ambientais erosivos na área e suas conseqüências, além do fato de

que, em estudos desta natureza, as informações obtidas em um local podem ser aplicadas em outros com condições semelhantes, como sugere a pesquisa científica.

Nesse sentido, o estudo da suscetibilidade e do risco à erosão laminar nessa área pode contribuir não só para um diagnóstico mais completo sobre a problemática erosiva, bem como para verificar se há coincidência ou não entre os setores mais críticos quanto à erosão linear e a laminar, de modo a entender a origem e a dinâmica desses processos e, conseqüentemente subsidiar as ações de controle, tanto preventivas como corretivas.

A escolha desta área deveu-se, por um lado, à comprovada ocorrência de focos erosivos lineares amplamente estudados e à existência de uma coleção de documentos sobre o meio físico em escala de detalhe (1:60.000) e, por outro, de um acervo de dados pluviométricos e levantamentos dos solos representativos em escala de ultra-detalhe, dados esses que serviram de base à presente pesquisa. Foram significativas, também, as observações preliminares feitas em campo, colaborando com as pesquisas citadas, quando foram observados extensos areais situados à montante e jusante das grandes voçorocas, muitos já desprovidos de cobertura vegetal contínua, cujos tufos já apresentam raízes expostas.

Para o estudo da erosão laminar há várias propostas metodológicas, dentre as quais a mais conhecida é a USLE - Universal Soil Loss Equation (EUPS, em português - Equação Universal de Perdas de Solo), que foi utilizada neste trabalho como base para delimitar a suscetibilidade à erosão laminar, bem como o risco relacionado com o uso e ocupação das terras. Dessa forma, o objetivo geral da presente dissertação foi caracterizar a suscetibilidade erosiva laminar do setor sul do alto curso da Bacia do Rio Araguaia e estabelecer suas relações com o uso do solo atual, de modo a subsidiar os estudos que visam a readequação do uso do solo nessa área e a proposição de práticas conservacionistas. Para tanto, os objetivos específicos foram:

- Avaliar a distribuição de indicadores de ocorrência de processos erosivos laminares, com vistas a espacializar o fenômeno;
- Identificar os principais condicionantes do meio físico à erosão laminar e suas relações com o uso do solo passado (1967) e atual (2000), a fim de compreender os impactos destes e avaliar os riscos reais de desenvolvimento dos processos;

- Analisar a erosividade e a erodibilidade da área, com vistas a subsidiar a avaliação de suscetibilidade;
- Avaliar os graus de suscetibilidade à erosão laminar e sua distribuição;
- Avaliar os graus de risco à erosão laminar e sua distribuição.

Após esta introdução, a presente dissertação foi organizada em 4 capítulos. No capítulo 2 é apresentada a área de pesquisa frente às características do seu meio físico, e estabelecidas algumas relações com a evolução do uso das terras nas últimas cerca de três décadas, e sua implicação com os processos erosivos. No capítulo 3 são apresentados os pressupostos teóricos e metodológicos da pesquisa, onde é dado destaque aos conceitos de bacias hidrográficas e às bases necessárias à compreensão do fenômeno erosivo, onde é enfatizada a erosão laminar. No capitulo 4 são apresentadas uma revisão crítica sobre os princípios e operações relativos ao método preditivo de perdas de solo por erosão laminar e a proposição metodológica empregada, seguida dos procedimentos operacionais envolvidos na análise dos fatores que conduziram ao estudo da suscetibilidade e do risco à erosão laminar, com ênfase na erosividade, erodibilidade, comprimento de rampa e declividade e produtos cartográficos correspondentes relativos aos mapas de suscetibilidade e risco à erosão laminar. No capítulo 5 são apresentados os resultados da análise dos fatores, os mapas de suscetibilidade e risco à erosão laminar, seguidos dos comentários e conclusões alcançados. No capítulo 6 são feitas considerações finais sobre os resultados obtidos e apresentadas recomendações para o controle dos processos erosivos laminares. Seguem-se as referências bibliográficas e os anexos.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para o desenvolvimento da pesquisa como já exposto, é o Setor Sul do Alto curso da Bacia do Rio Araguaia, situada no trecho à montante da foz do rio Babilônia, seu principal afluente nesse setor. Localiza-se essencialmente no sudoeste do Estado de Goiás e sudeste do Estado de Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas: 17º 00’ 00” e 18º 05’ 08” de latitude sul e 52º 35’ 48” e 53º 30’ 00” de longitude oeste. A área apresenta 1.560 Km^2 e abrange parte dos municípios de Alto Araguaia e Taquari, no Estado de Mato Grosso e Santa Rita do Araguaia e Mineiros, no Estado de Goiás. (Figura 01). Sua delimitação inicial foi feita com base na maior concentração de focos erosivos lineares, como já exposto.

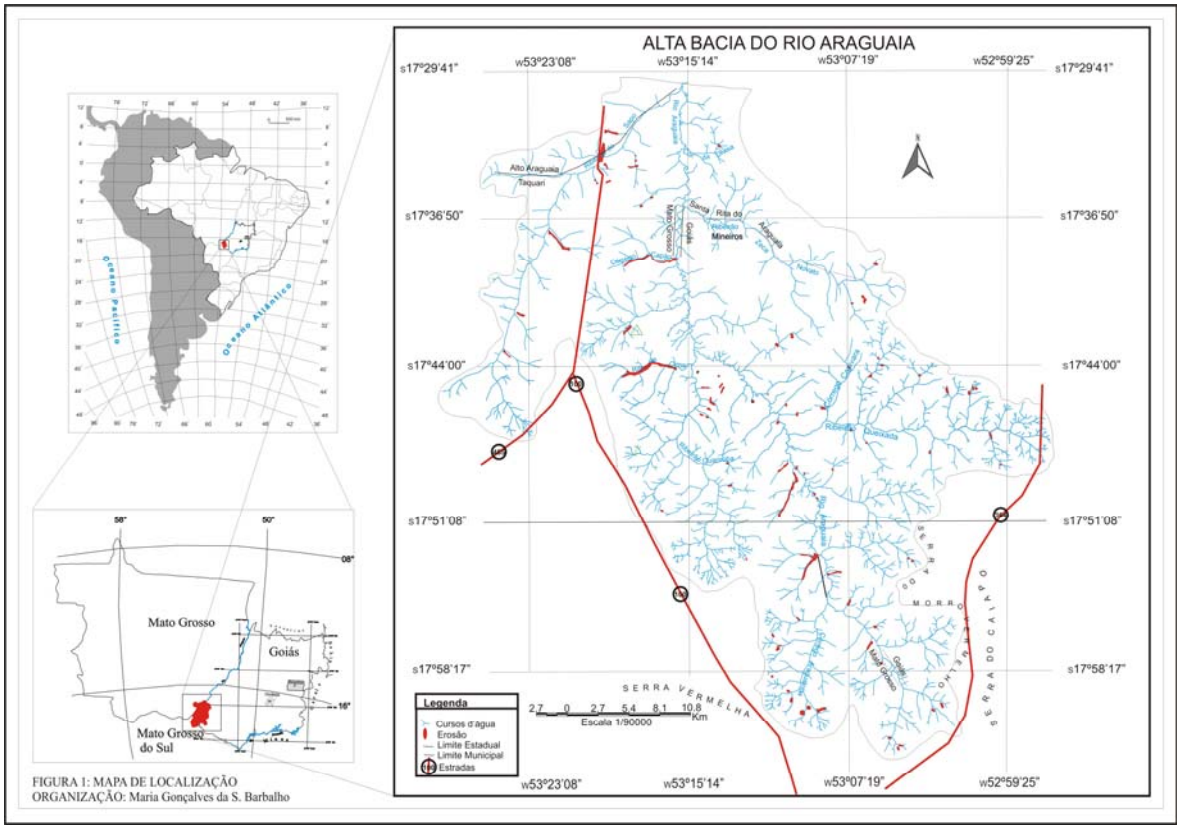


FIGURA 01- Localização da Área da Pesquisa

A caracterização que se segue é feita em termos das variáveis utilizadas na avaliação da suscetibilidade e do risco à erosão laminar, a saber, clima, solos e relevo, além das variáveis complementares ao seu entendimento, como a geologia e o uso das terras. Inicia-se pelas características climáticas com ênfase nas chuvas pelo fato da erosão

laminar ser considerada hídrica, juntamente com a linear. Optamos por abordar conjuntamente os demais aspectos físicos que caracterizam a área da pesquisa, portanto as características geológicas, geomorfológicas, destacando a clinografia e a hipsometria, e as pedológicas, uma vez que estes fatores, que são utilizados na maioria dos estudos de erosão laminar, estão nitidamente inter-relacionados, em termos espaciais e funcionais, tanto na escala regional, mais abrangente, como pontuando detalhes derivados de estudos em escalas maiores (de detalhe).

2.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

A chuva é um dos fatores da erosão e sua intensidade é uma das variáveis mais importantes utilizadas nos estudos sobre erosão laminar. A chuva é um dos elementos do clima e sua ocorrência depende das condições de circulação atmosférica regional e local. Assim, para um melhor entendimento sobre o clima da área de estudo, comecemos por tratar da circulação atmosférica, que é o que nos permite entender as condições do tempo e nos dá uma melhor compreensão do clima, em especial da distribuição dos totais das chuvas.

De acordo com Nimer (1989), na Região Centro-Oeste há duas fontes principais que durante todo o ano sopram ventos responsáveis por tempo bom ou estável: os ventos de NE a E do *anticiclone* tropical semifixo do Atlântico Sul e os ventos de direção variável – geralmente do quadrante N – das pequenas *altas* ou *dorsais* formadas sobre o continente. “Essas situações de estabilidade, com tempo ensolarado, muito quente no Verão e ameno no Inverno, são muito sujeitas a bruscas mudanças acarretadas pela invasão de distintos sistemas de circulação ou correntes perturbadas” (NIMER, 1989, p.23). Estas correntes perturbadas são as responsáveis pela instabilidade do tempo no verão, acarretando geralmente chuvas e trovoadas.

A temperatura média na região durante o ano é de 22ºC. Devido ao seu posicionamento físico-geográfico ser predominantemente tropical, “a ausência quase completa de invasões de ar frio de origem polar, durante o semestre Primavera-Verão, acarreta temperaturas elevadas quase que diariamente nessa época [...]” (NIMER, 1989, p.25). É neste período que ocorre a maioria das chuvas, chegando a concentrar 70% de seu total nos meses de novembro a março, conforme apontado pelo autor. Já no Inverno, “devido à continentalidade da Região e da conseqüente secura do ar, são comuns dias

muito frios, sobretudo em junho e julho" (NIMER, 1989, p.25). Este é o período seco na região.

Conforme revisão de Ramos (2003) o clima na região é tropical continental, semi-úmido com tendência a úmido, enquadrando-se na classificação de Köppen no tipo Aw, próprio de savanas tropicais, com quatro a cinco meses secos. Neste tipo de clima são comuns as chuvas convectivas ou de verão, com intensidade variando de média a alta e de pouca duração.

Neste ponto, um aspecto importante a ser destacado se refere à distribuição pluviométrica das chuvas, que tem relação direta com os processos erosivos em geral, conforme será visto mais adiante. Ramos (2003, p.7) que pesquisou a distribuição temporal das precipitações na Alta Bacia do Rio Araguaia aponta que

> a distribuição sazonal das chuvas acusa durante o ano um período de estiagem compreendendo os meses de junho a setembro e um período chuvoso, que se estende dos meses de outubro a março, sendo abril e maio os meses de transição para o período seco. As precipitações pluviais da bacia crescem do sul para o norte, sendo que a média anual para o início das sub-bacias do Rio Araguaia em torno de 1.583mm, chegando a 1.799mm ao norte da bacia, na região da confluência dos Rios Araguaia e Tocantins. O período chuvoso, na parte sul da bacia, ocorre nos meses de outubro a março, com existência de dias secos em janeiro e fevereiro [...].

A autora fez também uma análise freqüencial pentadial e dos totais pluviométricos para seis estações pluviométricas posicionadas, sobretudo, no Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia[2] e seu entorno, sendo que

> a estação Fazenda Taquari, a única localizada dentro da área em estudo, apresentou um bom resultado nas análises frequenciais em todo o período chuvoso, com uma distribuição frequencial considerável (a 3ª maior média das seis estações estudadas), mas, possui intervalos com dias consecutivos sem chuvas no mês de outubro (entre as pentadas de 55ª a 60ª), e índices frequênciais baixos nas primeiras pentadas (primeira quinzena) do mês de novembro, o que indica secas mais prolongadas nestas áreas ou alta frequência de ocorrência de estiagens nestes meses. A partir da segunda quinzena (64ª a 66ª) do mês de novembro até as

[2] Os dados foram analisados numa série histórica que variou de 15 a 29 anos e a para a frequência foram considerados períodos de cinco dias (pêntadas). Para os períodos pentadiais, que totalizam um ano com 72 pêntadas, considerou-se o período entre a 1ª e a 6ª pêntada equivalente ao mês de janeiro, da 7ª a 12ª - fevereiro, da 13ª a 18ª -março, da 19ª a 24ª - abril, da 25ª a 30ª - maio, da 31ª a 36ª - junho, da 37ª a 42ª - julho, da 43ª a 48ª - agosto, da 49ª a 54ª - setembro, da 55ª a 60ª - outubro, da 61ª a 66ª - novembro e da 67ª a 72ª - dezembro.

> primeiras pentadas do mês de janeiro (1ª e 2ª), verificou-se uma oscilação na distribuição frequencial das precipitações, diferente do observado no restante do mês de janeiro ao início da primeira quinzena do mês de fevereiro com distribuição em níveis crescentes, voltando a oscilar ao final do período chuvoso, mas sem falhas [...] (RAMOS, 2002, p.25)

O gráfico a seguir (figura 02) mostra a distribuição anual da precipitação na Estação Fazenda Taquari, situada na área de pesquisa e bastante representativa do Setor Sul propriamente dito, conforme comentado acima.

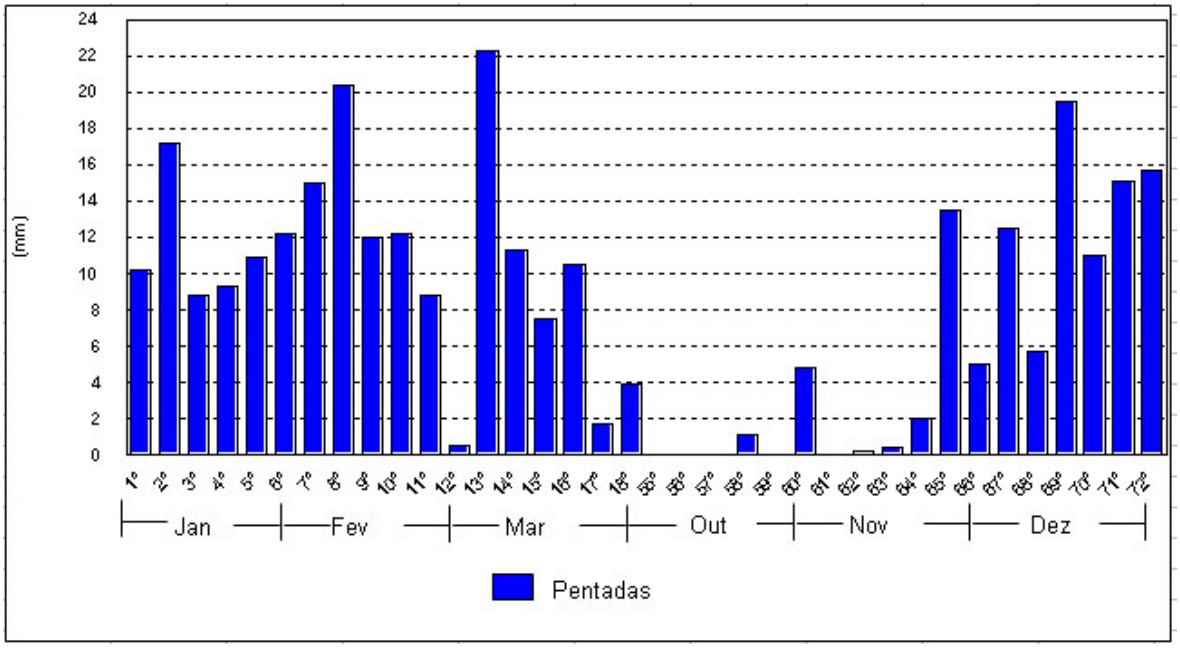


Figura 02: Estação pluviométrica Fazenda Taquari – Análise freqüêncial (80% de ocorrência) por pentadas

Pela análise do gráfico (figura 02), confirmamos a distribuição sazonal das chuvas desse tipo de clima, que são concentradas num período do ano – de outubro a março – com maior volume e distribuição mais uniforme de dezembro a março (verão).

Estes dados são importantes no que se refere à erosão laminar, pois conforme será visto mais adiante, a distribuição temporal das chuvas afeta sobremaneira os processos erosivos. As chuvas concentradas favorecem o aparecimento das erosões, uma vez que o solo se satura mais rapidamente, aumentando consequentemente o escoamento superficial (origem da erosão laminar) e subsuperficial (que dá origem aos pipings, que se associam à

origem das voçorocas) (SALOMÃO, 1999, dentre outros). Nesse caso, as maiores perdas de solo nessa área serão esperadas a partir do mês de dezembro, que é quando a freqüência dessas chuvas aumenta efetivamente.

As médias dos totais pluviométricos para a Bacia do Rio Araguaia apresentadas no trabalho da referida autora variaram de 1458 a 1682mm, valores próximos aos que a autora obteve junto à SIMEGO (Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado de Goiás) para a Bacia do Rio Araguaia, que foi de 1600mm. O mapa com a espacialização das médias do total em cada uma das estações é apresentado a seguir (Figura 03), onde além das seis a autora incluiu ainda a média de mais duas estações, a São Bernardo e a Fazenda Formoso, como apoio ao mapeamento, devido a falta de estações pluviométricas no extremo sul da bacia. Pelo mapa vemos um aumento da pluviosidade no sentido sudoeste-norte/noroeste, indicando os setores mais críticos quando analisadas as erosividades, que serão discutidas mais adiante.

Por último, vamos abordar a intensidade das chuvas que é o fator mais importante ao se determinar a erosividade. Em regiões de clima continental tropical, geralmente as chuvas apresentam intensidade média a alta e são de curta duração. Para a área de estudo, Ramos (2003) calculou a intensidade máxima das chuvas para duas estações que dispunham de dados pluviográficos: Fazenda Alto Araguaia, nas proximidades do setor sul da bacia e a Fazenda Taquari, dentro da área da pesquisa. Os gráficos (Figuras 04 e 05) e a tabela a seguir (Figura 06) mostram intensidades altas de chuva, sendo que nessa estação, entre os anos de 1994 e 1998, mais de 70% das chuvas caídas foram enquadradas pela autora[3] na categoria Forte, com base na classificação de Reichardt (1987)[4], podendo inclusive ultrapassar os 100mm/h.

[3] Parte desses dados foram publicadas por Ramos (2003), tendo a outra parte sido elaborada pela mesma autora e retirada dos arquivos do LABOGEF.

[4] A classificação de Reichardt (1987) estabelece que a intensidade Fraca é de até 2,5mm/h, a Moderada de 2,5 a 7,5mm/h e a Forte acima de 7,5mm/h por episódio chuvoso.

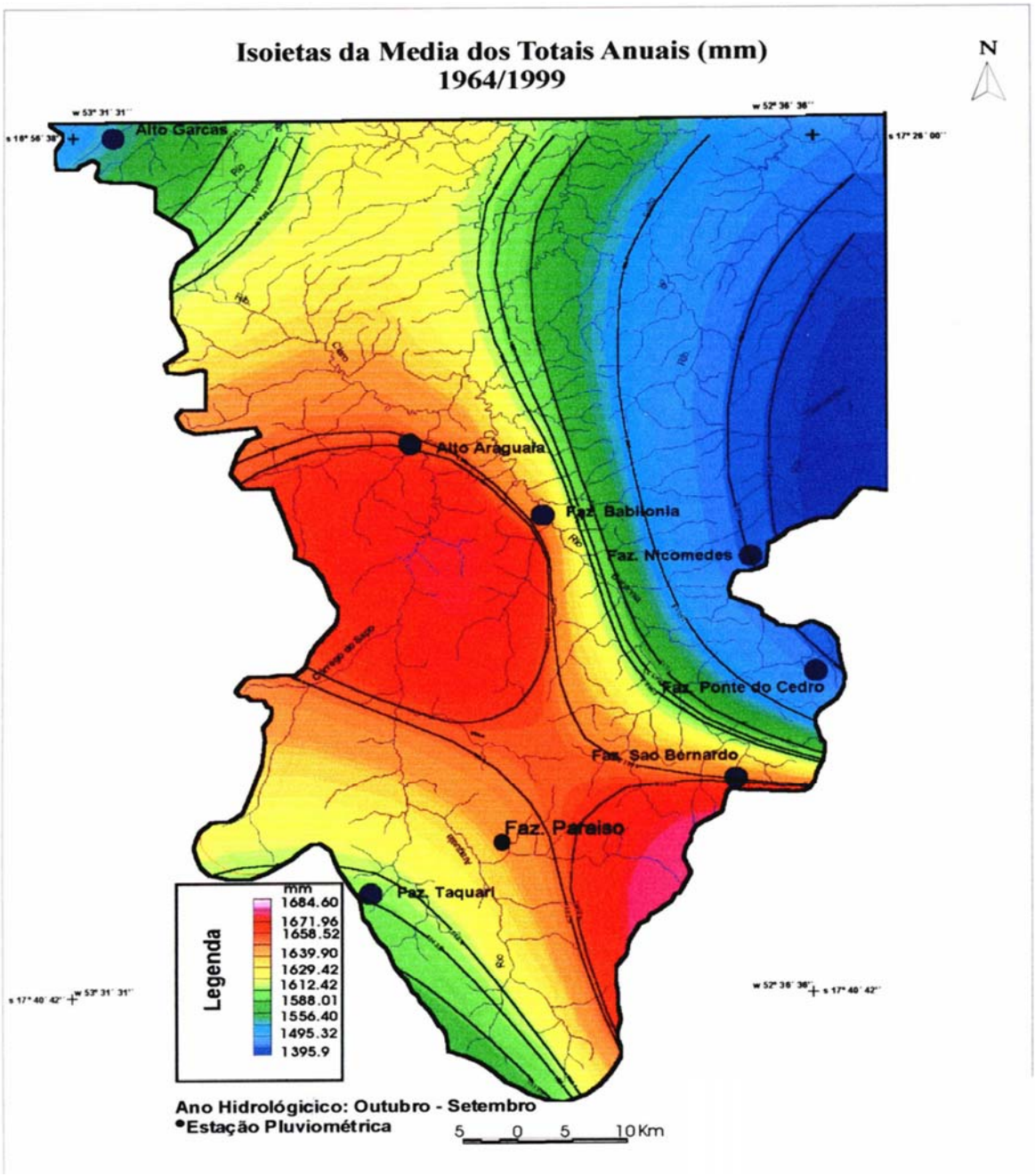


Figura 03: Isoietas da média dos totais anuais

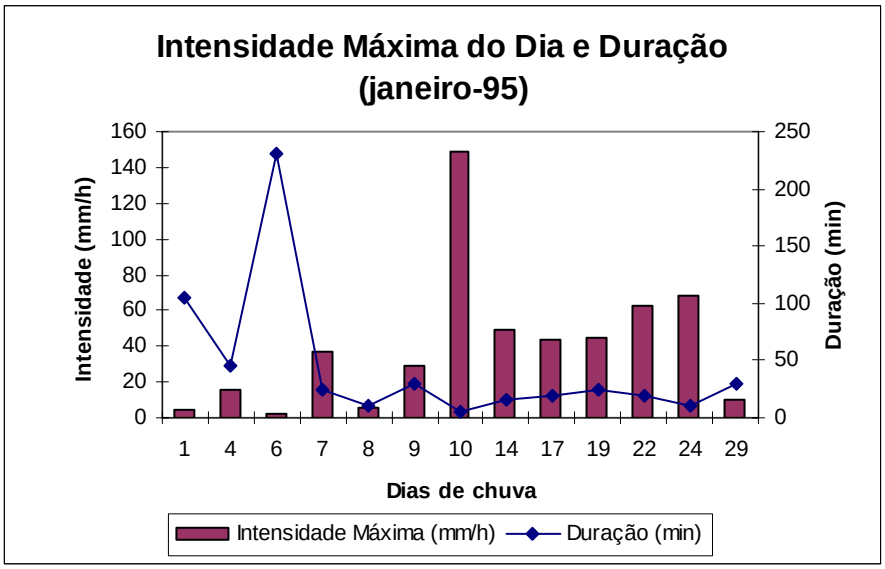


Figura 04: Estação Fazenda Taquari – Intensidade Máxima do dia e duração (janeiro-95)
Fonte: Ramos (2003).

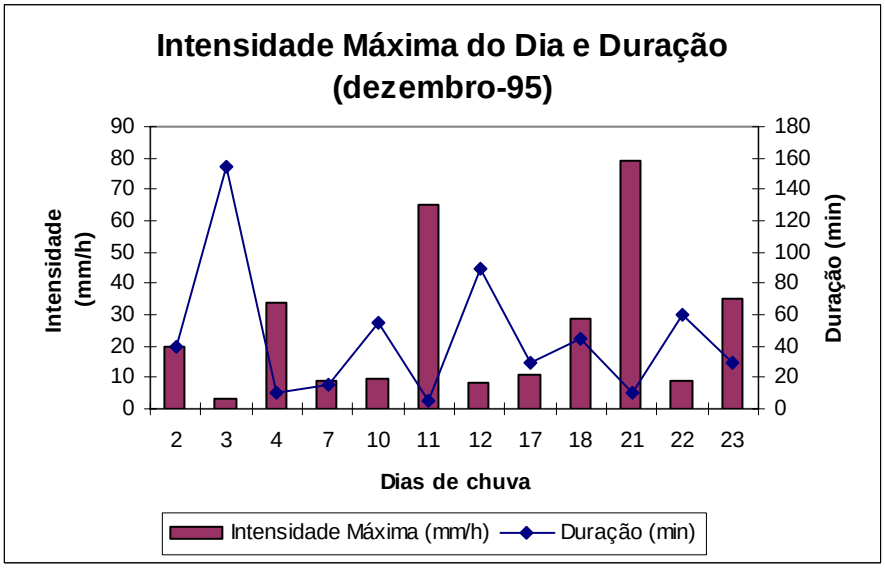


Figura 05: Estação Fazenda Taquari – Intensidade Máxima do dia e duração (dezembro-95)
Fonte: D. R. M. RAMOS (acervo LABOGEF)

A título de ilustração escolhemos o ano de 1995, que foi o que apresentou a maior porcentagem de chuvas intensas, sendo que 81% dessas chuvas foram classificadas como Forte. Pela análise dos gráficos e da tabela apresentados (figuras 04 a 06) vemos que para a Estação Fazenda Taquari, no dia 10 de janeiro constata-se um pico de chuva de 12,4mm em 5 min, o que significa 148,8mm/h, sendo que as demais chuvas nesse ano variaram de 1,7 a 86,4mm/h. No gráfico referente ao mês de dezembro os dias 11 e 21

também apresentaram intensidades altas: 5,4 mm em 5 min., o que representa 64,8 mm/h e 13,2 mm em 10 min., portanto, 79,2 mm/h respectivamente.

Figura 06: Tabela de Intensidade, Duração e Classificação

Estação:	Fazenda Taquari		Ano: 1995						
Mês:	**Jan**				**Mês:**	**Out**			
Dia	C. Parcial (mm)	Intens. (mm/h)	Dur. (min)	Classif.	Dia	C. Parcial (mm)	Intens. (mm/h)	Dur. (min)	Classif.
1	7,2	4,1	105	Moder.	4	5,8	2,9	120	Moder.
4	11,6	15,5	45	Forte	13	3,4	10,2	20	Forte
6	7	1,8	230	Fraca	15	6,2	2,1	180	Fraca
7	15,6	37,4	25	Forte	20	6,8	3,1	130	Moder.
8	1	6	10	Moder.	28	22,8	45,6	30	Forte
9	14,4	28,8	30	Forte	**Mês:**	**Nov**			
10	12,4	**148,8**	5	Forte	Dia	C. Parcial (mm)	Intens. (mm/h)	Dur. (min)	Classif.
14	12,2	48,8	15	Forte					
17	14,4	43,2	20	Forte	12	7,8	7,2	65	Moder.
19	18,4	44,2	25	Forte	14	28,8	69,1	25	Forte
22	20,8	62,4	20	Forte	15	20,8	49,9	25	Forte
24	11,4	68,4	10	Forte	22	9,6	9,6	60	Forte
29	5	10	30	Forte	23	16	64	15	Forte
Mês:	**Fev**				26	10,2	15,3	40	Forte
Dia	C. Parcial (mm)	Intens. (mm/h)	Dur. (min)	Classif.	29	6,6	11,3	35	Forte
1	1,4	1,7	50	Moder.	**Mês:**	**Dez**			
2	5,6	33,6	10	Forte	Dia	C. Parcial (mm)	Intens. (mm/h)	Dur. (min)	Classif.
3	7,2	86,4	5	Forte	2	13,2	19,8	40	Forte
4	15,8	11,9	80	Forte	3	7,4	2,9	155	Moder.
7	16,8	18,3	55	Forte	4	5,6	33,6	10	Forte
8	6	36	10	Forte	7	23	9,2	15	Forte
9	11,4	9,1	75	Forte	10	8,8	9,6	55	Forte
14	7,8	5,2	90	Moder.	11	5,4	64,8	5	Forte
16	10,6	12,7	50	Forte	12	12,2	8,1	90	Forte
17	34	45,3	45	Forte	17	5,4	10,8	30	Forte
20	11	33	20	Forte	18	21,6	28,8	45	Forte
Mês:	**Mar**				21	13,2	79,2	10	Forte
Dia	C. Parcial (mm)	Intens. (mm/h)	Dur. (min)	Classif.	22	8,8	8,8	60	Forte
2	33,6	80,6	25	Forte	23	17,6	35,2	30	Forte
9	8,6	12,9	40	Forte					
13	19	76	15	Forte					
19	7,6	15,2	30	Forte					
30	19,8	59,4	20	Forte					

Fonte: D. R. M. RAMOS (acervo LABOGEF)

Nos gráficos podemos perceber que essas chuvas de maior intensidade correspondem a durações pequenas, de poucos minutos. Devemos tomar cuidado ao analisar esse tipo de dado, uma vez que a chuva efetivamente caída não pode ser confundida com dados de intensidade média, nem de intensidade máxima, pois as médias nos dão um parâmetro de comparação de valores, mas não correspondem necessariamente aos volumes reais precipitados. Sendo assim, voltamos ao exemplo do dia 10/01, que apresentou uma intensidade alta, mas a quantidade de chuva caída realmente foi de apenas 12,4 mm e, embora seja de intensidade forte, o total precipitado não foi realmente de 148,8 mm, porque choveu apenas cinco minutos.

O mais importante é que essas “pancadas de chuva” são extremamente agressivas aos solos, uma vez que a quantidade é alta, e levando-se em consideração o tempo da chuva, é possível e provável que o solo não consiga infiltrar toda essa água, tendo em vista que a capacidade de infiltração dos horizontes superficiais de alguns solos raramente ultrapassa 50 mm/h (BOULET, 2001). Assim, ocorrerão excedentes hídricos, que vão se acumular na superfície do solo e escoar pelo terreno, podendo promover erosão. Essas situações nos gráficos são bem nítidas, sendo que aparece a curva de duração próxima ao eixo x, em contraste com as colunas maiores, indicativas da alta intensidade. Isso é bastante claro, uma vez que à medida que se reduz o intervalo de tempo, a intensidade máxima expressa em uma única unidade constante vai crescendo (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1996). O contrário é recíproco, sendo que onde a linha que marca o tempo aponta uma duração longa da chuva, geralmente as intensidades são baixas, como nos casos bem representativos dos dias 6/01 e 03/12. Há ainda que se lembrar que dias seguidos de chuva podem implicar em saturação do solo.Vale ressaltar que tanto num caso como noutro as chuvas foram de 3 a 6 vezes maiores nesses dias.

Marinho (2003) também trabalhou com dados de chuva nessa região, na Estação Fazenda Paraíso, área piloto de monitoramento situada na área da pesquisa, e apresentou os dados organizados de acordo com as Intensidades Máximas Instantâneas, segundo o tempo em que ocorrem, com vistas a conhecer o potencial erosivo dessas chuvas. As Intensidades Máximas Instantâneas são os momentos de pico mais significativos do episódio chuvoso do ponto de vista de sua energia erosiva, que é assim definida por Custódio e Llamas (1996, p. 301):

> La banda Del pluviógrafo es una curva de lluvia acumulada. De ella se deduce, el total de lluvia recogida y las cantidades recibidas en intervalos

> parciales de tiempo, tan pequeños como se quiera, es decir la intensidad de la lluvia que se expresa en mm/hora. Cuando el intervalo es infinitésimo se tiene intensidad instantánea.

O autor fez uma compartimentação dos valores críticos de pluviosidade baseado nas Intensidades Máximas Instantâneas (Figura 07), com vistas a geração de uma Curva de Intensidade Máxima Instantânea (Figura 08), "que indica os valores críticos de pluviosidade, segundo os intervalos de tempo de sua precipitação" (MARINHO, 2003, p.130).

		Intensidades Máximas Instantâneas (mm/h)							
Ordem de classificação		**Intervalos de tempo (em minutos).**							
		1-2´	**3-5´**	**6-10´**	**11-20´**	**21-30´**	**31-45´**	**46-60´**	**>61´**
Intensidade (mm/h)	1º	276,00	172,00	90,00	57,60	56,00	17,25	11,09	7,95
	2º	258,00	168,00	82,00	50,00	49,00	15,43	10,08	6,90
	3º	255,00	110,00	72,86	46,00	40,50	15,26	9,33	6,38
	4º	252,00	108,00	72,00	45,82	23,22	13,78	7,40	6,14
	5º	252,00	90,00	64,50	45,00	21,25	13,50	6,40	5,49
	6º	246,00	68,00	63,00	40,00	21,12	12,29	6,24	5,39
	7º	240,00	56,40	60,00	38,30	19,33	12,00	4,53	4,48
	8º	219,00	51,00	59,25	37,38	17,38	11,25	3,40	4,36
	9º	204,00	36,00	56,67	36,86	16,80	10,50	3,12	4,09
	10º	180,00	28,80	56,00	34,36	16,00	10,29	3,05	4,05

Figura 07: Estação Fazenda Paraíso – Intensidades Máximas Instantâneas (ago/01 a ago/03).
Fonte: Marinho (2003).

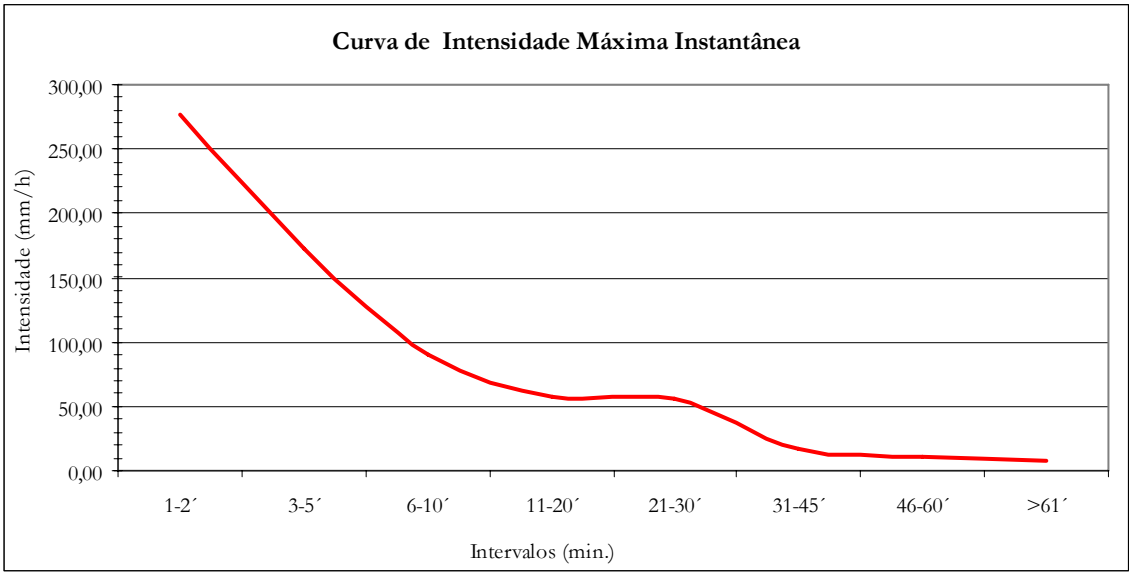


Figura 08: Estação Fazenda Paraíso - Curva de Intensidade Máxima Instantânea (ago/01 a ago/03) Fonte: Marinho (2003).

A tabela apresentada (Figura 07) foi a que deu origem à curva de intensidade máxima instantânea, sendo que no gráfico (Figura 08) o autor chama a atenção para a forma côncava da linha no intervalo de 21 a 30 min. como aquele em que as intensidades não são necessariamente as maiores no conjunto das médias, porém são as que apresentam a maior freqüência quanto à duração e o total precipitado de fato. Este foi assim, considerado como o intervalo de maior possibilidade de exceder a capacidade de infiltração do solo. Isso se dá pelo fato deste intervalo apresentar um tempo relativamente longo no qual a precipitação é alta (50 mm/h).

Convém lembrar que para a capacidade de infiltração conhecida para os solos arenosos finos na área (BOULET, 2001), precipitações superiores a 50mm/h são críticas para o desencadeamento ou intensificação da erosão linear, sendo que para a erosão laminar esse valor pode ser considerado crítico também, pois se vai haver excedente hídrico e conseqüentemente escoamento superficial, terra estará sendo levada morro abaixo.

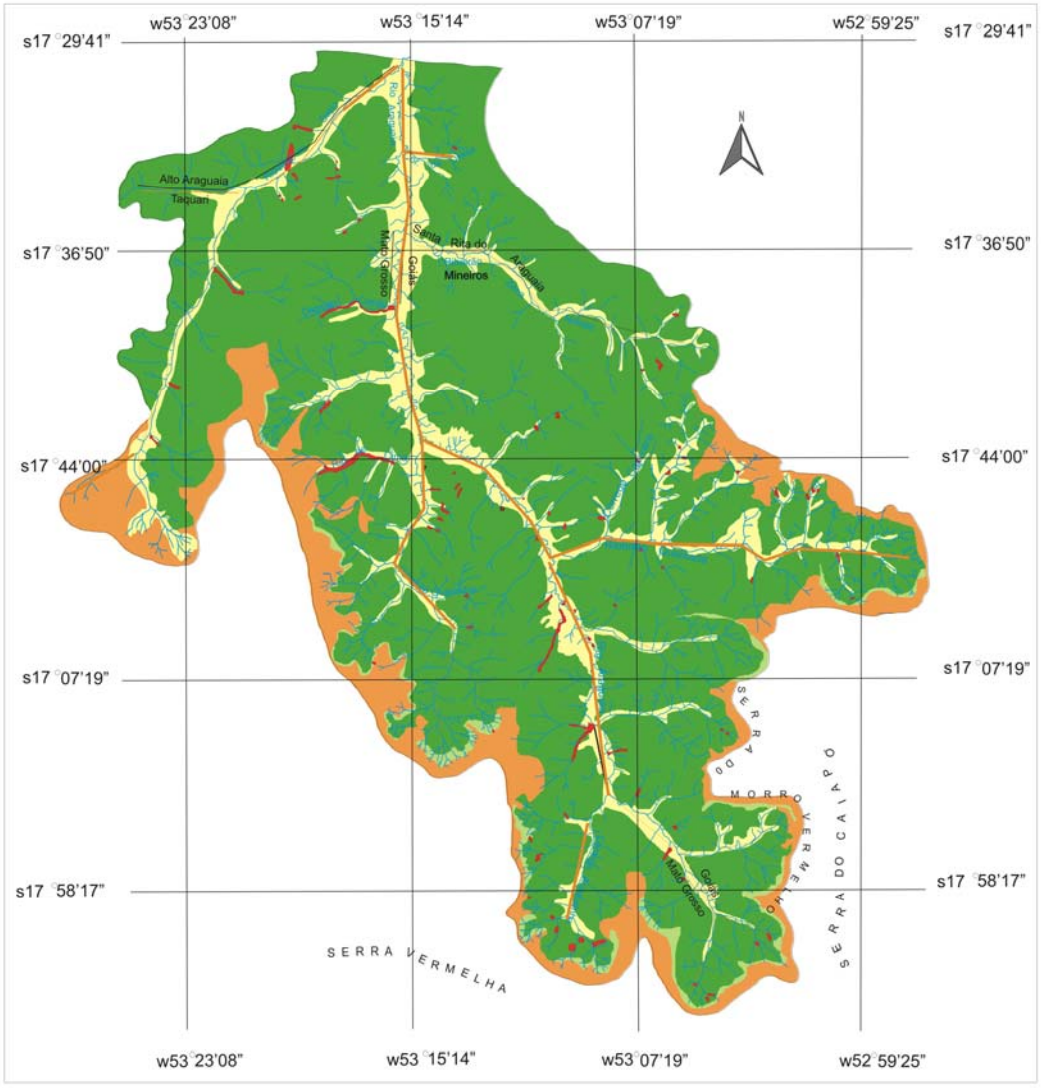
2.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS E PEDOLÓGICOS DA ÁREA DA PESQUISA

Para iniciar, uma breve observação no mapa geológico (Figura 09) permite perceber que o principal eixo de drenagem na área da pesquisa – Rio Araguaia – está condicionado por falhamento, e os demais por lineamentos estruturais, como havia sido apontado por Sousa Júnior et al. (1983) e por prováveis controles litoestruturais, como ressaltou Martins (2000) e mais recentemente Rezende (2003). Este autor demonstrou que a evolução de uma voçoroca estudada obedece a lineamentos do substrato arenítico na área aqui estudada.

A maior parte da área da pesquisa (cerca de 74%) assenta-se sobre rochas da Era Mesozóica, do intervalo Jurocretáceo, na maioria pertencentes ao Grupo São Bento, Formação Botucatu (Figuras 09 e 10), cuja litologia, segundo Souza Júnior et al. (1983, p.30) é constituída por “arenitos róseos a avermelhados, finos a muito finos, bem selecionados, eólicos, com estratificações cruzadas de pequeno porte a grande porte, comumente silicificados”. Os vários trabalhos citados no Relatório RADAMBRASIL

GEOLOGIA

ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA



2,7 0 2,7 5,4 8,1 10,8 Km

Escala 1/90000

Legenda

- Sedimentos inconsolidados, em planície e/ou terraços fluviais (cascalhos,areias e siltes) - Terço-Quaternários
- Coberturas Terço-Quaternárias
- Derrames basalticos toelíticos - Juracretáceo
- Arenitos róseos a avermelhados finos a muito finos eólicos - Juracretáceo
- Falhas Discriminadas
- Falhas Inferidas

Convenções Cartográficas

- Cursos d'água
- Erosão
- Limite Estadual
- Limite Municipal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOGRAFIA FÍSICA
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO
APOIO: CONCITEG/GO e CNPq
Interpretação e Organização : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Coordenação: Selma Simões de Castro
Fonte: Fotografias aéreas USAF - 1966 - escala 1/60.000.
Folhas Topográficas: SE.22-V-C-V, SE.22-Y-A-II e SE.22-V-C-VI
Imagem de Satélite Landsat ETM + 7 - Bandas RGB/543,1999

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

TAQUARI SE-22-V-C-V	MINEIROS SE-22-V-C-VI
BAÚS SE-22-Y-A-II	

LOCALIZAÇÃO DAS FOLHAS NOS ESTADOS

FIGURA 09 - GEOLOGIA

(1983) relacionam a origem desses sedimentos a um ambiente desértico do Período Triássico, decorrente de um clima árido, caracterizados por depósitos em forma de dunas de areia fina, sujeitos periodicamente a intrusões extensas de lavas basálticas, do mesmo grupo mas da Formação Serra Geral. A Formação Botucatu aflora nas escarpas da Chapada que contorna a área e domina a zona rebaixada que a circunda. A Formação Serra Geral situa-se principalmente nas escarpas. As Coberturas Terciário-Quaternárias recobrem os topos da chapada e são constituídas por materiais argilosos ricos em ferro (couraças). Os Sedimentos Inconsolidados referem-se aos depósitos recentes (holocênicos) aluviais o alúvio-colúviais que acompanham os canais fluviais.

A distribuição dessas formações encontra-se na figura 09, que estabelece uma relação (quanto a distribuição espacial) aproximada entre os três aspectos tratados nesse sub-item, a saber: geologia, geomorfologia e pedologia. Cabe ressaltar que o quadro é apenas uma aproximação, uma vez que esses limites não são rígidos.

Quadro comparativo das áreas (aproximação) quanto à geologia, geomorfologia e solos							
Geologia	**Área (%)**	**Geomorfologia**	**Área (%)**	**Solos**	**Área (%)**	**Altitude (m)**	**Declividade %**
Formação Botucatu	73,54	Formas de dissecação	68,93	RQ	57,91	725-825	3 a 12
				LVA	15,04	775-825	3 a 6
				PVA	0,23	725-775	0 a 12
Formação Serra Geral	1,76			RL	1,66	825-875	20 a 45
Sedimentos Inconsolidados	12,96	Formas de acumulação	13,31	RQg	13,32	675-725	0 a 3
Coberturas Terciárias-Quaternárias	11,74	Superfícies pediplanadas	17,76	LV	11,83	> 825	0 a 3

Figura 10: Quadro comparativo de áreas

O relevo que se desenvolve sobre o substrato arenítico apresenta formas de dissecação convexas e tabulares (Figura 11) com altitudes que variam entre 725 a 825m, (ou até 875m e for considerar pequenas manchas dentro da área maior), correspondente à zona rebaixada. A declividade varia de 3 a 12% (Figuras 12 e 13)

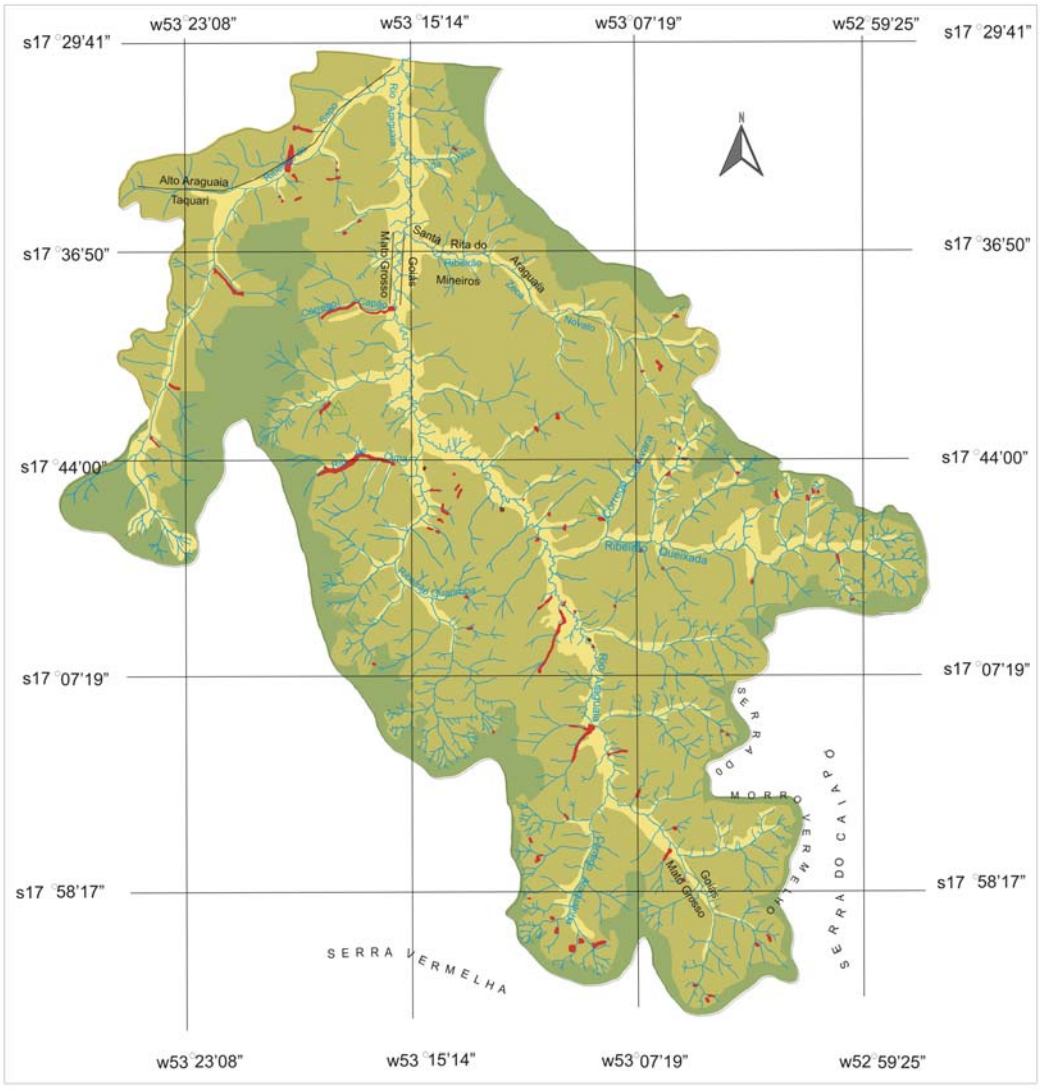
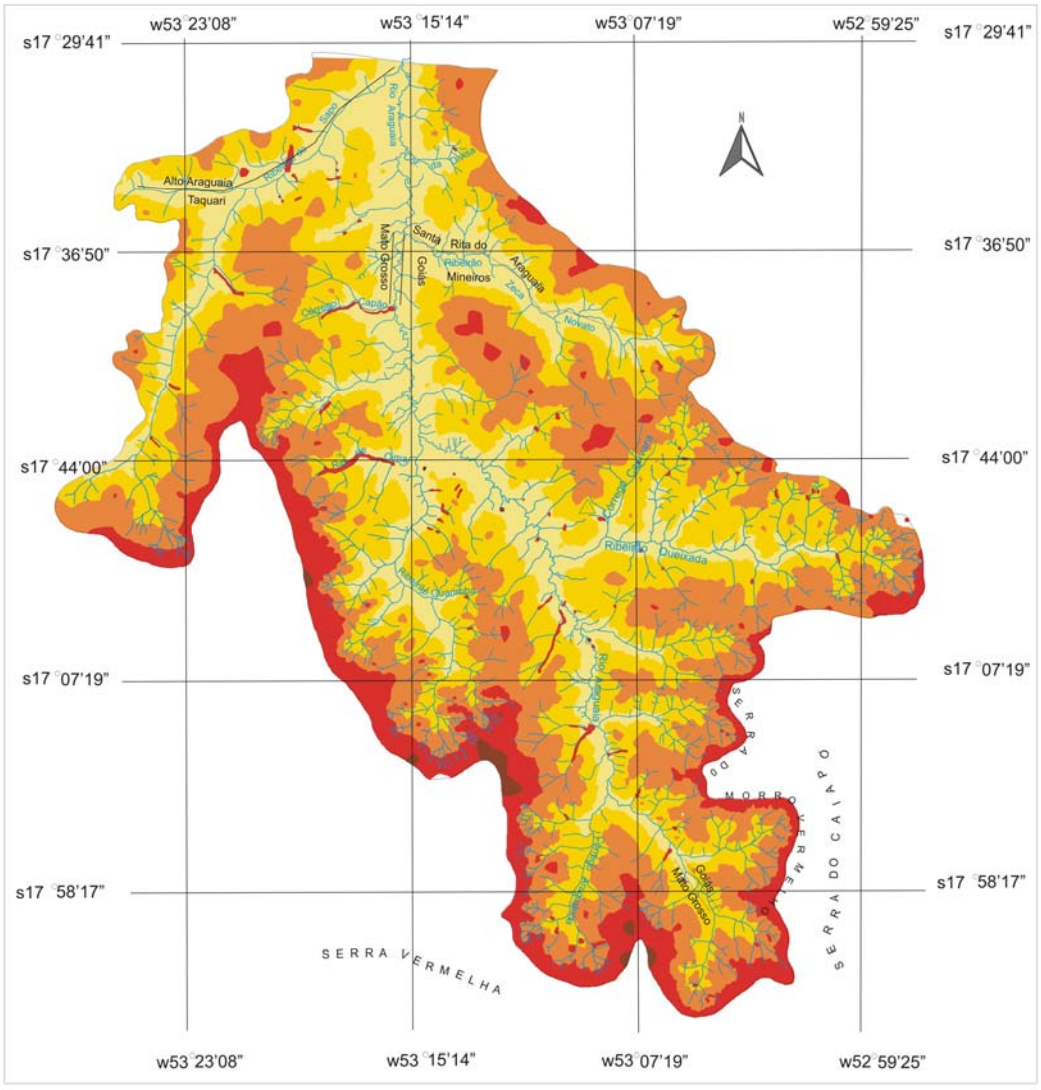


FIGURA 11 - GEOMORFOLOGIA

HIPSOMETRIA

ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA



Legenda

- Fundo de Vale (675 -725m)
- Topos Convexos (725 -775m)
- Topos Tabulares (775-825m)
- Superfície Tabular/Escarpa Erosiva (825-875m)
- Superfície de Cimeira Tabular (875-925m)

Convenções Cartográficas

- Cursos d'água
- Erosão
- Limite Estadual
- Limite Municipal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOGRAFIA FÍSICA
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO
APOIO: CONCITEG/GO e CNPq
Organização : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Coordenação: Dra. Selma Simões de Castro
Fonte: Robson R. Santos - base topográfica elaborada a partir da interpolação das curvas com fotografias aéreas da USAF - 1966 - escala 1/60.000 ajustada sobre as folhas topográficas -I IBGE, escala 1/100.000 SE.22-V-C-V, SE.22-V-C-IV e SE.22-Y-A-II

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

TAQUARÍ SE-22-V-C-V	MINEIROS SE-22-V-C-VI
BAÚS SE-22-Y-A-II	

LOCALIZAÇÃO DAS FOLHAS NOS ESTADOS

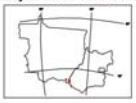
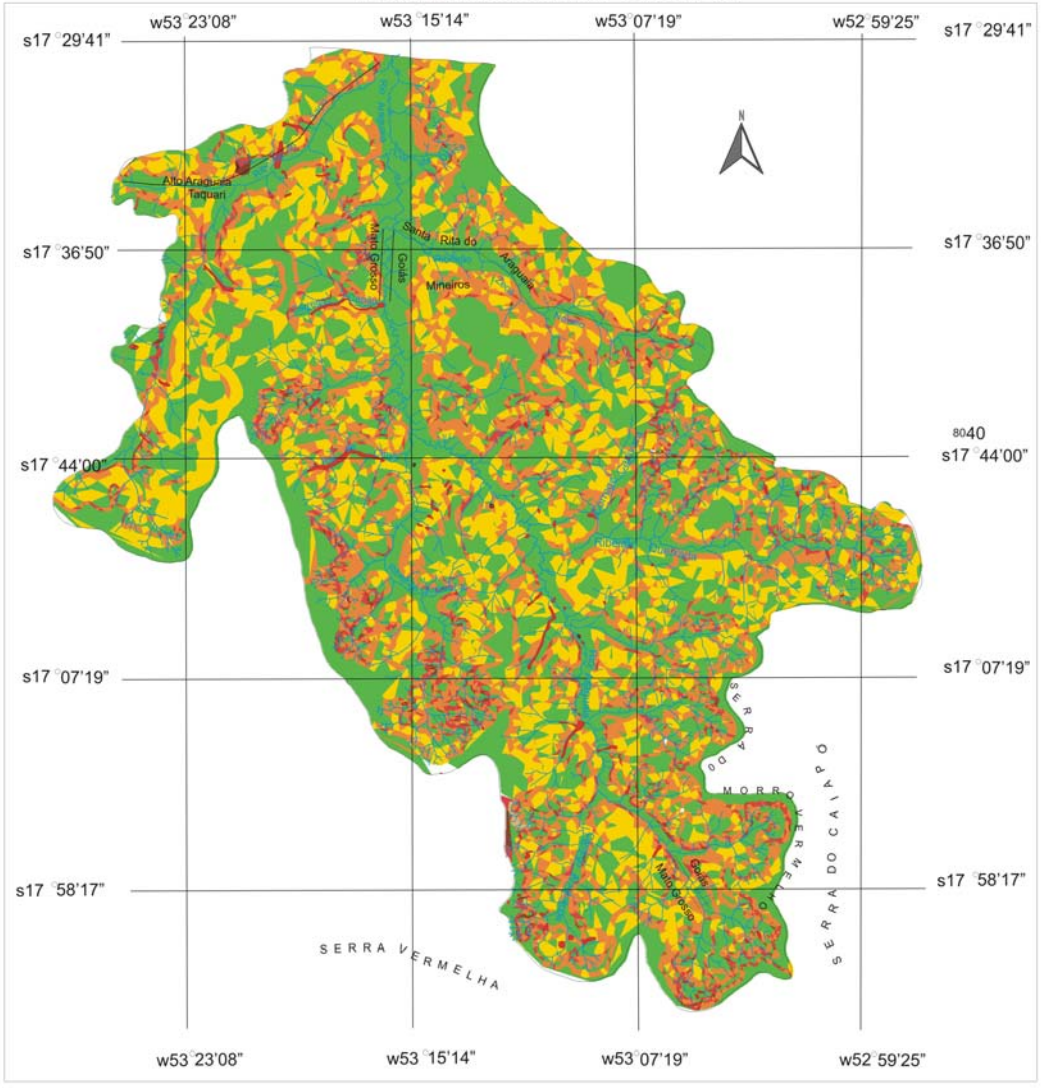


FIGURA 12 - HIPSOMETRIA



Legenda

Classes em (%)

- 0 - 3
- 3 - 6
- 6 -12
- 12 - 20
- 20 - 45

Convenções Cartográficas

- Cursos d'água
- Erosão
- Limite Estadual
- Limite Municipal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOGRAFIA FÍSICA
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO
APOIO: CONCITEG/GO e CNPq

Elaboração e organização : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Coordenação : Dra. Selma Simões de Castro

Fonte : Robson R. Santos - base topográfica elaborada a partir da interpolação das curvas com fotografias aéreas da USAF-1966 - escala 1/60.000 ajustadas sobre as Folhas Topográficas - IBGE, escala 1/100.000 - SE.22-V-C-V, SE.22-Y-A-II e SE.22-V-C-VI

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

TAQUARÍ SE-22-V-C-V	MINEIROS SE-22-V-C-VI
BAÚS SE-22-Y-A-II	

LOCALIZAÇÃO DAS FOLHAS NOS ESTADOS

FIGURA 13 - CLINOGRAFIA

“Outro caráter bastante peculiar a estes sedimentos é o seu caráter friável, causa essencial no desenvolvimento de um espesso e extenso solo arenoso resultante da desintegração dos litótipos característicos da seqüência em foco” (SOUZA JÚNIOR. et al, 1983, p.211).Conseqüentemente, o tipo de solo originado dessa litologia é bastante friável e pouco ou não coeso, o que facilita o aparecimento de erosões quando expostos, isto é, quando desmatados e submetidos a usos intensivos sem a adoção de práticas conservacionistas. Desta forma, na área da pesquisa aparecem, portanto, associados à Formação Botucatu, os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Álicos (anteriormente denominados Areias Quartzosas) que são predominantes na área (Figura 14). De acordo com Novaes et al. (1983) estes são solos minerais, de textura arenosa, muito profundos, excessivamente drenados e formados por material arenoso. Possuem alumínio trocável alto e nocivo para a maioria das culturas, variando de fortemente a moderadamente ácidos. Além disso, conforme lembrado por Carvalho e Podestá Filho (1989) o fato de estes solos serem excessivamente drenados, com alta lixiviação e baixa retenção de umidade, faz com que eles tenham uma forte limitação agrícola.

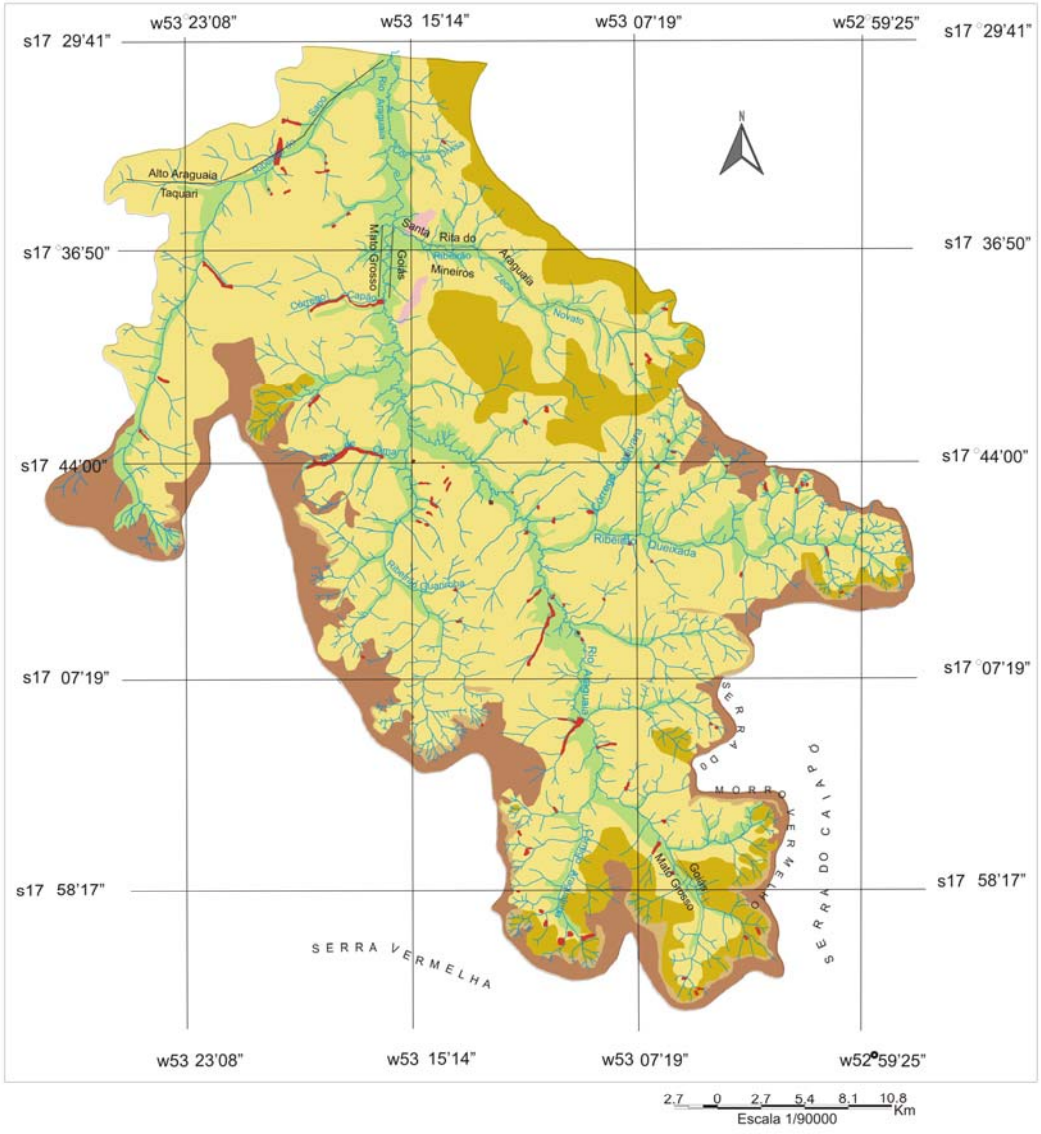
Conforme ressaltado pela EMBRAPA (1999, p.226) os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS apresentam

> [...] seqüência de horizontes A-C sem contato lítico dentro dos 50cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo, ou até um contato lítico; essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia a opala[...].

Ao mesmo tempo em que estes solos favorecem a infiltração das águas pluviais, por terem uma alta permeabilidade, apresentam, entrertanto, alta erodibilidade, devido ao seu elevado teor de areia, sobretudo fina e sem ou com baixa presença de argilas e/ou matéria orgânica, importantes fatores de agregação dos solos, apresentando portanto baixo grau de coesão. Poesen (1981) apud Guerra (1998) confirmou que as areias apresentam os maiores índices de erodibilidade, devido à falta de coesão do solo, o que favorece a remoção de suas partículas, sobretudo quando desprovidos de cobertura vegetal.

SOLOS

ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA



Legenda

- Neossolos Quatzarênicos álicos
- Neossolos (Cambissolos e Litólicos)distóficos textura média
- Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos álicos e Gleissolos Húmicos distróficos Tb terxtura argilosa
- Argissolos Vermelho - Amarelo distrófico e álico
- Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média
- Latossolo Vermelho-Escuro distrófico e álico textura argilosa

Convenções Cartográficas

- Cursos d'água
- Erosão
- Limite Estadual
- Limite Municipal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOGRAFIA FÍSICA
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO
APOIO: CONCITEG/GO e CNPq
Interpretação e Organização : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Coordenação: Dra. Selma Simões de Castro
Fonte: Fotografias aéreas USAF - 1966 - escala 1/60.000.
Folhas Topográficas: SE.22-V-C-V, SE.22-Y-A-II e SE.22-V-C-VI
Imagem de Satélite Landsat 7 ETM + - Bandas RGB/543, 1999

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

TAQUARI SE-22-V-C-V	MINEIROS SE-22-V-C-VI
BAÚS SE-22-Y-A-II	

LOCALIZAÇÃO DAS FOLHAS NOS ESTADOS

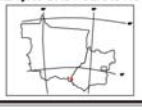


FIGURA 14 - SOLOS

Cabe ressaltar que, de acordo com a nova classificação proposta pela EMBRAPA (1999), a nova classe dos NEOSSOLOS foi estabelecida incluindo os solos que foram reconhecidos pela Embrapa como: Litossolos e Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas (Distróficas, Marinhas e Hidromórficas). A classe dos NEOSSOLOS no primeiro nível categórico proposto foi assim definida:

> compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em conseqüência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução destes solos (EMBRAPA, 1999, p.94)

Outras rochas que ocorrem mais restritamente são as do Grupo São Bento – Formação Serra Geral, que ocupam apenas 1,76% da área e são relacionadas com os derrames basálticos toleíticos, com aspecto maciço, de espessuras variáveis, com intercalações lenticulares e diques de arenitos. Litologicamente, as exposições dos derrames basálticos mostram rochas de cores escuras a cinza-escuro e de granulação fina a média (SOUZA JÚNIOR et al., 1983). Caracterizam o compartimento morfopedológico de borda escarpada de relevo tabuliforme, correspondente à superfície cimeira regional (Chapadas).

O contato entre a Formação Botucatu e Serra Geral na zona escarpada se destaca “[...] quando os basaltos estão expostos e superiormente estão capeando os sedimentos Botucatu, constituindo-se também no sustentáculo da topografia dos chapadões, serras e morros testemunhos, edificando-se verdadeiras cuestas” (FARIA, 2001, p.49). Barbalho (2002, p.83) aponta também que “na borda do Chapadão de Alto Taquari e Serra Vermelha, visualizam-se contatos discordantes entre essas duas unidades supracitadas”. No aspecto geomorfológico, esta área apresenta formas erosivas de superfície pediplanada, cuja cota altimétrica varia de 825 a 925 m.

Nesta área desenvolvem-se os NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos de textura média. Os solos litólicos segundo Carvalho e Podestá Filho (1989, p.100)

> são solos pouco desenvolvidos, com horizonte A diretamente assente sobre a rocha ou seqüência ACR, tendo profundidade igual ou inferior a 50 centímetros [...]. Predominantemente são encontrados em relevo forte ondulado a escarpado, nas regiões de serras e bordas de planaltos. São solos fortemente suscetíveis aos processos erosivos, em virtude de sua

> reduzida profundidade efetiva e da forma de relevo das áreas em que ocorrem.

Barbalho (2002) ressalta que na área escarpada este tipo de solo (NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico) ocorre em cotas entre 825-875m, com declividades acima de 20% e costuma ser suscetível à erosão, por força do declive, de seu baixo grau de desenvolvimento e a pouca espessura (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

Próximo à borda da Chapada, nos divisores de águas da bacia, ocorrem ainda Coberturas Detrito-Lateríticas Terciárias e Quaternárias Indiferenciadas, que se estendem na parte sul da bacia, de leste a oeste, em altitudes acima de 800m em terrenos com declividade de 0 a 3%, correspondentes aos topos das Chapadas. Sobre essa superfície pediplanada e tabuliforme ocorrem o que antes denominávamos Latossolos Vermelho-Escuros álicos e distróficos, que segundo a nova classificação da EMBRAPA (1999) fazem parte da ordem LATOSSOLO, subgrupo LATOSSOLO VERMELHO. Os Latossolos são solos profundos a muito profundos, bem a excessivamente drenados, bastante porosos, com pouca diferenciação entre os horizontes, sendo "constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200cm da superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresenta mais que 150cm de espessura" (EMBRAPA, 1999, p.197). Pode-se dizer ainda que são solos bastante envelhecidos, estáveis e intemperizados, onde os teores de óxido de ferro e alumínio costumam ser elevados (LEPSCH, 1993). O LATOSSOLO VERMELHO apresenta matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA), textura média ou argilosa e se situa geralmente em relevo com baixa declividade (0 a 3%) e antes correspondia ao Latossolo Vermelho-Escuro.

Um outro tipo de LATOSSOLO presente na área de estudo é o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. De acordo com Novaes et al. (1983, p.435) estes são muito parecidos com os LATOSSOLOS VERMELHOS (no caso os ex-Latossolos Vermelho-Escuros) nas características físicas, químicas, morfológicas e viabilidade de uso agropecuário, ocorrendo inclusive fisiograficamente associados aos anteriores, diferindo deles sobretudo pela coloração e os teores mais baixos de Fe_2O_3. Pela classificação da EMBRAPA (1999) estes solos apresentam matiz 5YR ou mais vermelhos e mais amarelos que 2,5YR na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Na área da pesquisa, Barbalho (2002, p.92) aponta que estes solos

> [...] encontram-se nas áreas de topo tabular (cotas entre 775-825) no extremo sul e ao norte da área, apresentando baixa declividade, entre 3 a 6%, apresentam textura média a arenosa e passam lateralmente aos Neossolos Quartzarênicos. Podem situar-se também nas bordas da Chapada. As características morfológicas e físicas desses solos permitem inferir que em relação às águas pluviais elas tendem à infiltração. Dessa forma, espera-se poucas possibilidades de escoamento superficial e subsuperficial. Entretanto, estes solos são menos coesos do que os anteriores pelos menores teores de ferro, e permitem remoção das partículas por escoamento das águas pluviais.

Devido ao fato dos LATOSSOLOS se desenvolverem sobretudo em superfícies com baixa declividade e serem porosos e homogêneos, a infiltração da água da chuva é facilitada, diminuindo o escoamento superficial, conferindo-lhes baixa ou nula erodibilidade e boa estabilidade. O tipo de uso do solo, e principalmente de manejo, entretanto, pode fazer com que esse escoamento seja potencializado como, por exemplo, no caso dos solos estarem compactados pelo uso agropecuário, devido ao desequilíbrio da relação entre infiltração e escoamento superficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993; LEPSCH, 1993).

Por último vamos tratar das cotas inferiores (entre 675 e 725 m), nos chamados fundos de vale, onde ocorrem os sedimentos inconsolidados, em planície e/ou terraços fluviais, também conhecidos como Aluviões Holocênicos, associados às formas de acumulação (Figura 09). Sobre essa litologia, nas planícies aluviais (fundo de vale do Araguaia e seus afluentes), se desenvolveram os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórficos (antes denominados Areias Quartzosas Hidromórficas) (Figura 14).

> Esta classe compreende solos hidromórficos minerais, areno-quartzosos, pouco desenvolvidos, imperfeitamente ou mal drenados, que possuem na fração areia mais de 95% de quartzo [...]. Diferem das Areias Quartzosas [hoje NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS] por ter o lençol freático próximo à superfície, durante algum período do ano ou presença de hidromorfismo ao longo do perfil, como mosqueados e indícios de gleização (Novaes et al. 1983, p.472)

Nos fundos de vale ocorrem ainda os GLEISSOLOS HÁPLICOS Distróficos. Os GLEISSOLOS compreendem

> a classe de solos hidromórficos constituídos por material mineral, que apresentam um horizonte glei dentro dos primeiros 50cm da superfície do solo, ou a profundidades entre 50 e 125cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E [...]. São permanente ou periodicamente

> saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água de saturação ou permanece estagnada internamente, ou a saturação ocorre por fluxo lateral no solo (EMBRAPA, 1999, p.89).

Na área da pesquisa aparece ainda um tipo de solo que tem uma ocorrência apenas pontual, localizado em pequenas manchas ao norte da bacia, que são os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS (ex-podzólicos). Estes são, em linhas gerais, solos constituídos por material mineral que tem como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt). Pela diferença morfológica e constitucional entre os horizontes desses solos, eles costumam ser suscetíveis à erosão, sobretudo linear, por facilitarem a formação de lençol suspenso logo acima do horizonte Bt (SALOMÃO, 1999).

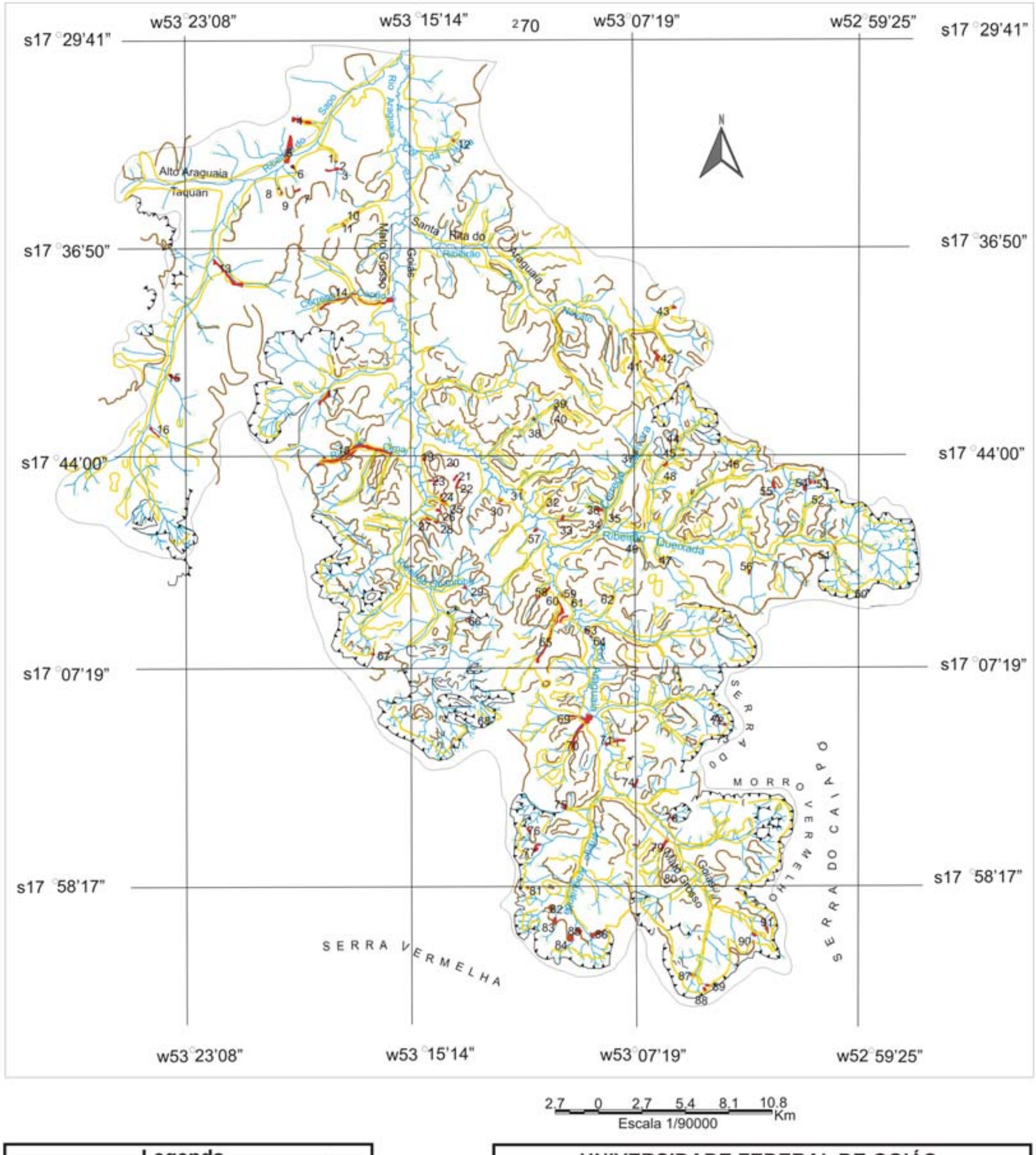
Cabe ainda ressaltar um outro aspecto importante a ser observado, que é a carta de declividade da área (Figura 13), já que o fator declividade é de suma importância na análise dos processos erosivos laminares, uma vez que quanto maior for a declividade, em princípio maior será a suscetibilidade erosiva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993). A área de estudo apresenta em geral declividades baixas, com classes, sobretudo, de 0 a 3% e 3 a 6% nos fundos de vale e nas superfícies tabulares de cimeira e também nos topos convexos dos interflúvios rebaixados de seu entorno. A classe de 0 a 3% corresponde a áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial costuma ser lento e a classe de 3 a 6% apresenta declives suaves, onde o escoamento superficial pode variar de lento a médio. Nas bordas escarpadas que marcam o limite entre a superfície de cimeira tabular, representada principalmente pela Serra do Caiapó, e as formas de dissecação situadas em cotas mais baixas, na zona rebaixada, a declividade varia de 12 a 20% e localmente >20%, junto às bordas de relevos tabulares isolados, do tipo morro-testemunho ou nas transições ligeiramente mais suavizadas do topo para a zona escarpada. Nestas classes o escoamento superficial costuma ser mais rápido e é nas escarpas justamente onde se encontra a maior densidade de drenagem, revelando processo de dissecação intensa, marcada por numerosos sulcos e ravinas, além de movimentos de massa (deslizamentos, desmoronamentos, etc).

A rede de drenagem, conforme constatado por Barbalho (2002, p.88) com base no esboço morfológico da área (Figura 15), mostra “amplos interflúvios na zona rebaixada, com baixa densidade de drenagem, conformando colinas amplas, exceto próximo às escarpas, onde conformam colinas médias e pequenas e onde a densidade de drenagem é

maior”. Os padrões são em geral dendríticos, o que significa que o relevo estaria sendo dissecado em múltiplas direções, mas a baixa densidade indicaria pouca energia desse processo, o que reforça a idéia de que os processos erosivos lineares na área estariam acelerados.

Em síntese, os quatro compartimentos geomórficos presentes na área (topo de Chapada, Escarpa, Zona Rebaixada e Fundos de Vale principais) apresentam correspondência clara com o substrato geológico e solos. A zona rebaixada é a mais expressiva em área, apresenta substrato arenítico (Formação Botucatu) e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS dominantes. É nela e nas proximidades dos Fundos de Vale que aí se situam que os processos erosivos se instalaram, fundamentalmente crescentes em número e em dimensões a partir do final da década de 1970 e sobretudo desde o início da década seguinte, quando o desmatamento foi notável e seguido pela implementação das atividades agropecuárias, como exposto. Os solos arenosos de textura fina aí presentes, apesar de apresentarem boas condições de infiltração, apresentam coesão baixa ou nula, mas estavam em equilíbrio antes do desmatamento. Com este, intenso e rápido, o desequilíbrio geoecohidrológico se instalou e uma das conseqüências mais notáveis desse processo foi a erosão.

ESBOÇO MORFOLÓGICO
ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA



Legenda

- Cabeceiras de Drenagem
- Ruptura Côncava
- Ruptura Convexa
- Escarpa

Convenções Cartográficas

- Cursos d'água
- Erosão (1,2,3)
- Limite Estadual
- Limite Municipal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOGRAFIA FÍSICA
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO
APOIO: CONCITEG/GO e CNPq
Interpretação : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Alfredo B. Campos
Organização : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Coordenação: Dra. Selma Simões de Castro
Fonte: Fotografias aéreas USAF - 1966 - escala 1/60.000.
Folhas Topográficas: SE.22-V-C-V, SE.22-Y-A-II e SE.22-V-C-VI
Imagem de Satélite Landsat 7 ETM+7 - Bandas RGB/543, 1999.

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

TAQUARÍ SE-22-V-C-V	MINEIROS SE-22-V-C-VI
BAÚS SE-22-Y-A-II	

LOCALIZAÇÃO DAS FOLHAS NOS ESTADOS

FIGURA 15 - ESBOÇO MORFOLÓGICO

2.3. CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS

A classificação da capacidade de uso das terras, conforme lembram Bertoni e Lombardi Neto (1993) visa estabelecer bases para seu melhor aproveitamento, envolvendo a avaliação das necessidades para os vários usos e manejos que possam ser implementados numa determinada área. As principais características condicionadoras da capacidade de uso, segundo os autores, são: o solo, a declividade do terreno, a erosão e o uso atual das terras. As classes de capacidade de uso são indicadoras das suscetibilidades dos solos ao manejo agropecuário e florestal (LEPSCH, 1991). Como os fatores ou condicionantes para determinar as classes de capacidade de uso são empregados também na USLE e RUSLE, sua delimitação auxilia a compreender as suscetibilidades naturais à erosão, dentre outros aspectos dos solos quanto ao seu potencial de uso.

Barbalho (2002) apresentou a classificação das terras na Alta Bacia do rio Araguaia baseada no Sistema de Capacidade de Uso, seguindo proposta de Lepsch (1991) conforme pode ser observado na Figura 16. Os grupos de capacidade (A-B-C) foram estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras e as classes de capacidade de uso (I a VIII) são baseadas no grau de limitação ao uso, conforme recomenda a metodologia. As letras minúsculas são as subclasses de capacidade, definidas a partir da natureza da limitação do uso (**e** = erosão, **s** = solo, **a** = água e **c** = clima).

A autora verificou, conforme cálculo de áreas (Figura 17), que "predomina na Alta Bacia do Rio Araguaia, o grupo C – Classe VIIIes que são áreas [que deveriam estar] destinadas à proteção ambiental (48,53%), uma vez que apresentam sérias limitações ao uso, principalmente, no que se refere ao solo" (BARBALHO, 2002, p.97). Além do solo (na maior parte NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS), como citado pela autora, essa classe compreende também as áreas escarpadas, com fortes declividades, além de grande parte das áreas de cabeceiras de drenagem, ambas devendo ser preservadas, de acordo com a legislação ambiental (CÓDIGO FLORESTAL, 1965; LEI FLORESTAL DO ESTADO DE GOIÁS, 1995).

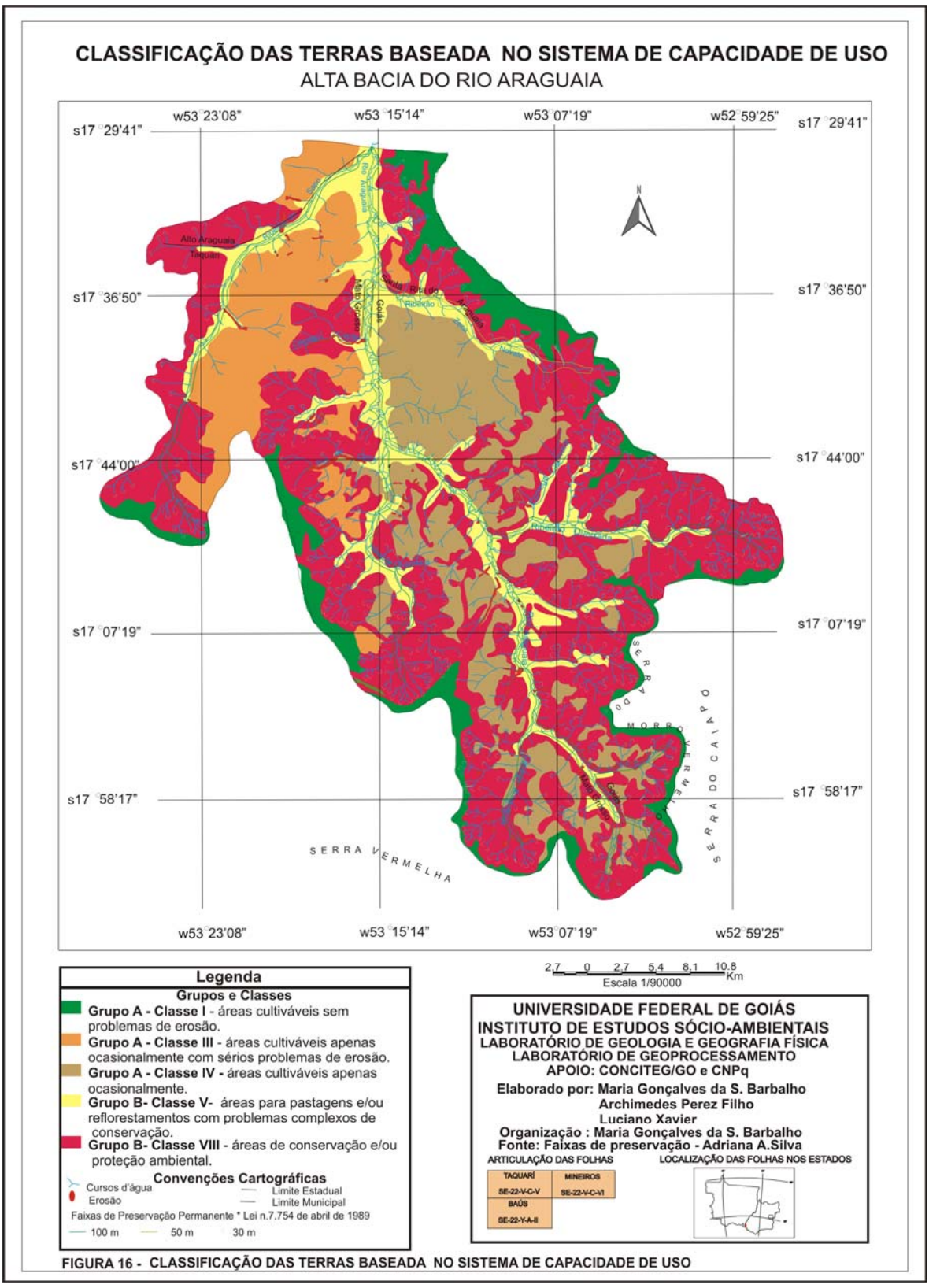


FIGURA 16 - CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS BASEADA NO SISTEMA DE CAPACIDADE DE USO

		Classes	Especificação	ÁREA (KM^2)	ÁREA (%)	Características que apresentam na área da pesquisa
Grupo A	Terras aptas a cultivos intensivos anuais, culturas perenes, pastagens e reflorestamentos.	Classe I	Terras cultiváveis sem problemas de erosão	132,8	8,75	Localizada nas áreas de chapada, onde predominam os Latossolos
		Classe IIIs	Terras cultiváveis apenas ocasionalmente com sérios problemas de erosão (pastagens)	181,2	11,94	Ambas localizadas mais no interior da bacia, e apresentam como principal fator limitante, o solo: Neossolo Quartzarênico
		Classe IVs	Terras cultiváveis apenas ocasionalmente	274,7	18,10	
Grupo B	Terras impróprias para cultivos, mas aptas para pastagens	Classe Va	Pastagens e alguns casos de reflorestamentos. Sem problemas de erosão	192,5	12,68	São os fundos de vale, onde aparecem os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos e os Gleissolos, e que por este motivo não se prestam para o cultivo
Grupo C	Terras indicadas somente para a preservação	Classe VIIIes	Corresponde às áreas de preservação ambiental	736,6	48,53	São sobretudo as áreas de nascentes e as escarpas erosivas
		Total		**1517,8**	**100**	

Figura 17: Cálculo de áreas e características das terras baseadas no sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH, 1991).
Fonte: Adaptado de Barbalho, 2002.

O Grupo A, classes IIIs e IVs e Grupo B, classe Va perfazem juntos 42,72% da área e ambos apresentam problemas de erosão, sendo cultiváveis apenas ocasionalmente, estando mais aptas a pastagens e reflorestamento. No caso específico do Grupo B, classe Va, estas correspondem à áreas de fundo de vale, com presença dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórficos e dos GLEISSOLOS, estando aptas apenas para pastagens e/ou reflorestamentos. Apresentam problemas complexos de conservação, não se prestando ao cultivo devido ao tipo de solo (hidromórfico).

Cabe ressaltar que, na área de pesquisa, apenas 8,75% são áreas cultiváveis sem problemas de erosão. Estas estão localizadas na superfície de cimeira tabular (Chapada), cuja classe de declividade é baixa (0 a 3%) e os solos ali presentes são os LATOSSOLOS, subordens Vermelho e Vermelho-Amarelo.

Portanto, pode-se constatar que cerca de 91% da área da Alta Bacia do rio Araguaia apresenta-se com limitações ao uso agropecuário, requerendo práticas severas de conservação, o que não ocorreu nestes últimos cerca de 30 anos.

É de se supor, assim, que os problemas erosivos lineares tenham se instalado em decorrência dos usos e sobretudo manejos inadequados, como os trabalhos realizados demonstraram (BARBALHO, 2002; MEDEIROS, 2002). Por outro lado, as características dos solos já expostas, aliadas a tais usos e a falta ou a inadequação de práticas conservacionistas, também podem estar causando erosão laminar. Mas, para tanto, há que se caracterizar a suscetibilidade a esse fenômeno, já que esta foi feita apenas para a erosão linear (OLIVEIRA, C., 1999; SILVA, 2000; BARBALHO, 2002; XAVIER, 2003).

2.4. USO DA TERRA

Pode-se dizer, em linhas gerais, que o uso da terra é a forma como o homem explora o solo, em suas mais diferentes maneiras, seja com sua cobertura vegetal original remanescente ou natural, seja para produção econômica comercial ou de subsistência e até mesmo os usos urbanos (que possuem especificidades diferentes do uso do solo rural). Sendo assim, vamos iniciar esta discussão fazendo breves considerações sobre o ecossistema cerrado, pelo fato do mesmo ser a vegetação originária desta área, que atualmente se encontra quase totalmente devastada na área de pesquisa. A seguir será caracterizado o uso do solo na área e discutidos os pontos relevantes para a erosão.

O cerrado brasileiro pertence ao bioma savânico e representa hoje, em extensão, o segundo maior domínio vegetal do país (CONTI e FURLAN, 1998), ocupando cerca de 23% do território nacional (cerca de 2 milhões de ha). Alho e Martins (1995) apud Silva e Ribeiro (1995, p. 31) apontam que:

> A riqueza de espécies da Região do Cerrado compreende 1/3 da biota brasileira e 5% da fauna e flora mundiais. Estes valores são proporcionados pela vasta dimensão da região, aliada à sua posição central (interface com outros quatro biomas), sua heterogeneidade

> ambiental; e por conter trechos das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul.

Documento para discussão elaborado pela WWF (World Wild Found – Fundo Mundial para a Natureza) em 1995, também aponta estas questões ao falar da importância do Cerrado, destacando-o por sua biodiversidade como um dos 25 Hotspots do planeta. Entretanto, o que vemos é que os projetos de monoculturas e pastagens implementados sobretudo nos últimos 40 anos têm causado sérias ameaças a este bioma, acarretando significativa perda e/ou ameaça de biodiversidade, implicando em impactos diversos, dentre outros a erosão e o assoreamento dos rios; a compactação dos solos pelo uso de máquinas agrícolas e pisoteio do gado e a contaminação do solo e das águas (superficiais e subsuperficiais) por defensivos agrícolas, adubos e fertilizantes (MEDEIROS, 1998).

Além do aspecto da biodiversidade, o cerrado é importante no contexto brasileiro no que se refere aos recursos hídricos, pois de acordo com Silva (1995, p. 18) o Planalto Central, core do Cerrado, formou os divisores de água do país "como se fosse a cumeeira do Brasil. As áreas do Cerrado que foram levantadas são centros dispersivos de drenagem". De lá drenam rios para a região amazônica, para as bacias do Paranaíba e do São Francisco. Convém ressaltar ainda que o Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia responderia por cerca de 10% do total do Bioma Cerrado, se não fosse o desmatamento que já sofreu essa área.

A concepção de Cerrado aqui empregada é a mesma adotada por Barbalho (2002, p.81) fundamentada em Ribeiro & Walter (1998) que "se baseia inicialmente na fisionomia, definida pela estrutura e pelas formas de crescimento dominantes e por possíveis mudanças estacionais. São também considerados outros aspectos do meio físico". Para a Alta Bacia do Araguaia a autora identificou, a partir da interpretação de imagem de satélite LANDSAT-7 ETM+ três fitofisionomias: o cerrado sentido restrito[5], a mata ciliar e o campo limpo úmido.

O Cerrado sentido restrito apresenta subdivisões, sendo que para a Alta Bacia do rio Araguaia, Barbalho (2002) destacou a presença do Cerrado Denso e do Cerrado Ralo. O primeiro se caracteriza por apresentar cobertura arbórea de 50 a 70% e a altura

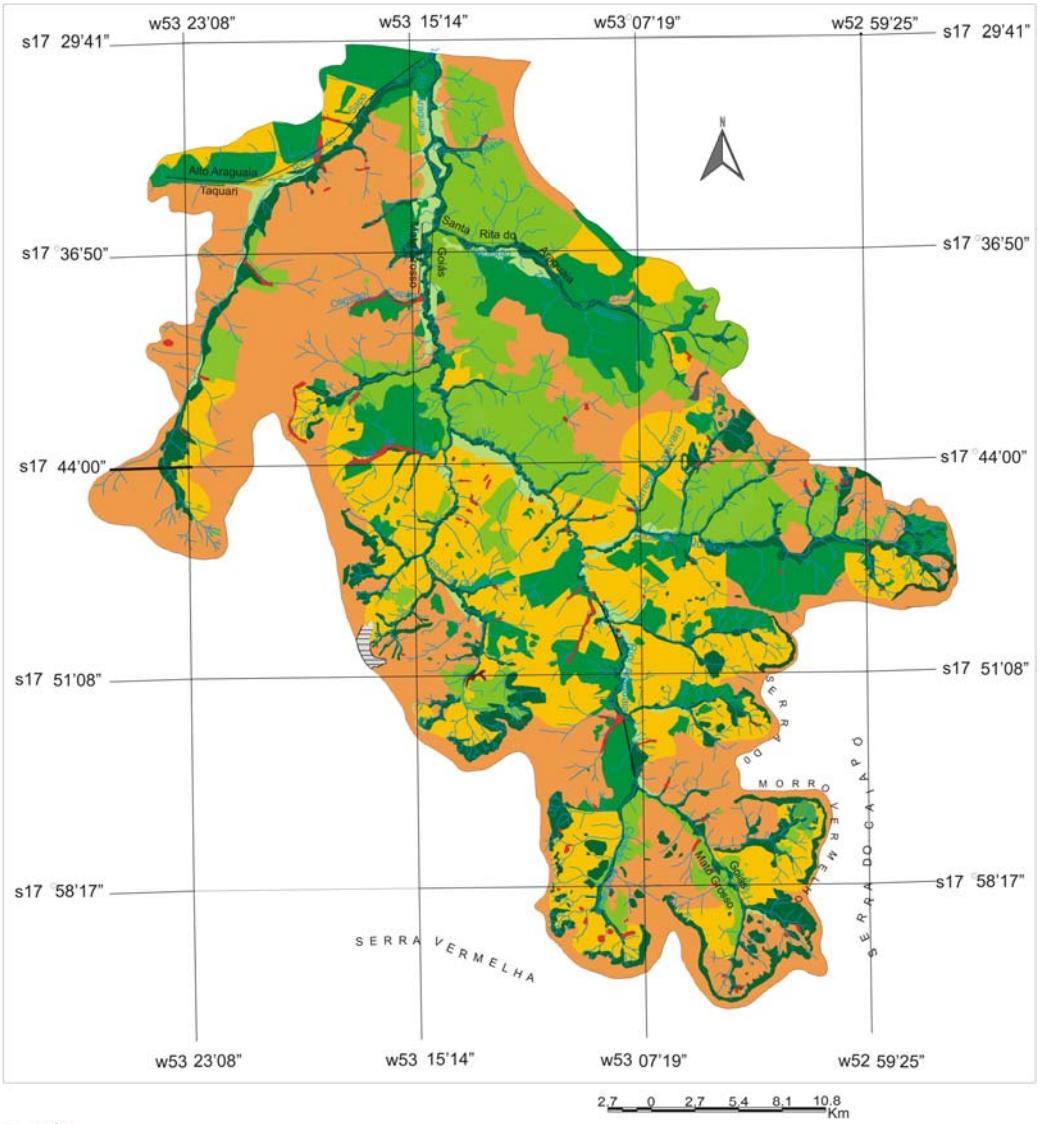
[5] O Cerrado *strictu sensu* têm sido muito empregado na literatura referindo-se ao Cerrado sentido restrito (RIBEIRO e WALTER, 1998). Barbalho (2002) optou por utilizar o emprego do termo em português, conforme recomendado pelos autores.

média das árvores fica em torno de cinco a oito metros (RIBEIRO e WALTER, 1998). Ocupa 17,72 % da área da pesquisa. Já o Cerrado Ralo é um subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva, cuja altura média das árvores atinge de dois a três metros e a cobertura arbórea de 5 a 20%. Ocupa 16,39% da área estudada e localiza-se sobretudo em sua porção nordeste. O mapa com a espaciliazação de cada tipos de uso do solo se encontra na figura 18.

O Campo Limpo úmido possui um único estrato, constituído principalmente por gramíneas, e ocupa apenas 2,18% da área da pesquisa, sendo a menor em área no Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia. Por último temos a Mata Ciliar que é a vegetação que acompanha os rios de médio e grande porte na região, numa faixa geralmente estreita em ambas as margens, dificilmente ultrapassando 100m de largura (RIBEIRO e WALTER, 1998). Para os autores, ela “diferencia-se da Mata de Galeria pela deciduidade e pela composição florística, sendo que na Mata Ciliar há diferentes graus de caducifolia na estação seca, enquanto que a Mata de Galeria é perenifólia”. As espécies que aí ocorrem, segundo descrição de Loureiro et al. (1982) apud Magnago, et al. (1983, p.593), “possuem características morfológicas e hábitos completamente diferentes dos indivíduos savanícolas”. Estas áreas, devido ao carreamento de sedimentos das partes mais altas para os vales tornaram-nas mais férteis, além do lençol freático que se encontra próximo à superfície, permitindo o desenvolvimento de uma vegetação mais exuberante. No Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia as Matas Ciliares ocupam 7,91% da área.

Um fator importante a ser mencionado é que a vegetação natural, conforme observado na figura 18, ocupava em 1999, quase metade (44,27%) da área, estando a outra metade ocupada com agricultura e pastagens. Cabe observar que em 1976 a área apresentava 17% de uso agropecuário contra 83 % de cobertura vegetal original (FARIA, 2001). É importante lembrar que muitos córregos e rios, ou parte deles, apresentam as margens totalmente desmatadas, o que significa descumprimento do Código Florestal, Lei 4.771 de 1965 e da Lei Florestal do Estado de Goiás (artigo 5º, inciso 11) nº 12.596 de 14/03/1995, que consideram as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou qualquer curso d´água como área de preservação permanente. Mas, deve-se notar que esta última lei veio depois do desmatamento e que não houve efetivamente políticas públicas eficazes para garantir sua aplicação até o momento, o que significa que não houve a fiscalização e os incentivos necessários, neste incluída a orientação técnica.

USO DA TERRA
ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA



Legenda

Vegetação	Área km²	Área %	Erosão
Campo limpo úmido	32,99	2,18	
Cerrado ralo	248,62	16,39	3
Cerrado denso	268,78	17,72	3
Mata ciliar	120,00	7,91	
Pastagem	334,43	22,05	52
Agricultura	509,63	36,60	33
Área urbana	2,26	0,15	
Total	1.516,71	100,00	91

Convenções Cartográficas
- Cidade
- Cursos d'água
- Erosão
- Limite Estadual
- Limite Municipal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOGRAFIA FÍSICA
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO
APOIO: CONCITEG/GO e CNPq

Interpretação e Organização : Maria Gonçalves da S. Barbalho
Coordenação: Dra. Selma Simões de Castro
Fonte: Imagem de Satélite Landsat 7 ETM + - Bandas RGB/543, 1999.

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

TAQUARI SE-22-V-C-V	MINEIROS SE-22-V-C-VI
BAÚS SE-22-Y-A-II	

LOCALIZAÇÃO DAS FOLHAS NOS ESTADOS

FIGURA 18 - USO DA TERRA

Compete portanto, enfatizar como se deu essa mudança nas formas de uso ao longo das últimas décadas.

De forma geral, ao tratar do processo de ocupação do cerrado, as periodizações costumam dividi-lo em dois momentos mais significativos: o primeiro e mais antigo, iniciado em fins do século XVII e início do século XVIII que corresponde ao da ocupação do território pelas frentes de expansão e frente pioneira, com a corrida pelo ouro, quando surgiram os primeiros núcleos populacionais na região, tais como Vila Boa, em 1725 (atual Cidade de Goiás), Cuiabá e Meia Ponte (atual Pirenópolis), em 1727. O segundo momento é o da fronteira agrícola, que se deu no século XX, e intensificada principalmente a partir da década de 1970, no bojo de um cenário político e econômico de apropriação rápida das terras, favorecida por programas decorrentes dos Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs) que estimularam a integração nacional. Este segundo momento foi o que trouxe mudanças mais significativas nos padrões de uso da terra não só para a área da pesquisa, como para grande parte do Estado de Goiás e do Centro-Oeste, por isso será aqui enfatizado.

Nesse segundo momento, a intervenção estatal se fez presente através de vários programas de desenvolvimento regionais, como foi o caso do PRODOESTE (Programa de Desenvolvimento do Centro-Oeste), vinculado ao I Plano Nacional de Desenvolvimento – I PND (1972-1974). Este foi importante principalmente para o Centro-Sul de Goiás pelo desenvolvimento em relação à infra-estrutura, com a construção de silos, armazéns, usinas de beneficiamento e frigoríficos, e principalmente pela construção de rodovias.

Uma outra ação governamental foi a montagem, pela SUDECO (Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste, hoje extinta), do I Plano de Desenvolvimento Econômico e Social para o Centro-Oeste – PLADESCO (1973-1974), que segundo BRAGA (1998, p.97) tinha como metas “elevar a participação regional no PIB, aumentar a participação do setor secundário, elevar a utilização da mão-de-obra e, principalmente, ampliar o nível de renda per capita”.

A seguir, com o II PND (1974-1979) a intervenção estatal continuou, entretanto não priorizou apenas o desenvolvimento da infra-estrutura. Neste contexto podemos citar o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), REGIÃO GEOECONÔMICA DE BRASÍLIA, PROMAT (Programa de Desenvolvimento do Estado de Mato Grosso), PROSUL (Programa de Desenvolvimento do Estado de Mato Grosso do

Sul), e PRODECER – Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados.

Todos estes programas permitiram uma maior e rápida ocupação da região do Cerrado, propiciando, além da infra-estrutura, subsídios aos produtores (geralmente os grandes) para aquisição do pacote tecnológico necessário à agricultura moderna, tais como adubos, fertilizantes, máquinas e implementos agrícolas, sementes, etc. Cabe ressaltar que na Alta Bacia do rio Araguaia o POLOCENTRO foi o que exerceu mais influência, que tinha proximidade com infra-estrutura de transportes e energia já existente, alto potencial de uso em sistema de manejo desenvolvido e presença de empresários rurais, requisitos na seleção de áreas de atuação do programa, segundo documento da SUDECO[6] apud Campos (1999).

Esta autora ressalta ainda que:

> O programa selecionou áreas retangulares situadas num raio de influência de vias de transportes federais e de núcleos urbanos de grande polarização, e áreas especiais onde implementou os chamados projetos pilotos. Vários municípios do Sul e Sudoeste de Goiás foram beneficiados com o Polocentro por se localizarem dentro das áreas retangulares selecionadas. (CAMPOS, 1999, p.37)

Um outro fator importante a ser mencionado que contribuiu para a expansão das fronteiras agrícolas é colocado por Shiki (1997, p.146):

A existência de extensas áreas de terras mecanizáveis e grandes propriedades, favoreceram as tecnologias de grande escala (tamanho), e a existência de fontes de calcário na região viabilizou a correção da acidez do solo, essencial para a quimificação do processo de produção. Contribuíram para esta quimificação, a criação de empresas estatais como a Goiásfértil, a Arafértil e um importante avanço no campo da genética vegetal com a adaptação de variedades de soja a regiões de baixa latitude.

Vemos, portanto, que foi essa série de fatores que relacionados entre si propiciaram a expansão desta fronteira agrícola, principalmente a partir de 1970, período

[6] O POLOCENTRO foi criado em 1975 tendo como meta a incorporação do cerrado ao processo produtivo, sendo que sua execução ficou a cargo da SUDECO, dos órgãos do Ministério da Agricultura e os governos dos estados beneficiados: Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais (lembrando que Tocantins e Mato Grosso do Sul ainda não haviam sido criados).

em que o processo de modernização agrícola implantado no Brasil se expande para o centro do país[7].

Deve-se ainda esclarecer aqui o que se entende por fronteira. Segundo Figueiredo e Trigueiro (1986) apud Miazara (2002, p.32) "a fronteira agrícola seria entendida como área potencial – um espaço que ofereceria condições para a EXPANSÃO (e, em ocasiões, para retração) de atividades econômicas do setor primário, especialmente da agropecuária".

O tipo de uso da terra que se estabeleceu na área de estudo, conforme exposto, demonstra a associação entre as áreas de pastagem e agricultura e as ocorrências erosivas lineares, pois que 63% das erosões aí se encontram, demonstrando a falta ou ineficiência das práticas de manejo e conservação do solo (FARIA, 2001). Neste sentido, Barbalho (2002) fez uma análise da discrepância entre a classificação das terras baseada no sistema de capacidade de uso e o uso atual das terras no setor sul da Alta Bacia do Araguaia e verificou que ocorre discrepância máxima em 43,48% da área da pesquisa. Somando os graus de máxima discrepância, muito alta e alta, o valor alcança 67,46 % da área, sendo que somente 32,54% apresenta grau nulo de discrepância, situada nos topos de Chapada. Isso significa que a maioria quase absoluta da área está sendo utilizada e/ou manejada de forma incorreta, o que já trouxe e pode continuar a trazer uma série de impactos para a área, como os focos erosivos antes relatados, cuja maioria se encontra em áreas com conflito de uso (cerca de 90% dos mesmos estão em áreas com discrepância Máxima, Muito Alta e Alta). (Figuras 19 e 20).

GRAU DE DISCREPÂNCIA	ÁREA (KM2)	ÁREA (%)	EROSÃO
Máxima	659,40	43,48	63
Muito Alto	252,58	16,65	15
Alta	111,19	7,33	3
Nulo	493,52	32,54	10
Total	**1.516,59**	**100**	**91**

Figura 19: Grau de Discrepância entre a Classificação das Terras baseada no Sistema de Capacidade de uso e uso atual.
Fonte: Barbalho, 2002.

[7] Maiores detalhes sobre o processo de modernização agrícola no sudoeste de Goiás podem ser obtidos em Oliveira (2001).

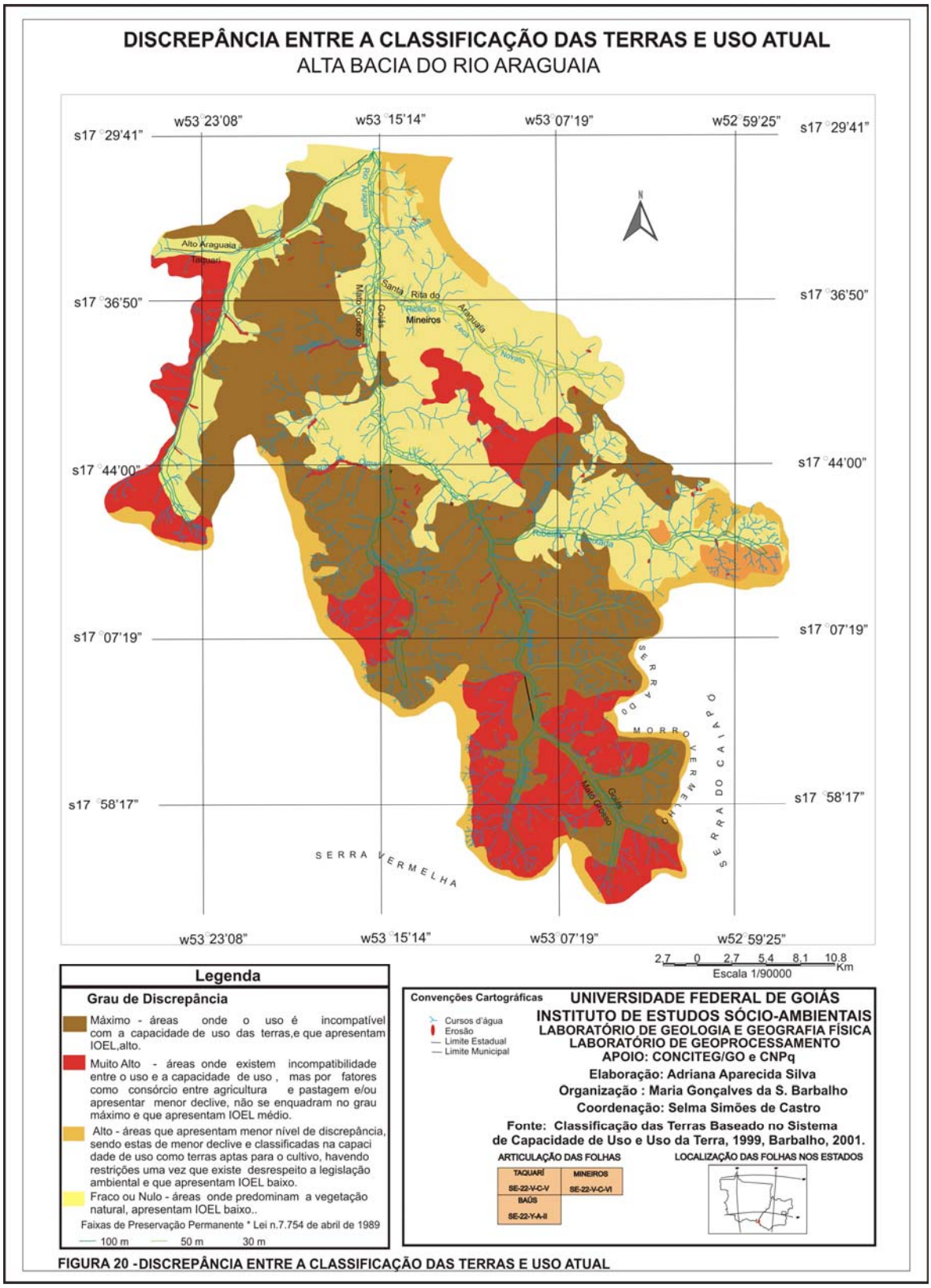


FIGURA 20 - DISCREPÂNCIA ENTRE A CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS E USO ATUAL

Essa discrepância pode potencializar também a erosão laminar, uma vez que os solos dominantes da área apresentam baixa coesão, baixos teores de matéria orgânica e estão submetidos a práticas agropecuárias intensivas, sem planos de manejo adequados, o que os torna passíveis de remoção da sua camada superficial, com já exposto. Portanto, corroborando essa questão, supôs-se que o risco à erosão laminar da área, como será visto mais adiante, seja elevado, assim como o de erosão linear, como demonstrado pelos vários trabalhos relatados anteriormente. Para tal, resta saber se há coincidência ou não, ou em que medida os dois tipos de erosão ocorrem em termos de áreas, e se isto tem a mesma origem, isto é, elevada suscetibilidade natural e elevada discrepância de uso. Nesse sentido, a expectativa inicial desta pesquisa era de que a erosão laminar estaria dinâmica e espacialmente relacionada com a Zona Rebaixada onde se situam os solos arenosos, os relevos suavizados de rampas longas e as maiores discrepâncias de uso de manejo das terras.

3. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

Alguns pressupostos teórico-conceituais e metodológicos tornaram-se importantes para o desenvolvimento da pesquisa, como os tratados a seguir, e pelos motivos nela apresentados.

3.1. Bacias hidrográficas e sistemas

A categoria de análise escolhida para o desenvolvimento da pesquisa é a bacia hidrográfica, por esta ser vista como a melhor unidade de estudo para o "entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional" (COELHO NETTO, 1998, p.100).

A introdução da concepção de bacias de drenagem no tratamento ambiental teve início com os diversos problemas que o ser humano tem enfrentado em relação à utilização dos recursos hídricos, em princípio com o intuito de "corrigir" ou reduzir os problemas diagnosticados (PEIXOTO et al, 1997). As mesmas autoras assinalam que:

> mais recentemente, a perspectiva de utilização das bacias de drenagem como unidades fundamentais de análise e planejamento ambiental vem assumindo um novo caráter, onde todos os componentes físicos e bióticos da área drenada pelos sistemas fluviais (relevo, solo, vegetação, etc.) são igualmente considerados, incluindo aí a integração com os aspectos sociais, econômicos e políticos, de modo a permitir o melhor aproveitamento de todos os recursos e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos e riscos ambientais associados à sua utilização (PEIXOTO et al, 1997, p.44).

Tanto é assim que há estados brasileiros que já implementaram há algum tempo as suas políticas de manejo dos recursos hídricos como PR, PE, RS, SP, SC, MS, GO e DF, com base no Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH), criado

pelo Ministério da Agricultura em 1987 (FREITAS e KER, 1996), embora nem tosos esses estados as tenham implementado em todo o seu território.

Ferreti (1997), também fala da importância de se considerar a bacia hidrográfica, hoje reconhecida mundialmente como a melhor unidade para o manejo dos recursos naturais, sobretudo no que se refere ao planejamento ambiental. Já Fernandes (1998), cita as bacias hidrográficas como unidades coerentes para implantação de sistemas de controle da erosão nas áreas rurais, concepção que começou a se notar no país a partir da década de 1980, diferentemente da visão anterior do controle de erosão praticado no âmbito de propriedades rurais em si, sem preocupação com as propriedades vizinhas, sobretudo de montante ou jusante.

Nascimento (1998, p.14), ao fazer considerações teóricas sobre a categoria bacia hidrográfica e o uso dos recursos naturais coloca que "é necessário que eles sejam analisados de forma integrada, holística, verificando-se as causas e os efeitos das intervenções humanas". A autora desenvolveu um estudo sobre erosão laminar e também adotou a categoria bacia hidrográfica, que é fundamentada nos princípios da teoria geral dos sistemas e na premissa do equilíbrio dinâmico, que é bem explicada em Christofoletti (1979, p.57), segundo o qual

> o equilíbrio de um sistema representa o ajustamento completo das suas variáveis internas às condicionantes externas [...]. Quando as condições externas permanecerem imutáveis, o equilíbrio dinâmico pode chegar ao estado que melhor exprima a organização interna em função das referidas características exteriores, chegando a obter a condição estática de máxima entropia. Esse estado constante ou de estabilidade ("*steady state"*) é atingido quando a importação e a exportação de matéria e energia forem equacionadas por meio do ajustamento das formas do próprio sistema, permanecendo constantes enquanto não se alterarem as condições externas [...]. Em uma bacia hidrográfica, as condições climáticas, litológicas, biogeográficas e outras vão condicionar a estruturação de determinada rede de drenagem e de determinadas formas de relevo. Alcançado o estado de estabilidade, a geometria da rede fluvial e a da morfologia encontram-se em perfeito estado de equilíbrio e só sofrerão modificações se porventura houver alterações nas variáveis condicionantes.

É importante ter clara essa noção do equilíbrio nos sistemas, pois a erosão acelerada, como bem lembrou Sudo (1998) é um exemplo do rompimento do equilíbrio numa bacia hidrográfica. O sistema o qual temos falado está relacionado à Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Bertalanffy (1977) que a apresentou pela primeira vez

em 1937, num seminário na Universidade de Chicago. A mesma surgiu com o propósito de integração, num momento em que a ciência procurava uma visão de totalidade, até então um tanto vaga, numa alternativa à visão anterior da ciência de explicar os fenômenos observáveis reduzindo-os à interação de unidades elementares investigáveis, independentemente umas das outras. Era uma visão mecanicista-vitalista, conforme explica Bertalanffy (1977), baseada na física clássica, que tratava essencialmente de problemas com poucas variáveis.

Na concepção mecanicista os organismos vivos eram vistos por partes sendo que a organização destas partes era deixada de lado ou, conforme a teoria denominada vitalismo "explicavam-se somente pela ação de fatores anímicos – pequenos duendes, por assim dizer- pairando na célula ou no organismo, o que evidentemente correspondia simplesmente à declaração da bancarrota da ciência" (BERTALANFFY, 1977, p.127). Por toda parte surgia a necessidade de novos instrumentos conceituais que dessem conta de uma análise integrada, partindo do pressuposto de que "o todo é mais que a soma das partes". Christofoletti (1999, p.3) explica que

> a totalidade aplica-se às entidades constituídas por um conjunto de partes, cuja interação resulta numa composição diferente e específica, independente da somatória dos elementos componentes. O todo assume uma estrutura e funcionalidade diferenciada dos seus subcomponentes.

A Teoria Geral dos Sistemas surge nesse contexto e das inúmeras definições e explicações sobre a mesma, a de Haigh (1985) apud Christofoletti (1999, p.5) a exprime bem:

> um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas interrelações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando agregadas.

De acordo com a classificação dos sistemas, a bacia hidrográfica é um sistema aberto, que é aquele onde há troca constante de matéria e energia, tanto recebendo quanto perdendo. Já o ciclo hidrológico é sistema fechado, pois há transferência somente de energia, o volume de água no globo terrestre permanece constante. A bacia hidrográfica é um subsistema dentro do ciclo hidrológico, sendo que a mesma apresenta vários

subsistemas: vegetação, superfície, solo, zona de aeração, zona de água subterrânea e canal fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A bacia hidrográfica, portanto, é vista aqui com um sistema aberto, que recebe energia através das forças climáticas e tectônicas atuantes sobre sua área e ao mesmo tempo perde energia através da água e sedimentos exportados pela bacia através de seu ponto de saída (CHORLEY, 1962 apud COELHO NETTO, 1998). Nesta perspectiva, considerando a bacia como um sistema, a alteração em qualquer ponto ao longo da mesma pode afetar outras áreas situadas principalmente à jusante. Esta visão é importante tanto no planejamento ocupacional quanto nos estudos ambientais que se fizerem numa bacia, pois o ser humano atua como um agente capaz de introduzir mudanças na bacia que podem romper o seu equilíbrio, conforme nos lembra Sudo (1998, p.3), exemplificando o caso do assoreamento: "a introdução de algum fator que induza à alteração da relação chuva/escoamento, poderá alterar de tal forma o balanço hídrico do solo podendo provocar, em resposta, o processo do assoreamento".

Tanto se fala sobre bacia hidrográfica mas é necessário definí-la. Guerra e Guerra (1997, p.76) a definem como o

> conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Nas depressões longitudinais se verifica a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, dando o lençol concentrado – os rios. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d'água, cursos d'água principais, afluentes, subafluentes etc.

Já Silveira (2000, p.40) apresenta a seguinte definição:

> a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Dependendo do seu tamanho, as bacias hidrográficas podem ser classificadas como bacias, subbacias ou microbacias, apesar de existir uma série de controvérsias sobre estas definições. Refletindo sobre esta questão, Botelho (1999, p.272) faz indagações sobre as diferenças entre sub-bacia e microbacia, uma vez que "sabe-se que uma bacia hidrográfica, além de poder estar inserida em outras de maior tamanho, pode, ainda, conter

um número variado de outras bacias menores, chamadas sub-bacias". Sobre as microbacias a autora diz que o termo não consta nos principais e mais recentes dicionários das Ciências Ambientais, ao mesmo tempo em que vem sendo muito utilizado principalmente por profissionais envolvidos em projetos de planejamento. Ela cita ainda a criação do Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica - PNMH (BRASIL, 1987) como tendo propiciado a expansão do uso do termo, cuja definição não se difere do conceito de bacia hidrográfica. Geralmente a diferenciação destes termos se estabelece segundo a sua área da bacia.

Afora estas indagações e controvérsias, uma definição que achamos mais conveniente para ações de planejamento é a adotada por Rocha (1997, p.73), ao tratar do manejo integrado de bacias hidrográficas:

> **Bacia Hidrográfica**: é a área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago. As Bacias Hidrográficas não tem dimensões superficiais definidas.
>
> **Sub-bacia Hidrográfica**: o conceito é o mesmo de Bacia Hidrográfica, acrescido do enfoque de que o deságue se dá diretamente em outro rio. As Sub-bacias Hidrográficas têm dimensões superficiais que variam entre 20.000 ha e 300.000 ha. Essas áreas podem variar de acordo com a região do país[...].
>
> **Microbacia Hidrográfica**: o conceito é o mesmo de Bacia Hidrográfica, acrescido de que o deságue se dá também em outro rio, porém a dimensão superficial da Microbacia é menor que 20.000 ha.

Nesse sentido, o Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia seria um setor no qual, por sua vez, ocorrem várias sub-bacias, podendo algumas, como as mais críticas, serem consideradas microbacias, dependendo da sua área.

Para o presente estudo o que interessa – afora este debate conceitual sobre definições do que deve ser considerado bacia, sub-bacia ou microbacia – é a visão integrada que se tem sobre seus componentes e a possibilidade de estudos envolvendo tanto os aspectos do meio físico quanto o social, político e econômico, a fim de se estabelecer um planejamento conservacionista. Assim, o Setor Sul aqui referido integra o Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia, o coletor da bacia.

Em estudos de planejamento ambiental, a bacia hidrográfica tem sido cada vez mais utilizada e “já está definida em Lei como a Unidade de área mais aconselhável para estudos e projetos, em todo o território nacional” (ROCHA, 1997, p.71).

O Ministério da Agricultura, através do PNMH (Decreto N° 94.076, de 5 de março de 1987), adotou a microbacia hidrográfica por esta ser uma unidade geográfica natural “onde os fatores ambientais, econômicos e sociais encontram-se em condições homogêneas e por isso, mais apropriadas para o estabelecimento de planos de uso e manejo, monitoramento e avaliação das interferências humanas no meio ambiente” (BRASIL, 1987).

Ainda neste aspecto, Resende et al (1995) afirmam que a bacia de drenagem é considerada como uma unidade natural básica, que permite um estudo detalhado mas sem a perda da noção do conjunto. É ideal como unidade de estudo para a conservação dos recursos naturais em razão da interdependência dos atributos bióticos e abióticos em seu interior.

Enfim, esta pesquisa apoia-se no pressuposto de uma visão sistêmica, portanto integrada, na qual a bacia hidrográfica com seus vários sub-sistemas encontram-se inter-relacionados: o solo, a água, o clima, a vegetação, o relevo, a topografia e o uso que deles se fez e se faz. Aqui entra, por conseguinte, o ser humano e os aspectos sócio-culturais, econômicos e políticos. Mais adiante tal afirmação poderá ser melhor compreendida, ao falarmos da erosão laminar e da metodologia utilizada para seu estudo, baseada em um modelo em que alguns desses subsistemas são variáveis fundamentais para identificação da suscetibilidade ao fenômeno.

3.2. Os processos erosivos

Comecemos conceituando erosão que, segundo Morgan (1995) é um processo de duas fases que consiste no desprendimento de partículas individuais da massa do solo e seu transporte por agentes erosivos como a água corrente e o vento. E quando a energia não é mais suficiente para transportar as partículas, uma terceira fase ocorre: a deposição.

Na dependência do agente erosivo adjetiva-se a erosão como eólica, hídrica e outras. A hídrica é a mais importante nas regiões tropicais úmidas e subúmidas devido à alta pluviosidade, como é o caso da Alta Bacia do rio Araguaia. Galeti (1973) defende a idéia de que qualquer que seja o agente (água, vento ou geleiras) a erosão se processa nestas três fases, que nem sempre são muito distintas umas das outras porque podem realizar-se concomitantemente. Falaremos brevemente sobre cada uma delas, no caso aplicadas à erosão hídrica.

1ª fase: desagregação

Tem início com a gota de chuva ao atingir o solo, que rompe seus agregados e os lança à grandes distâncias (efeito *splash* ou salpico). A gota, ao bater no solo, respinga e retorna fragmentada, já com partículas de solo. Quanto maior a gota maior o impacto. O *splash* vai depender também da energia cinética da chuva, bem como da resistência do solo a este impacto. De tão importante que é, essa fase é considerada por alguns especialistas como um tipo de erosão específica (GALETI, 1973). É a erosão por salpico ou salpicamento (GUERRA e GUERRA, 1997; GUERRA, 1998), ou *rainsplash erosion* (MORGAN, 1995).

2ª fase: transporte

Após serem desagregadas, as partículas de solo são transportadas, e conforme lembra Galeti (1973) deve-se levar em consideração o tamanho das partículas, a força do agente, a topografia do terreno e a presença ou ausência de obstáculos. No caso do transporte pela água, as partículas menores são carregadas em solução ou suspensão e as maiores são empurradas ou roladas. Quanto maior a força do agente (água, no presente caso), maior é a capacidade de transporte estudada como competência do veículo. E ainda, outro aspecto a se considerar é que “além de as partículas serem transportadas pelo impacto causado pelas gotas de chuva, algumas são deslocadas pelo choque proporcionado por sedimentos que batem uns contra os outros” (GUERRA, 1998).

3ª fase: deposição

Ainda segundo Galeti (1973) a deposição ou assentamento (sedimentação) ocorre quando o agente perde sua força, diminuindo a velocidade ou o volume, ou então por encontrar obstáculos (armadilhas, segundo Oliveira [1994]). Cabe lembrar que quanto maior o tamanho da partícula mais rápido ela se assenta e quanto maior a velocidade da água, mais demorado é o assentamento.

3.2.1. Tipos de erosão segundo a forma de escoamento das águas

Conforme já mencionado anteriormente, a erosão hídrica pode apresentar-se de forma linear ou laminar quanto aos tipos de escoamento das águas precipitadas sobre o terreno.

A chuva, ao atingir o solo, desprende suas partículas, sendo que uma parte da água se infiltra no solo e outra parte pode escoar superficialmente quando é excedida a capacidade de armazenamento do solo. Esse escoamento pode se dar de forma dispersa ou concentrada. Quando o escoamento é difuso e a água desgasta o solo por igual, numa remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo, como se fosse uma lâmina, a mesma é denominada erosão laminar, ou em lençol (sheet flow).

Entretanto, o lençol de água que cobre a superfície do solo durante uma tempestade, raramente se apresenta com profundidade uniforme, podendo ser interrompido por blocos rochosos existentes no solo ou pela cobertura vegetal, fazendo com que o fluxo de água contorne essas irregularidades (GUERRA, 1998). Este autor lembra que a quantidade de perda de solo resultante do escoamento superficial depende da velocidade e da turbulência do fluxo, sendo que quanto maior estes forem, maior será a capacidade erosiva desse fluxo. Sobre a velocidade do fluxo, esta deve ultrapassar o limite imposto pela resistência do solo à erosão, para que a mesma possa ocorrer.

A erosão laminar muitas vezes causa a remoção por completo do horizonte pedológico superficial (horizonte A), que confere fertilidade aos solos (BACELLAR, 2000). O autor ressalta que o seu reconhecimento nem sempre é de fácil percepção, mas há alguns indicadores tais como a exposição na superfície do terreno das raízes das plantas, a visualização da remoção dos horizontes superficiais ou sua sobreposição por colúvios provenientes de erosão remontante e o assoreamento de canais de drenagem. Bertoni e

Lombardi Neto (1993) também apontam o fato de em dias de chuvas as enxurradas tornarem-se barrentas e os solos, por sua ação, tomam uma coloração mais clara e a produtividade vai diminuindo progressivamente.

Há outros pontos importantes a serem discutidos sobre o processo erosivo laminar. De acordo com Ellison (1947) citado por Sharma (1995), os processos de erosão do solo pela água começam com o desprendimento e o transporte das partículas de solo pela força do impacto das gotas de chuva e a força de arraste do fluxo superficial, podendo haver a dominância de uma força sobre a outra ou uma combinação das duas. Do ponto de origem, o *splash* da gota de chuva e o fluxo superficial da água transportam os sedimentos vertente abaixo. Os sedimentos devem ser desprendidos do corpo do solo ou estarem desprendidos antes que possam ser transportados. Desprendimento (ou desagregação), transporte e deposição de sedimentos, conforme visto anteriormente, são os três mecanismos integrantes do processo de erosão do solo. Assim sendo, é difícil separar a erosão por *splash* das outras formas de erosão, tanto laminar quanto linear, uma vez que ambos processos se combinam.

Partindo dessa discussão, Hudson (1981) diz que as primeiras classificações da erosão hídrica se deram a partir estágios correspondentes à progressiva concentração do fluxo superficial, que começava com a erosão em lençol, depois a erosão em ravinas (rill erosion) com a água se concentrando em pequenos filetes ou canais, depois as voçorocas (gully erosion), quando os canais erodidos são maiores e por último a erosão tipo “stream bank” (barreira de fluxo), “when rivers or streams are cutting into the banks” [quando os rios ou canais são cortados em bancadas (HUDSON, 1981, p.39)]. Entretanto, o autor afirma que esta classificação não é mais apropriada e pode ser enganosa por omitir o splash, ou o efeito do impacto das gotas de chuva, que nós sabemos ser o primeiro e mais importante estágio no processo erosivo. Desta forma, uma melhor aproximação é descrever esta fase como “interrill erosion” (erosão interravina), significando ambos movimentos: o splash e o transporte do solo desprendido por finos fluxos superficiais, cuja capacidade erosiva aumenta com a turbulência do impacto das gotas de chuva (HUDSON, 1981).

Sharma (1995) lembra que para entender a definição de erosão interravinas é necessário entender o domínio da erosão em ravina. Para o autor, esta erosão ocorre quando o fluxo superficial, ainda que sempre considerado como sendo de profundidade uniforme ao longo do declive, tende a se concentrar em inúmeros pequenos canais. As

ravinas se desenvolvem em depressões localizadas nas áreas declivosas, onde o fluxo superficial se acelera. Quando a carga de sedimento do fluxo superficial excede a capacidade de transporte, os sedimentos são arrastados pelo leito, causando seu polimento. Desta forma começam a se desenvolver pequenos canais ao longo do declive. Com a continuidade do processo, o fluxo converge e viaja ladeira abaixo nestes pequenos canais bem definidos. Estes canais, resultantes tanto da erosão quanto das formas de cultivo, tornam-se o principal caminho do escoamento superficial (*runoff*), sendo chamados de ravinas. O sedimento produzido em áreas mais elevadas (que não é canalizado), e ladeira abaixo entre as ravinas, é chamado erosão interravinas (SHARMA, 1995).

Os quatro processos componentes da erosão hídrica, mostrados na Figura 21 (desprendimento pelo impacto das gotas de chuva e pelo fluxo superficial, e transporte pelas gotas de chuva e pelo fluxo superficial), são ativos numa área de erosão interravinas. Entretanto o desprendimento pelas gotas de chuva e o transporte pelo fluxo superficial são os dois processos dominantes (SHARMA, 1995). A erosão laminar está englobada nestes processos, na fase do transporte pelo fluxo superficial, que também causa desprendimento de partículas. Mas o fato é que, não se pode desconsiderar o papel do *splash* nos processos erosivos, pois conforme já foi dito, ele é o início do processo. Para mais, as gotas de chuva, além de desprender as partículas de solo, colocando-as em suspensão, também as transportam, diretamente através da força do seu impacto que pode lançá-las a longas distâncias[8], ou indiretamente, através do aumento da turbulência do fluxo de água, provocando uma maior capacidade erosiva (GUERRA, 1998).

Tanto é difícil separar cada um destes processos no caso da erosão laminar, quanto também é difícil dissociar a erosão em sulcos da laminar, pois ambas tendem a gerar formas e produtos semelhantes, conforme explica Bacellar (2000, p.15):

> [...] o fluxo turbulento no fundo dos sulcos tende a deixar um manto de partículas mais grosseiras, menos erodíveis que os solos das zonas entre os sulcos. Assim, nas estações chuvosas subsequentes, os sulcos tendem a migrar, ocupando estas zonas, num processo de retroalimentação negativa, resultando no rebaixamento uniforme de toda encosta.

[8] As partículas de solo desprendidas podem alcançar 60cm de altura e mais de 1,5m de distância (ELLISON, 1947 apud BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

Há também que se considerar o fato de que a erosão laminar pode evoluir dando origem a microrravinas, estas a ravinas e estas últimas também podem evoluir e se conectar com processos erosivos de maiores proporções, que são as voçorocas (GUERRA, 1999).

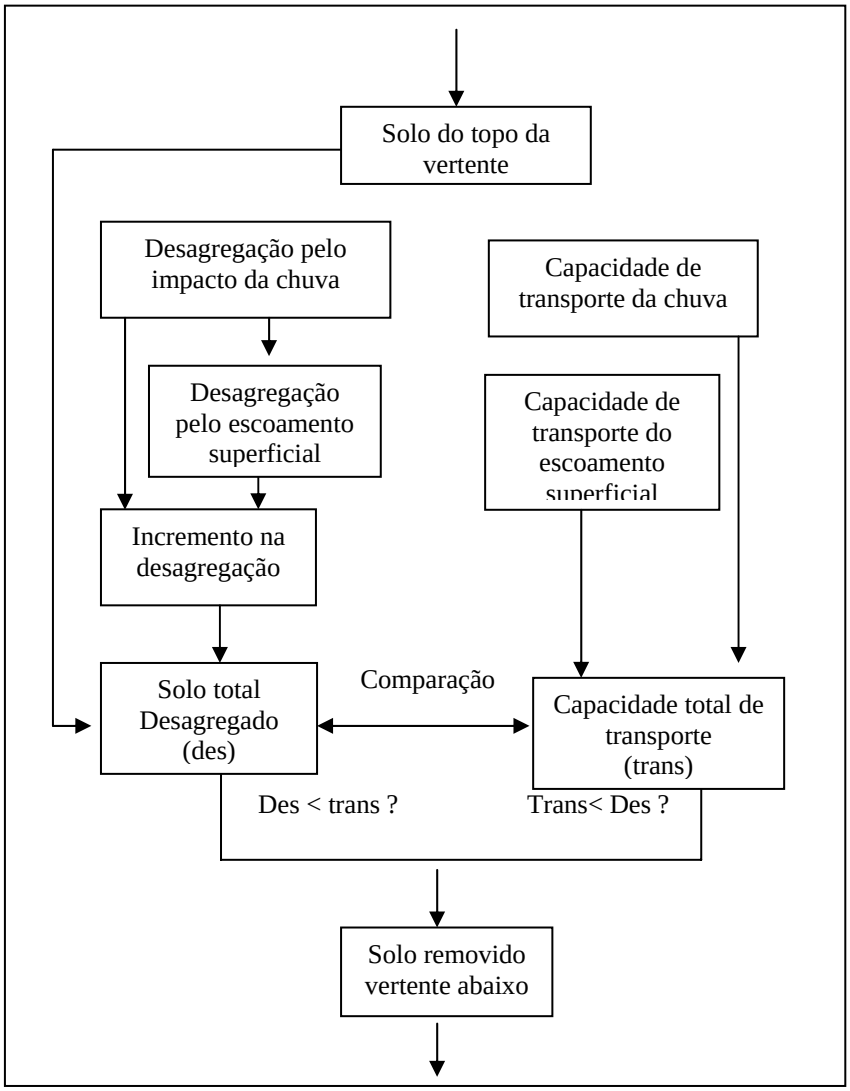


Figura 21: Modelo conceitual de erosão hídrica de Meyer e Wischmeier (1969), que forma a base do modelo erosivo de ravinas/ inter-ravinas (Foster & Meyer, 1975)
Fonte: Traduzido de Sharma, 1995

Sobre a chamada erosão linear vamos fazer uma abordagem resumida, pois embora a mesma não seja objeto do presente estudo, as relações entre ambas são apontadas pelos autores. De acordo com Bacellar (2000), ela pode ser dividida em três sub-tipos básicos, com potencial erosivo crescente: sulcos, ravinas e voçorocas. A erosão em sulcos é "causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas" (SALOMÃO, 1999, p.229). A erosão em sulco geralmente é diferenciada das ravinas pela sua profundidade, se tratando de ravina quando o canal formado não pode ser obliterado por operações normais de preparo do solo. Já a voçoroca é um tipo de erosão em que não há um consenso sobre sua definição. Para alguns autores ela se diferencia da ravina apenas por seu caráter dimensional. De acordo com Oliveira M. (1999) são estas concepções que predominam na literatura nacional e internacional. Também nesse sentido, Guerra (1998) cita Goudie (1985) que não estabelece limite entre as duas formas de erosão, propondo que a diferença seja que a ravina pode ser obliterada por máquinas agrícolas ao passo que as voçorocas não. Guerra (1998) cita ainda o Glossário de Ciência dos Solos dos EUA (1987) segundo o qual as voçorocas possuem mais de 50cm de largura e profundidade, definição também adotada por Oliveira M. (1999), dentre outros autores no Brasil.

Uma outra concepção relaciona as voçorocas ao escoamento do lençol subsuperficial, podendo ter sua origem nele (através dos *pipings*, ou dutos) ou ter sua contribuição, tendo evoluído de uma ravina até atingí-lo. Quando a ravina se aprofunda até atingir o lençol freático

> há um somatório de processos erosivos pela ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões. É nesse estágio do fenômeno erosivo que se deve aplicar a designação de boçoroca, diferindo, portanto, do que se convencionou chamar de ravina. Como simples ravinamento, entende-se a erosão que se supõe causada simplesmente pela concentração do escoamento superficial, processo este que, no mais das vezes, coroa a degradação do solo iniciada pela erosão laminar (IPT, 1986). Assim, embora em sentido amplo possamos considerar as ravinas profundas como boçorocas, na realidade esses dois termos devem ser diferenciados, pois cada um apresenta as suas características próprias (SALOMÃO, 1999, p.232-231).

Bacellar (2000) também aponta que a classificação mais utilizada no Brasil tem sido a do IPT, que diferencia as ravinas das voçorocas pelo fato da segunda atingir o lençol freático, que implica em hidrodinâmicas diferentes, embora admitam que uma ravina possa evoluir para voçoroca quando o nível do freático é interceptado, o que não significa que a dinâmica de todo o foco erosivo seja esta. Apesar desta pesquisa tratar do estudo da erosão laminar na Alta Bacia do Araguaia, a concepção de voçoroca aqui presente sempre que a citarmos se refere a esta segunda concepção, portanto, incisão erosiva linear que interceptou o lençol freático, sem desconsiderar a possibilidade de fenômenos mistos.

3.2.2. Fatores condicionantes dos processos erosivos

Os fatores que condicionam os processos erosivos são abordados por numerosos autores, como Galeti (1973), Hudson (1979), Bertoni e Lombardi Neto (1993), Lepsch (1993), Morgan (1995), Oliveira, M. (1999), Salomão (1999), dentre outros. Sintetizando estes autores, pode-se dizer que há consenso quanto aos quatro fatores condicionantes da erosão: a chuva (erosividade), a topografia (declividade e comprimento da vertente), a natureza do solo (erodibilidade) e a cobertura vegetal (uso e manejo). O esquema a seguir, apresentado por Hudson (1979) ilustra estes fatores e suas relações (Figura 22).

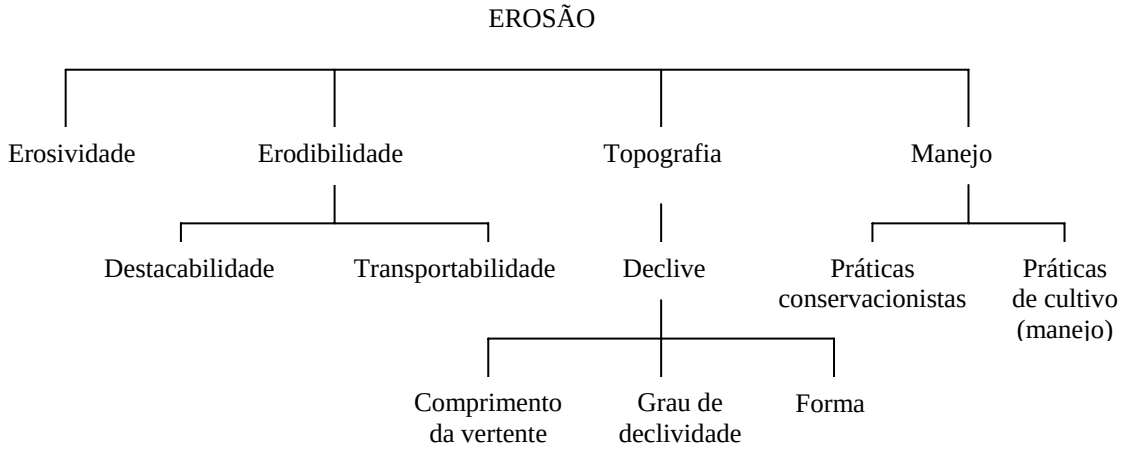


Figura 22: Fatores que influenciam a erosão
Fonte: Traduzido de Hudson, 1979

A chuva é o fator climático mais importante e a sua intensidade o mais importante fator pluviométrico. Bertoni e Lombardi Neto (1993) lembram que dados de chuva em totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação aos processos erosivos, uma vez que em dois locais pode cair a mesma quantidade de chuva durante o ano, não implicando que a suscetibilidade à erosão seja a mesma nos dois locais, já que "num local pode ter caído grande número de chuvas leves e, no outro, duas a três chuvas pesadas que contribuem com 60 ou 80% do total; é provável que neste último, se as demais condições são semelhantes, possa-se esperar uma erosão mais severa" (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993, p.46).

A intensidade da chuva, como já mencionado, é o fator mais importante a ser considerado, sendo que quanto maior for a mesma, maior a perda por erosão, conforme colocado pelos autores acima e também demonstrado por Fournier (1972) apud Morgan (1995) em experimentos realizados em Ohio, EUA. A pesquisa relacionou a intensidade das chuvas com as perdas de solo e confirmou tal afirmativa. A intensidade máxima da chuva em 5 minutos de 0 a 25,4 mm/h, num total de 40 quedas de chuva proporcionou uma média de 3.7 t/ha de perda de solo, enquanto que numa intensidade de 177,9 a 254 mm/h em apenas uma queda de chuva proporcionou a perda de 47,9 ton/ha de solo. Entretanto, Morgan (1995) coloca que o papel da intensidade nem sempre é tão óbvio e que parece que a erosão está relacionada a dois tipos de eventos de chuva: as chuvas curtas e intensas, em que a capacidade de infiltração do solo é excedida dada a curta duração, e as chuvas de longa duração e baixa intensidade, que saturam o solo, e que geralmente é difícil separar esses dois efeitos na estimativa total das perdas de solo.

Ainda sobre a duração das chuvas, Bertoni e Lombardi Neto (1993) colocam que ela é um complemento da intensidade e que a combinação dos dois determina a chuva total. Já sobre a freqüência das chuvas os autores dizem que é um fator que também influi nas perdas de solo uma vez que em intervalos mais curtos o teor de umidade do solo é maior, facilitando a ocorrência das enxurradas, mesmo em chuvas de baixa intensidade. Já em intervalos maiores, o solo está seco e demora mais para ocorrer sua saturação, de forma que chuvas de baixa intensidade não provocariam enxurradas. A forma como a chuva provoca erosão no solo se dá através do impacto das gotas de chuva, (*splash*) como lembra Guerra (1999), a qual desagrega as partículas do solo, e também pelo escoamento da enxurrada.

Ainda são fatores importantes de serem mencionados, a distribuição e a quantidade de chuvas, pois que as chuvas regularmente distribuídas são menos danosas do que as concentradas em uma ou duas estações contínuas no ano, como é o caso das estações alternadas que caracterizam o clima tropical, dominante na área de estudo.

No Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia, Ramos (2003) constatou intensidades de chuvas superiores a 80mm/h, concentradas no verão, em especial fevereiro, quando o solo já está úmido, ou mesmo saturado pelas chuvas anteriores, considerando-as de elevado poder erosivo e capazes de provocar enxurradas.

A erosividade é o índice que determina a capacidade da chuva em provocar a erosão e se baseia na energia cinética da chuva, sendo uma função da sua intensidade e duração, massa, diâmetro e velocidade da gota de chuva (MORGAN, 1995). Entretanto, uma vez que é bastante trabalhosa, a mensuração da distribuição dos tamanhos das gotas de chuva, além de estar sujeita às variações dos tipos de chuvas, a energia da chuva e a distribuição dos tamanhos das gotas são estimados geralmente como função da intensidade da chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1958 apud SHARMA, 1995), que está diretamente relacionada à energia cinética.

A natureza do solo, que é expressa pela erodibilidade, também é um fator que influi sobremaneira nos processos erosivos, de forma que cada tipo de solo possui uma suscetibilidade diferente, a qual depende de suas características físicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, densidade e profundidade, embora suas características químicas e biológicas também devam ser consideradas. Pode-se dizer que a erodibilidade define a resistência do solo ao desprendimento e transporte.

A textura se refere ao tamanho das partículas que compõem um solo. Os solos arenosos são os mais fáceis de serem erodidos apesar de possuírem uma grande capacidade de infiltração, o que se dá pelo fato de possuírem poucas partículas argilosas e baixa ou nula coesão, o que favorece o desprendimento e a remoção das partículas, sobretudo quando desmatados ou previamente saturados. Em geral os solos arenosos finos a muito finos apresentam infiltração mais lenta que os arenosos médios ou grossos. Desse modo, pode ocorrer acúmulo de água em superfície durante e após episódios de chuvas intensas que excedam a capacidade de infiltração, promovendo, assim, o escoamento superficial. Poesen (1981) apud Guerra (1998) observou que as areias apresentam o maior índice de erodibilidade. O silte e as areias finas são considerados as partículas menos resistentes,

sendo que quanto maior o teor de silte, maior a suscetibilidade erosiva do solo. assim, na área da pesquisa os solos são arenosos finos, portanto possuiriam elevada suscetibilidade erosiva.

A estrutura é o modo como as partículas de solo se arranjam, “é o aspecto do conjunto dos torrões que aparecem naturalmente no solo” (LEPSH, 1993). Para Bertoni e Lombardi Neto (1993, p.61) há dois aspectos a serem considerados sobre a estrutura: “(a) a propriedade físico-química da argila que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água, e (b) a propriedade biológica causada pela abundância de matéria orgânica em estado de ativa decomposição”. A argila caulinítica é mais estável que a motmorilonítica na presença de água, sendo que a maior estabilidade dos agregados condiciona menos enxurrada e menos erosão.

A densidade aparente se refere à maior ou menor compacidade do solo e está relacionada de maneira inversa com a porosidade do solo, ou seja, “à medida que a densidade aparente de um solo aumenta, a porosidade diminui e, em conseqüência, ocorre a redução de infiltração de água no solo” (GUERRA, 1998, p.160). A permeabilidade do solo diz respeito à sua porosidade, sendo que quanto mais poroso, maior será sua infiltração. Por último sabe-se que a profundidade e as características do subsolo contribuem para sua capacidade de armazenamento de água sendo que os solos mais rasos se saturam mais rápido, promovendo escoamento superficial.

Para Hudson (1981, p.46) “the amount of erosion is therefore going to depend upon a combination of the power of the rain to cause erosion and the ability of the soil to withstand the rain” (A quantidade de erosão irá então depender da combinação do poder da chuva em causar erosão e a habilidade do solo para resistir à chuva). O autor explica que em termos matemáticos, a erosão é uma função da erosividade (da chuva) e da erodibilidade (do solo). A Figura 23 mostra como estes fatores se relacionam, combinando todos eles, com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou USLE (Universal Soil-Loss Equation), como é conhecida no mundo todo.

A forma de calcular a erosividade e a erodibilidade, bem como a própria USLE será tratada mais adiante (ver metodologia).

A topografia envolve a declividade do terreno e o comprimento de rampa, fatores que têm papel bastante importante no processo erosivo. O grau do declive influencia tanto na velocidade quanto no volume da enxurrada. Para Bertoni e Lombardi

Neto (1993, p.56) “o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, e essa velocidade é uma resultante do comprimento do lançante e do grau de declive do terreno”. Em baixas declividades a velocidade da enxurrada é pequena, tendo o solo mais tempo para absorvê-la, enquanto que numa declividade maior a velocidade da enxurrada será maior e maior será também o seu volume e em conseqüência, maior será a erosão. O mesmo se dá em relação ao comprimento do lançante, sendo que quanto maior o comprimento, maior será a velocidade da enxurrada e maior o seu volume (GALETI, 1973). Vê-se portanto que em geral, vertentes longas, retilíneas ou suavemente convexizadas ou concavizadas favorecem o aumento da energia do escoamento superficial da água. Tal é o caso da área de estudo, devido à presença de interflúvios alongados com topos amplos e vertentes retilíneas ou suavemente convexizadas, longas, como já exposto.

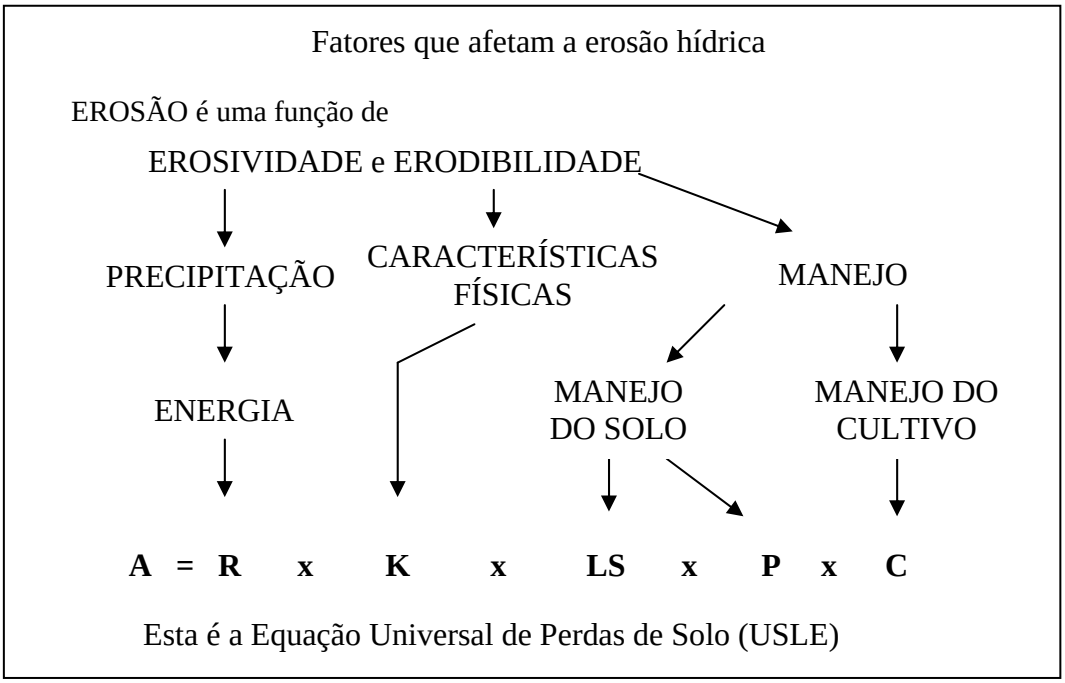


Figura 23: Fatores que afetam a erosão hídrica
Fonte: Traduzido de Hudson, 1981

A cobertura vegetal é um fator que de certa forma está relacionada com o tipo de manejo do solo, ou seja, a forma como a terra está sendo utilizada e manejada. O solo coberto por vegetação está mais protegido que um solo desnudo, ou em preparo para o cultivo. O tipo de cultura também vai influenciar, devido às diferenças de densidade de

cobertura proporcionadas por cada tipo de vegetação. De um modo geral pode-se dizer que a cobertura vegetal protege o solo do impacto direto das gotas de chuva, promove uma maior infiltração e diminui a velocidade do escoamento, além de fornecer matéria orgânica aos horizontes superficiais favorecendo a sua agregação física e estabilização e também melhorando a condição de fertilidade. Na área, os horizontes superficiais dos solos arenosos sob cobertura de Cerrado apresentam baixos teores de matéria orgânica, o que pode ter se agravado já que há várias áreas que mesmo com pastagem apresentam-se degradadas (superpastoreio, espécies mal manejadas, etc.).

Diante de todos estes fatores, Morgan (1995) amplia ainda a discussão sobre as causas da erosão do solo, que até pouco tempo eram mal compreendidas. O autor lembra que as pesquisas nesta área, particularmente a partir de 1940, resultaram num melhor conhecimento dos mecanismos dos processos erosivos e sua relação com o meio físico, e só recentemente pesquisas sistemáticas têm sido implementadas quanto aos fatores sociais, econômicos, políticos e institucionais que influenciam onde e quando a erosão ocorre. Isto se revela Num campo adequado para os estudos geográficos, em especial por permitirem a espacialização do problema focado diante das relações entre o meio físico e seus usos.

Para estabelecer a suscetibilidade de uma área à erosão laminar, Salomão (1999) lembra que ela pode ser determinada com base nos fatores naturais que influem no desenvolvimento dos processos erosivos, tais como a erosividade, a erodibilidade, a declividade e o comprimento de encostas. Com base nestes dados é possível se chegar a uma definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar e expressá-las num mapa, espacializando assim sua distribuição.

3.2.3. Métodos para cálculo preditivo de perdas de solo por erosão

Para se calcular as perdas de solo por erosão, há uma série de métodos que visam estabelecer estas perdas, fundamentados em previsões e estimativas que podem ser baseadas em modelos matemáticos, estatísticos ou empíricos (MORGAN, 1995). Os modelos de predição de perdas de solo, que são os baseados em dados empíricos, são os mais conhecidos e aplicados. São eles a USLE, já mencionada anteriormente, também conhecida por Equação Universal de Wischmeier, seu autor, e a SLEMSA – Soil Loss

Estimator Model for Southern Africa, também conhecida como “Equação de Zimbábue”. A USLE teve seu desenvolvimento embasado num grande número de dados dos Estados Unidos e é o mais aprimorado. A SLEMSA é bem mais simplificada, e por isso, menos precisa. No Brasil o modelo USLE tem sido utilizado por muitos pesquisadores, como Bertoni et al. (1975), Stein et al. (1987), Guatura (1996), Burin (1997), Graciato et al. (1997), Nascimento (1998), Bloise et.al (2001), Carvalho Júnior et al (2001), Rosa (2001), Weill et al. (2001), Fujihara (2002), dentre outros.

Um outro modelo é a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) , que conforme ressaltaram Norton e Laflen (1996, p.248) “is an effort to include present knowledge of all of the USLE factors and subfactors to more accurately predict soil erosion in the USA during the interim until the models of the Water Erosion Project (WEPP, [...]) are fully implemented” (é um esforço para incluir o presente conhecimento sobre todos os fatores e subfatores da USLE para uma mais acurada predição de perda de solos nos EUA durante o interino até que os modelos do Water Erosion Project (WEPP, [...]) sejam completamente implementados). A RUSLE foi desenvolvida e distribuída na forma de um programa computacional que roda na maior parte dos computadores pessoais (RENARD, 1996), mas não difere substancialmente da USLE.

Um outro tipo de modelo é o que Morgan (1995) chama de “physically-based” (fisicamente baseado). Estes são fundamentados em equações matemáticas para descrever os processos envolvidos no modelo, levando em consideração as leis de conservação de massa e energia. Destes podemos citar o CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), que é um modelo usado para avaliar a poluição e investigar quantitativamente as conseqüências ambientais de diferentes práticas agrícolas. Consiste de três componentes: hidrologia, erosão e química.

Um outro modelo é o WEPP (Water Erosion Prediction Project), que é baseado em estudos científicos modernos sobre hidrologia e erosão, projetado para substituir a USLE por organizações envolvidas em conservação do solo e da água e planejamento e avaliação ambiental (NEARING et al., 1989 apud MORGAN, 1995).

Podemos citar ainda o GUESS (Griffith University Erosion Sedimentation System) que é um modelo matemático que simula os processos de erosão e deposição ao longo de um declive e por último o EUROSEM (European Soil Erosion Model), designado

para computar o transporte de sedimentos, a erosão e a deposição sobre a superfície do solo ao longo de uma tempestade.

Frente a todos estes modelos, ao se escolher algum para aplicar em uma determinada área, há que se definir, a princípio, os objetivos da pesquisa, e também os dados disponíveis. Morgan (1995) destaca que o sucesso de cada modelo deve ser julgado pelo modo como ele satisfaz seus objetivos e exigências. Por isso há que se decidir numa escala temporal e espacial qual dos modelos de predição é requerido, e o nível de precisão, de forma que as falhas existentes em um modelo ou em outro não os fazem melhores nem piores, eles apenas não foram desenvolvidos para aquele tipo de predição, ou os dados necessários para tal modelo não foram utilizados/calculados de forma correta.

Por fim, ao se fazer a validação dos dados com a medição propriamente dita numa dada área de pesquisa, em Bertoni e Lombardi Neto (1993) e Morgan (1995) encontram-se uma série de experimentos de campo com suas respectivas metodologias, que envolvem o volume das perdas, a intensidade e a sua qualidade.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, optou-se por trabalhar com a USLE, que é expressa pela seguinte relação:

$$A = RKLSCP \qquad (1)$$

Onde:

A= perda de solo, em t (ha/ano);

R= índice de erosividade;

K= índice de erodibilidade;

L= índice relativo ao comprimento de encostas;

S= índice relativo à declividade da encosta;

C= índice relativo ao fator uso e manejo do solo;

P= índice relativo à prática conservacionista adotada.

Erosividade (Fator R)

É o componente relacionado à chuva (*Rainfall and runoff factor*). É um índice numérico que expressa a capacidade da chuva em provocar erosão, em uma área sem proteção (Bertoni e Lombardi Neto, 1993). As unidades mais comuns de medida são a toneladas métricas por hectare, milímetro por hora (tm/ha.mm/h) e Joule por metro quadrado por milímetro hora (J/m^2. mm/h).

Estudos indicam que a energia da chuva capaz de provocar erosão (EI30) está relacionada ao valor do produto de duas características da chuva: sua energia cinética total (Ec) e sua intensidade máxima em trinta minutos (I30), determinada em pluviógrafo (WISCHMEIER, 1959), sendo que estas pesquisas mostraram que este termo possui uma excelente correlação.

$$EI30 = Ec \times I30 \qquad (2)$$

Este produto representa um termo de interação que mede o efeito de como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas.

A energia cinética total (Ec) é uma energia decorrente do movimento das gotas de chuva. Seu valor em toneladas metro/hectare milímetro de chuva pode ser expresso pela equação:

$$Ec = 12{,}14 + 8{,}88 \log I \qquad (3)$$

onde I consiste na intensidade da chuva em mm/h, sendo o limite desta equação 75 mm/h. Para os valores em MJ/ha-mm (Megajoule/hectare-milímetro) de chuva, a equação é a seguinte:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (4)$$

Um dos problemas da aplicação desse índice é que sua aplicação (originalmente calculado em regiões temperadas) para regiões tropicais conduziu a certas superestimativas (HUDSON, 1981), de forma que o limite estabelecido de 75mm/h para a intensidade da chuva é devido ao fato de que as gotas de tamanho médio não continuam a aumentar quando a intensidade da chuva excede de 76mm/h. Este é o limite superior do campo de definição da variável I, sendo a energia cinética igual a 0,283 MJ/ha-mm (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993). Os valores de I30 são calculados nos registros de pluviógrafos, e constitui a máxima precipitação que ocorre num período qualquer de 30 minutos.

Geralmente, os problemas mais levantados em relação ao uso do EI30 se referem à falta de dados precisos sobre precipitações, que são pouco disponíveis em regiões tropicais, bem como a significância dos 30 minutos. Assim, buscando solucionar alguns problemas existentes da aplicação do EI30 em regiões diferentes de onde o mesmo foi desenvolvido, vários autores tentaram encontrar índices alternativos que melhor expressassem a erosividade da chuva em regiões tropicais. Um dos primeiros pontos que deve-se chamar atenção é o fato de que “at low intensity, rain is composed mainly of small drops, falling with low velocity, and hence low energy. Even if a little splash erosion does occur there is usually no run-off to carry away the splashed particles” (em baixas intensidades, a chuva é composta principalmente por gotas pequenas, caindo com velocidades baixas, e conseqüentemente baixa energia. Até se uma pequena erosão por splash acontecer normalmente não haverá escoamento superficial para carrear as partículas desprendidas) (HUDSON, 1981).

Sendo assim, vários autores têm colocado que para regiões tropicais o EI30 tem tido menos eficácia do que o esperado nos estudos desenvolvidos por Wischmeier nos EUA e com isso, desenvolveram-se experimentos a fim de se encontrar um índice que melhor expressasse as condições dessas regiões. Um dos pontos em discussão diz respeito ao limiar no qual uma chuva é considerada não erosiva ou erosiva. Os limiares encontrados variam geralmente entre 10mm/h para regiões temperadas e 25mm/h para regiões tropicais. O valor de 25mm/h deu origem ao índice KE>25, que consiste da soma da energia cinética

de todas as chuvas maiores que 25mm/h (HUDSON, 1981). Para climas temperados usa-se o KE>10, que compreende todas as chuvas maiores que 10mm/h.

Outros índices foram testados para diversas partes do mundo, como o AI_m, desenvolvido por Lal (1976) apud Lal (1979) na Nigéria, que obteve uma melhor correlação com o produto da quantidade de chuva total e a máxima intensidade. No caso do Brasil, conforme ressaltado por Marques et al. (1997, p.428)

> diversos trabalhos têm procurado definir o melhor índice de erosividade para as diferentes condições brasileiras. Tal índice seria aquele que melhor se correlacionasse com as perdas de solo, como feito por Wischmeier & Smith (1958). Embora os coeficientes de correlação entre o EI30 e as perdas de solo no Brasil sejam comumente inferiores aos encontrados em outros países (Morais, 1986), eles ainda assim são superiores aos obtidos com o uso do KE>25 [...]. Não obstante, geralmente não é observada diferença estatística entre ambos.

Cabe ainda ressaltar que a comparação entre os valores encontrados de erosividade deve ser bastante cuidadosa, principalmente em países diferentes, devido às diferenças tanto de métodos para cálculo ou mesmo por valores assumidos ao se desenvolvê-los, conforme nos lembra Morgan (1995), que cita como exemplo o caso da Bélgica, que leva em consideração chuvas maiores que 1,27mm para calcular a erosividade, na Alemanha as maiores que 10mm e intensidade superior a 10mm/h. No Brasil a maioria dos trabalhos utiliza o índice EI30, sendo que são consideradas as chuvas maiores que 10mm, ou aquelas que apresentaram menos de 10mm, mas que o seu volume em 15 min. seja de 6mm ou mais.

Apesar da existência de todos esses outros índices, é mais comum a utilização do EI30, uma vez que para sua utilização na USLE outros índices podem não ser compatíveis com o fator K, conforme nos lembram Ponçano e Christofoletti (1987).

Erodibilidade (Fator K)

K é o fator erodibilidade do solo, expresso geralmente em t/ha/(tm/ha.mm/h). De acordo com Wischmeier e Smith (1978) o termo “erodibilidade do solo” é diferente de “erosão do solo”.

> The rate of soil erosion, **A**, in the soil loss equation, may be influenced more by land slope, rainstorm characteristics, cover and management than by inherent properties of the soil. However, some soils erode more readily than others even when all other factors are the same. This difference, caused by properties of the soil itself, is referred to as the soil erodibility (WISCHMEIER & SMITH, 1978, p.8)[9].

Portanto, a erodibilidade do solo é um fator intrínseco a cada tipo de solo, é a sua suscetibilidade à erosão, e é recíproca à sua resistência à erosão, de forma que um solo com alta erodibilidade vai sofrer mais erosão do que um com baixa erodibilidade, estando ambos em mesmas condições em relação aos outros fatores: chuva, declividade e cobertura vegetal. A erodibilidade do solo "é influenciada pelas suas características físicas, principalmente aquelas que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte pela chuva e enxurrada" (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975a, p.1).

A determinação do fator K pode ser feita através de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são aqueles em que o solo é exposto à chuva natural ou à simuladores de chuva e os sedimentos coletados por coletores de erosão e posteriormente quantificados. Para essa determinação, Bertoni e Lombardi Neto (1993) explicam que o método padrão [baseado no desenvolvido por Wischmeier et al. (1971) e apresentado no *Agricultural Handbook*, 537, que é a base da USLE] utiliza parcelas unitárias de 25m de comprimento e declividade uniforme de 9%, em alqueive[10], preparada no sentido do declive. Os valores de 25m e 9% de declive foram escolhidos arbitrariamente, como termo de comparação. Estas medições são entretanto custosas, demoradas, além de ser difícil isolar os efeitos do solo de outros fatores.

> Já os métodos indiretos são baseados em parâmetros do solo determinados em análises laboratoriais de rotina, que levam em consideração as características físicas do solo, tais como o teor de argila, de areias e de silte, a permeabilidade do perfil do solo, o teor de matéria orgânica, dentre outros.

De acordo com Denardin (1990) apud Cavalieri (1994, p.12)

[9] Tradução: a taxa de erosão, A, na equação de perdas de solo deve ser mais influenciada pela declividade do terreno, as características da chuva, a cobertura vegetal e o manejo do que por aquelas propriedades inerentes do solo. Entretanto, alguns solos se erodem mais rapidamente do que outros mesmo quando os outros fatores são os mesmos.

[10] Alqueive significa um terreno que foi preparado e deixado livre de vegetação por um mínimo de dois anos, ou até que os resíduos da cultura anterior estejam decompostos (Bertoni e Lombardi Neto, op.cit.)

> diversos pesquisadores têm se destacado desenvolvendo trabalhos de modelagem para a determinação do fator erodibilidade do solo por métodos indiretos, baseando-se em equações que contenham, como variáveis independentes, parâmetros de solo altamente correlacionados com a erodibilidade. Essas equações são ajustadas por meio de análise de regressão dos valores de erodibilidade determinados pelos métodos diretos, em função de parâmetros físicos, químicos e mineralógicos do solo.

Há uma série de equações que tentam estipular a erodibilidade de cada solo por métodos indiretos, sendo que uma das mais conhecidas é a desenvolvida por Wischmeier et al (1971), que pode ser expressa por meio de um nomograma (Figura 24), ou de uma equação, apresentada junto com o nomograma, expressa por:

$$100K = 2{,}1\ M^{1{,}14}\ (10^{-4})\ (12 - a) + 3{,}25\ (b-2) + 2{,}5\ (c - 3) \qquad (5)$$

sendo:

K: valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo[11];

M: produto das porcentagens de silte (0,05 – 0,002 mm) mais areia muito fina (0,1 – 0,05 mm) e a soma da porcentagem de areia > 0,1mm e as porcentagens de silte mais areia muito fina;

MO: teor de matéria orgânica, em %;

b e c: estrutura da camada superficial e permeabilidade do perfil do solo, codificadas conforme o nomograma;

Para utilização do nomograma são necessários os mesmos dados utilizados na equação 5 e a descrição dos procedimentos aparece junto ao mesmo.

> Mais uma vez, no caso dos solos, assim como no das chuvas, em condições tropicais a utilização do nomograma não é muito recomendada, devido às características texturais e de composição química destes solos que são diferentes dos solos americanos que deram origem ao nomograma, em especial em relação à composição granulométrica, já que os solos americanos aí considerados teriam apreciável teor de silte (PONÇANO & CHRISTOFOLETTI, 1987).

[11] Para conversão do Sistema Internacional Americano Tradicional de Unidades para o Sistema Internacional de Unidades o valor deve ser multiplicado por 0,1317.

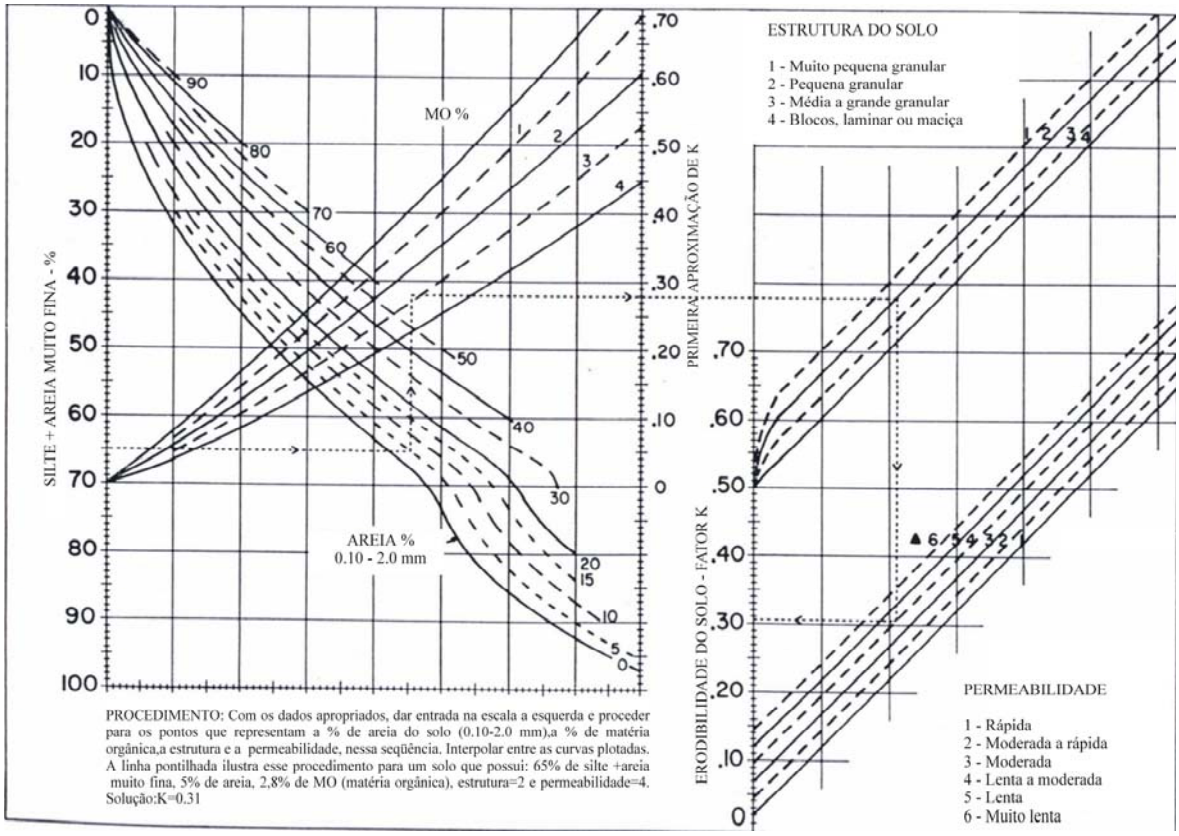


Figura 24: Nomograma de Wischmeier, para estabelecimento da erodibilidade dos solos.
Fonte: Traduzido de Wischmeier & Smith (1978).

No Brasil muitas pesquisas foram desenvolvidas tentando desenvolver ou ajustar equações que melhor expressassem as condições dos solos brasileiros. Assim, Lombardi Neto e Bertoni (1975a) estudaram dois agrupamentos de solos do Estado de São Paulo (que englobam solos podzólicos e latossolos), analisados conforme proposto por Midleton (1960) com algumas modificações. Os mesmos autores também apresentam estudo com a tolerância de perda de solos para estas classes de solos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1975b). Denardin (1990) citado por Cavalieri (1994) através de comparação de 31 solos brasileiros que dispunham de dados de métodos diretos e 49 solos americanos, seguido de análise de alguns métodos indiretos existentes, chegou à conclusão de que muitos desses modelos não apresentavam consistência para as condições brasileiras. Dessa forma chegou a um modelo ajustado, apresentando outra equação.

Apesar das críticas quando ao modelo nomográfico de Wischmeier et al. (1971), Baptista e Eid (2000) compararam quatro medos indiretos de determinação da

erodibilidade para os grandes grupos de solos do Distrito Federal e chegaram à conclusão de que esse método foi o que gerou resultados mais próximos dos valores obtidos experimentalmente.

Além deste trabalho, na região dos cerrados podemos citar ainda os trabalhos de Marques et.al. (1997) e Lima e Andrade (2001).

Comprimento de rampa e declividade (Fator LS)

L é o fator comprimento do declive (*splope-length factor*) e S o grau do declive (*splope-steepness factor*). O fator L consiste na relação de perdas de solo entre um comprimento de rampa qualquer e um comprimento padrão de 25m para o mesmo solo e grau de declive. O fator S é a relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive padrão de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa.

Adotou-se nesse trabalho a expressão comprimento de rampa, ao invés de comprimento de vertente (que é o mais utilizado por Geógrafos), pois pelo conceito tradicional na geomorfologia, uma vertente vai do divisor de águas (interflúvio) até o curso d'água (NASCIMENTO, 1998). A rampa nesse caso é definida como uma área com mesmo grau de declividade e mesma face (ou aspecto) em relação ao Norte (ROCHA et al., 1997). E conforme colocado por Guerra e Guerra (1997, p.634), a vertente pode ser definida como "planos de declives variados que divergem das cristas ou dos interflúvios, enquadrando o vale". Nos cálculos do fator LS trabalha-se portanto com segmentos de vertente (rampas), e não com a vertente toda, o que se torna uma relativa vantagem já que uma vertente pode conter vários declives.

Ambos fatores (L e S) são estudados conjuntamente, denominando-se fator topográfico, e o seu valor é adimensional. O comprimento de rampa tem grande importância na perda de solos, uma vez que quanto maior for a sua extensão, maior será a velocidade da enxurrada. A enxurrada é o notável agente de transporte e remoção do solo desagregado pelo impacto das gotas de chuva. Pode ser calculado experimentalmente através da fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1993):

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

onde LS é o fator topográfico, adimensional, C é o comprimento de rampa em metros e D é o grau de declive em porcentagem.

Tal equação foi obtida utilizando dados de perdas de solo numa média de dez anos de observações e permite calcular as perdas médias de solos para os variados graus de declive e comprimento de rampa. Os autores apresentam também uma figura com as curvas obtidas para o fator LS e um quadro com várias combinações de grau de declive e comprimento de rampa obtidos pela equação acima.

Tanto o cálculo da declividade quanto o de comprimento de rampas pode ser obtido manualmente, com ábacos diretamente sobre as bases topográficas ou por meio do geoprocessamento, sendo que este último é o mais utilizado. Existem vários softwares que realizam esses procedimentos, sendo que os mais utilizados são o SPRING (Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas), distribuído gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial), e o IDRISI.

O LS é um dos fatores mais importantes da USLE, conforme foi comprovado por Nascimento (1998) que encontrou altos valores de correlação entre o Potencial Natural de Erosão (PNE) e o fator topográfico. Das 30 microbacias que fazem parte da Bacia do rio João Leite - localizada entre as cidades de Goiânia e Anápolis, em Goiás - estudadas pela autora, 25 tiveram coeficiente de correlação igual ou superior a 0.95. Isso significa que, dos fatores naturais que compõe a USLE [erosividade (fator R), erodidibilidade (fator K) e fator topográfico], o fator LS tem um peso maior no resultado final da equação, ainda mais que para o fator R a média de correlação para as microbacias tenha sido de 0.48 e do fator K de 0.57.

Além da sua importância, o fator LS é também o que apresenta as maiores dificuldades para sua obtenção, principalmente em ambiente computacional e em especial o comprimento de rampa (L), o que se explica pela complexidade do relevo, uma vez que o declive pode ser reto, côncavo, convexo ou uma combinação de ambos (ROCHA et al., 1997; NASCIMENTO, 1998; JÚNIOR & GUIMARÃES, 2001; FUJIHARA, 2002; MERTEN, 2002). Uma das alternativas que têm sido utilizada em alguns estudos para esses cálculos é o programa LS-USLE 2D, desenvolvido por Desmet e Govers (2000), que

se baseia no conceito de área de contribuição, que considera o fluxo de superfície, o curso da erosão e a geometria da vertente. Esses parâmetros permitem que se estime com maior acurácia os processos erosivos decorrentes do escoamento superficial. Para o cálculo do fator L há ainda a metodologia proposta por Rocha et al. (1997), que visa estabelece-lo através do software “Idrisi”.

Uso e manejo da cultura (Fator C)

C é o fator uso e manejo da cultura (*Cover and Management factor*). É a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Segundo os autores esses fatores não podem ser estimados separadamente porque o efeito combinado de ambos é influenciado por muitas inter-relações significativas.

É o fator mais complexo de determinação pois depende das suscetíveis alterações por parte do agricultor, dependendo do tipo de cultura, do espaçamento, do tipo de consórcio, da fase de desenvolvimento da cultura, etc.

Existem tabelas com os valores de C para diferentes condições e sua precisão depende da semelhança de condições em que forem determinadas experimentalmente. Wischmeier e Smith (1978) apresentam a definição de todos os elementos componentes (cobertura vegetal, resíduos, etc.) do fator C, bem como nomogramas que servem para o cálculo destes componentes e os procedimentos para estabelecer este dado num determinado local.

Marques et al. (1961) obtiveram, através de dados experimentais, as perdas de solo por erosão no estado de São Paulo, cujos valores podem ser utilizados em condições semelhantes, ou mesmo para comparação com outras áreas. O efeito do sistema de preparo do solo mostrou que a perda de terra em t/ha, e mesmo a porcentagem de enxurrada aumentaram gradativamente de acordo com os seguintes sistemas: sub-superfície, uma aração e duas arações. O primeiro teve uma perda de solo de aproximadamente 8,5 ton/ha enquanto que para o último o valor foi de aproximadamente 14 ton/ha. O efeito da incorporação de matéria orgânica numa cultura de milho mostrou que com a incorporação

de palha queimada a perda de solo foi de aproximadamente 20 ton/ha enquanto que com a incorporação de palha enterrada e esterco a perda foi de cerca de 4 ton/ha. Para o tipo de uso do solo os autores mostraram uma relação interessante entre os principais tipos (mata, pastagem, cafezal e algodoal), a perda de terra e de água, o tempo gasto para o desgaste do solo e os valores (em Cruzeiros - Cr$), dos elementos nutritivos (N.P.K.) contidos em forma assimilável na terra arrastada por hectare por ano. A tabela apresentada a seguir (Figura 25) foi feita com base nos dados destes autores, e os valores, apesar de diferentes da moeda vigente atualmente (Real – R$) foram mantidos para se ter uma noção comparativa.

Tipo de uso do solo	Perda de		Tempo gasto em anos para desgaste de uma camada de solo de 15cm. de profundidade	Valor (Cr$) dos elementos arrastados
	Terra (ton/ha/ano)	Água (% sobre a chuva)		
Mata	0,004	0,7	400.000	0,44
Pastagem	0,4	0,7	4.000	45,00
Cafezal	0,9	1,1	2.000	89,00
Algodoal	26,6	7,2	70	2.575,00

Figura 25: Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão
Fonte: Marques et al. (1961)

Há também os trabalhos de Wischmeier (1960) e Moldenhauer e Wischmeier (1960), ambos para os EUA. O primeiro que fornece uma metodologia para se calcular o fator C, e o segundo que fala sobre a influência dos sistemas de cultivo, das práticas conservacionistas e características da chuva nas perdas de solo e água e nas taxas de infiltração.

No Brasil, além do que já foi citado, temos os trabalhos de De Maria e Lombardi Neto (1997), Brada e Cassol (1999) e Bertol et al. (2001;2002) dentre vários outros. No presente trabalho não vamos nos alongar muito sobre os fatores C e P, uma vez para se obter a suscetibilidade estes fatores não são utilizados, e para o mapa de risco, adotou-se uma metodologia adaptada de Salomão (1999) que inclui o uso da terra, mas não os fatores C e P, como proposto originalmente na USLE.

Práticas conservacionistas (Fator P)

Fator práticas conservacionistas. É a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo. Assim como para o fator C, vários autores apresentam tabelas que podem ser usadas para a determinação dos valores do fator P (WISCHMEIER & SMITH, 1978; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993). Para a RUSLE, Renard (1996) explica que o programa permite a aplicação do fator P em situações não possíveis com a tecnologia da USLE. Por outro lado, as incertezas dos resultados simulados podem aumentar devido à base empírica das equações usadas e a insuficiência ou inadequação dos dados para se fazer à verificação.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) citam que as práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são o plantio em contorno e em faixas de contorno, o terraceamento e a alternância de capinas.

Como exemplo do efeito das práticas conservacionistas em culturas anuais nas perdas de solo e água, Marques et al. (1961, p.1179) obtiveram os seguintes resultados:

> Tomando-se como base para a comparação do sistema de plantio morro abaixo, que perdeu 26,1 t/ha em terra arrastada e 6,9% da chuva caída por ano em água escorrida, verifica-se que simplesmente o plantio em contorno proporcionou um controle de 47% em perdas de terra e de 30% em perdas de água, que o plantio em contorno mais alternância de capinas proporcionou um controle de 63% em perdas de terra e de 31% em perdas de água e, finalmente, que o plantio em contorno mais faixas estreitas de cana-de-açúcar proporcionou um controle de 90% em perdas de terra e de 75% em perdas de água.

Estes valores mostram a importância das práticas conservacionistas na redução das perdas de solo e água e de como os valores de cada uma variam, cada qual proporcionando maior ou menor proteção. Estes dados podem ser observados também na tabela que se segue (Figura 26).

Práticas	Perda de	
	Terra (ton/ha/ano)	Enxurrada sobre a chuva (%)
Morro abaixo	26,1	6,9
Contorno	13,2	4,7
Alternância	9,8	4,8
Cordões de cana	2,5	1,8

Figura 26: Efeito de práticas conservacionistas em culturas anuais sobre as perdas por erosão (Médias na base de 1300 mm de chuva nos tipos de solo arenoso, massapê e roxa. Declives entre 6,3 e 10,8%).
Fonte: Marques et al. (1961)

Práticas como incorporação de palha queimada ou não, dentre outras, não têm sido utilizadas nos solos arenosos da alta bacia do rio Araguaia, donde se supõe que as perdas devam ser elevadas.

4. REVISÃO SOBRE MÉTODO, METODOLOGIA E OS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

O trabalho foi todo desenvolvido no Laboratório de Geologia e Geografia Física (LABOGEF), do Instituto de Estudos Sócio – Ambientais (IESA), na Universidade Federal de Goiás. O fato de estar inserido num projeto maior, como relatado no início deste trabalho, facilitou bastante o desenvolvimento da atual pesquisa, uma vez que já se dispunha de uma base de dados sobre a área de estudo, sobretudo em relação à caracterização geo-ambiental da área. Já estavam prontas todas as bases cartográficas e temáticas tais como os seguintes mapas: topográfico, geológico, geomorfológico, pedológico, hipsométrico, morfológico, morfopedológico, uso da terra, capacidade de uso da terra e discrepância, todos em escala de detalhe (1:60.000). Os dados de chuva, importantes para determinação da erosividade também já tinham sido coletados, tratados e interpretados por Ramos (2003) e por Marinho (2003), este para uma área piloto.

Na USLE, os fatores R (erosividade), K (erodibilidade), L (comprimento de rampa) e S (declividade) exprimem as condições naturais do clima, do solo e do relevo, e definem o Potencial Natural de Erosão (PNE), ou seja, referem-se aos componentes do meio físico que condicionam a erosão laminar e definem a sua suscetibilidade. "Corresponde às estimativas de perdas de solo em áreas totalmente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica" (STEIN et al., 1987, p.117). Os outros fatores da USLE (C e P) são antrópicos, e se relacionam às formas de ocupação das terras. O mapa obtido da integração dos fatores naturais, que representam valores numéricos, "não podem ser tomados como dados quantitativos de perdas de solo por erosão, servindo tão somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto à sua maior ou menor suscetibilidade à erosão laminar" (ROSA, 2001, p.3-4). Estes dados nos dão assim uma ordenação qualitativa, no sentido de comparação, para se saber quais áreas são mais propícias e quais são menos propícias ao desenvolvimento da erosão laminar.

Xavier (2003), trabalhando com planejamento geoambiental, abordou a importância da cartografia geotécnica como um subsídio ao planejamento e apontou os diversos tipos de cartas existentes, bem como suas definições. No caso do presente estudo, ao trabalhar com parâmetros da USLE a maioria dos autores geralmente chamam a carta

elaborada a partir dos fatores naturais da USLE de mapa de Potencial Natural à Erosão (PNE), já mencionada anteriormente, ou ainda de mapa de suscetibilidade à erosão; e quando complementam com os dados de uso das terras o mapa gerado é denominado de Potencial à Erosão Laminar (PEL), Risco à Erosão Laminar (REL) ou até mesmo Potencial Antrópico à Erosão (PAE), conforme sugerido e utilizado por Rosa (2001).

Zuquette e Nakazawa (1998) apud Xavier (2003) distingue as cartas de suscetibilidade das cartas de risco. Para esses autores a carta de suscetibilidade apresenta gradações de probabilidades de desencadeamento de um ou mais fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação. Já a carta de risco pondera a avaliação de dano potencial à ocupação. Outro autor que faz essa distinção é Canil (2000), que utiliza o termo "suscetibilidade à erosão" para os fatores naturais do meio físico, que corresponde à possibilidade de ocorrência da erosão frente a esses fatores. Esta carta quando cruzada com a de uso das terras dá origem à carta de risco à erosão.

O presente trabalho utiliza a metodologia proposta por Salomão (1999), feitas as devidas adaptações para a área da pesquisa. O autor utiliza os termos suscetibilidade à erosão laminar para se referir ao mapa obtido pelo cruzamento dos fatores naturais e potencial à erosão laminar ao mapa gerado pelo cruzamento do mapa de suscetibilidade com o de uso e ocupação das terras, definição genericamente semelhante à utilizada por Canil (2000), comentada acima. Portanto, a terminologia que utilizaremos será a mesma adotada por Canil (2000), sendo que o que Salomão (1999) chama de Mapa de potencial à erosão laminar chamaremos de Mapa de Risco à Erosão Laminar, por julgarmos a terminologia mais adequada e pela mesma confundir menos com o mapa de PNE.

Assim, para o estabelecimento do mapa de suscetibilidade à erosão laminar foi feita inicialmente uma compilação dos mapas que seriam necessários para calcular os fatores naturais da USLE:

- Base topográfica, com intervalos de 25m, para sobreposição e ajuste das rampas;
- Pedológico, para confecção do mapa de erodibilidade;
- Declividade, para cruzamento com o mapa de comprimento de rampas e estabelecimento do mapa do fator LS.

Os mapas que serviram de base para o cálculo da suscetibilidade e da carta de risco à erosão laminar da área da pesquisa se encontravam num banco de dados no programa SPRING e a base de dados sobre clima estava em planilhas do programa Microsoft Excel. Apresentaremos separadamente as etapas e a revisão crítica do método para cada fator utilizado da USLE, bem como dos produtos finais: mapa de suscetibilidade e risco à erosão laminar.

4.1. Fator R - Erosividade

Na USLE a erosividade é o índice que determina a capacidade da chuva em provocar a erosão e se baseia na energia cinética da chuva. O índice originalmente proposto para esse cálculo é o EI30, que é o produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima ocorrida num período qualquer de 30 minutos. Para obtenção desses valores são necessários dados diários de chuva, coletados por meio de pluviógrafos, para que se possa calcular sua intensidade. Devido à falta desse tipo de dado em muitas localidades, já que o que se dispõe geralmente são registros de pluviômetros, que fornecem apenas o total de chuva diária, vários autores tentaram correlacionar o índice de erosão com este fator climático. Desta forma, Lombardi Neto (1977) citado em D. Moreti et al (2003) estimou o índice de erosividade médio mensal do município de Campinas (SP) utilizando, exclusivamente, registros pluviométricos e a seguinte equação:

$$R_c = P_m^2/P_a \quad (7)$$

sendo R_c o coeficiente de chuva, P_m a precipitação pluviométrica média mensal e P_a a precipitação pluviométrica média anual, em mm, resultando na seguinte expressão, que possui coeficiente de correlação (r) de 0,091.

$$EI_{30} = 67{,}414\ R_c^{0{,}850} \quad (8)$$

Posteriormente inúmeras equações foram desenvolvidas com esse mesmo objetivo, sendo que para este trabalho, optou-se pela equação desenvolvida por Carvalho (1987) apud Moreti et al. (2003) para o município de Mococa (SP), pelas semelhanças nas características pluviométricas entre esse município e a área de pesquisa, o que resultou

num alto coeficiente de correlação em todas estações, como pode ser observado no quadro que se segue (Figura 26).

$$EI_{30} = 111{,}173\ R_c^{0{,}691} \quad (9)$$

sendo que EI_{30} representa o índice de erosividade médio mensal em MJ mm $ha^{-1}h^{-1}$, obtido mês a mês, e R_c o coeficiente de chuva, obtido pelo quociente entre o quadrado da precipitação pluviométrica média anual (equação 7).

Os dados de chuva registrados em pluviômetro, foram levantados junto à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) por Ramos (2003), conforme a tabela a seguir[12] (Figura 27).

Estação	Localização	Registro de dados	Coeficiente de Correlação (r)*
1. Alto Garças	16º56'38" S e 53º31'31" W	21 anos	0,9672
2. Alto Araguaia	17º18 07" S e 53º13'13" W	29 anos	0,9438
3. Fazenda Babilônia	17º21'07" S e 53º05'05" W	20 anos	0,9165
4.Fazenda Nicomedes	17º26'00" S e 52º51'00" W	15 anos	0,9607
5.Ponte do Cedro	17º34'46" S e 52º36'36" W	23 anos	0,9469
6. Fazenda Taquari	17º40'42" S e 53º15'05" W	20 anos	0,9508

Figura 27: Estações pluviométricas: localização, total de anos de registro de dados e coeficiente de correlação (r) para a fórmula adotada.
Fonte: Ramos, 2003 (*exceto r)

Os dados de quantidade de chuva diária foram agrupados e somados por mês e ano, de forma a se obter os totais de chuva anuais e mensais, e posteriormente calcular a média de chuva em cada mês, bem como a média anual da precipitação. Estes cálculos foram feitos para as seis estações, sendo que destas apenas uma se situa dentro da área da pesquisa propriamente dita, que é Estação Fazenda Taquari. As demais estações serviram como ponto de apoio para confecção do esboço do mapa de erosividade[13], possibilitando

[12] Para melhor visualização da localização das estações, pode ser conferido no anexo 01, o mapa que foi apresentado pela pesquisadora.
[13] Aqui foi feito somente um esboço do que seria o mapa de erosividade da área, devido à falta de dados de mais estações meteorológicas na área da pesquisa, que seriam necessários para uma interpolação mais adequada entre as estações.

uma melhor avaliação das variações de erosividade na área e seu entorno, da mesma forma como o fez Ramos (2003) em relação à precipitação média anual da área (Figura 03).

Para o cálculo da erosividade média mensal EI_{30} foi utilizada a equação 8, (ver página 92) sendo que para uma localidade que possua uma distribuição de chuva semelhante à do município para onde ela foi desenvolvida (Mococa-SP), e com uma série pluviométrica de no mínimo 20 anos, essa equação pode estimar com boa aproximação esses valores, usando apenas dados de quantidade total de chuva, conforme o colocado e aplicado por Moreti et al (2003). Tanto em relação à precipitação média anual das duas áreas quanto à sua distribuição anual, foram observadas semelhanças muito próximas, conforme pode ser observado no gráfico a seguir (Figura 28), que apresenta a comparação para a cidade de Mococa e para a Estação Fazenda Taquari.

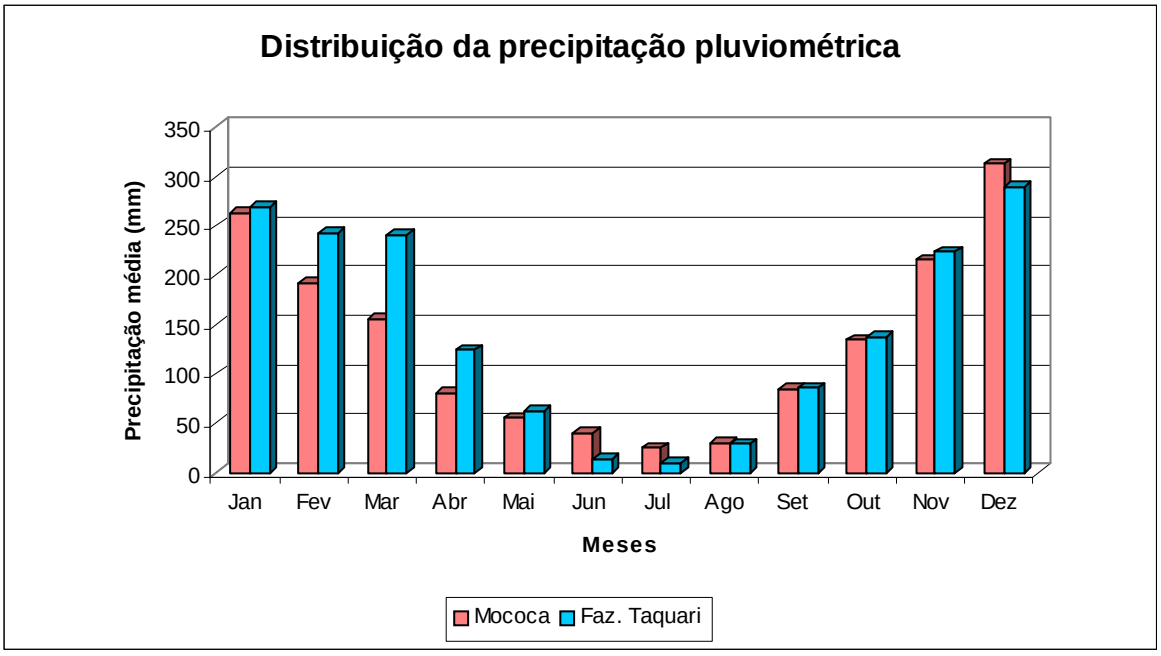


Figura 28: Comparação da distribuição da precipitação pluviométrica anual entre Mococa-SP e Fazenda Taquari-GO.

Foi feita ainda a validação da sua aplicação com base nos registros da Estação Fazenda Taquari, através do cálculo do intervalo de confiança entre suas respectivas precipitações médias mensais, visando à extrapolação do uso da referida equação (Figura 29). Com essa verificação pôde-se observar que a mesma é satisfatória para aplicação na área de pesquisa.

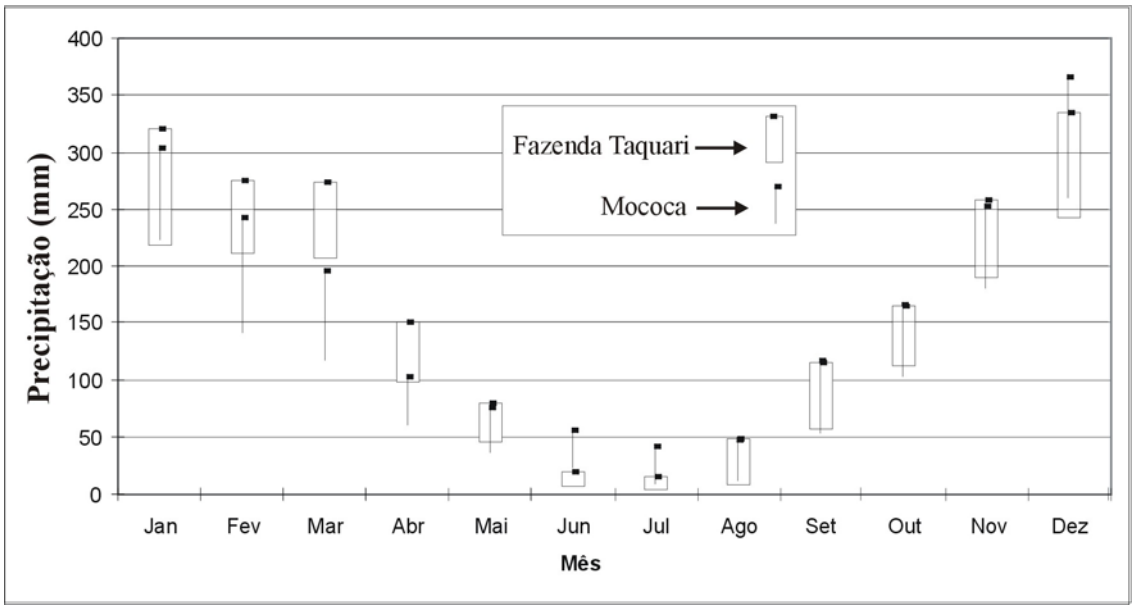


Figura 29: Intervalo de confiança (Fazenda Taquari x Mococa).

A obtenção dos índices de erosividade mês a mês, dentro de cada ano foi estimada por meio de regra de três simples e da seguinte forma:

$$Ei = (PM \times IE)/PA \qquad (10)$$

sendo ei o valor do índice de erosividade EI_{30} de um mês i contido num ano j da série de dados, PM é o total precipitado num mês i contido num ano j da série de dados, IE é o valor do índice de erosividade EI_{30} médio mensal, no qual o mês i está contido na série de dados, e PA o valor da precipitação média mensal no qual o mês i está contido na série de dados.

O índice de erosividade de cada ano é dado pela soma dos índices de erosividade de cada mês, dentro de cada ano, e por último, o fator R para determinada localidade é obtido pela média dos índices anuais de erosividade para o período estudado.

Foram ainda analisados a probabilidade de ocorrência e o correspondente período de retorno dos índices de erosividade EI30 anuais. A estimativa do período de retorno (T, em anos) foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$T = (N + 1) / m \quad (11)$$

sendo **N** o número de anos da extensão da série parcial de dados e **m** o número de ordem, quando os eventos climatológicos são relacionados em ordem decrescente de magnitude. Desta forma, a probabilidade em % (Pr), equivalente ao período de retorno foi calculada como:

$$Pr = 100 / T \quad (12)$$

A geração do esboço do mapa de erosividade foi feita utilizando o programa Spring, da seguinte maneira: inicialmente foi feita uma espacialização das estações pluviométricas através de um arquivo ASCII (arquivos constituídos de X, Y e Z, ou seja latitude, longitude e o respectivos valor de erosividade de cada estação). Os dados espacializados deram origem a uma MNT (Modelo Numérico de Terreno), que é uma grade retangular criada através da interpolação dos dados das estações pluviométricas, gerando uma grade em tons de cinza (grade de valores). O interpolador utilizado foi o de Médias Ponderadas. Depois de feita a grade retangular foi feito um fatiamento e associação de cores em função das classes de intervalos de valores de erosividade.

4.2. Fator K - Erodibilidade

Os valores de K foram obtidos através da comparação e posteriormente da associação dos valores encontrados em diversos trabalhos, em locais que possuíam o mesmo tipo de solo, e procurando aqueles que apresentavam também as maiores semelhanças entre eles.

Procurou-se ainda optar por aqueles dados que foram estabelecidos pelo mesmo pesquisador, ou pelo mesmo método, uma vez que mesmo utilizando o mesmo método, para um mesmo tipo de solo, os valores encontrados variam muito de um trabalho para outro (a tabela com esses valores encontra-se no anexo 02).

Desta forma, analisando os vários valores de erosividade encontrados para cada tipo de solo, e o método como foram calculados, observou-se uma tendência crescente de erobibilidade assim expressa, em t h (MJ mm), da menor para a maior: LV (0,013), RL (0,016), LVA (0,020), RQ (0,027), RQg (0,031) e PVA (0,042).

Esses valores aqui adotados foram compilados de Baptista e Eid (2000) com exceção do RL, que foi encontrado em Freire e Pessoti (1974) apud Resende e Almeida (1985). Cabe ressaltar que em relação ao RL, estes solos geralmente possuem erosividade alta, mas aqui o valor que achamos que melhor representa esse solo na Alta Bacia do rio Araguaia foi apresentado por estes autores, uma vez que em ambos locais de pesquisa esse solo se encontra sobre um substrato de basalto. Mesmo os outros valores encontrados apresentam valores semelhantes: 0,0158 para Cambissolos e Litólicos (BLOISE et al, 201); 0,024 para Cambissolos distróficos (BAPTISTA & EID, 2000) (Ver anexo 02).

Pelo que foi pesquisado por Baptista e Eid (2000), que analisaram quatro métodos indiretos de erodibilidade para os grandes grupos de solo do Distrito Federal (DF), o método do nomograma de Wischmeier et al. (1971) foi o que gerou resultados mais próximos dos obtidos experimentalmente por Bertoni e Lombardi Neto (1993). Além disso, os autores optaram por trabalhar com esses dados, “por ser, dentre os métodos indiretos estudados, o mais completo, uma vez que contempla os aspectos texturais, estruturais e orgânicos, além da permeabilidade” (BAPTISTA, 1997 apud BAPTISTA & EID, 2000, p.68).

Em seguida foi feita uma reclassificação do mapa de solos de acordo com os valores encontrados de erodibilidade, que foram agrupados nas seguintes classes (Figura 30):

Classes de erodibilidade		
0,007 a 0,025	→	baixa erodibilidade (LV, LVA, RL, C)
0,026 a 0,031	→	média erodibilidade (RQ, RQg)
> 0,031	→	alta erodibilidade (PVA)

Figura 30: Classes de erodibilidade (fator K, em t.h/MJ.mm) para os solos do Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia.

Dessa forma, o mapa de solos sofreu apenas um reagrupamento de suas classes em concordância às classes de erodibilidade. Nessa classificação, os LATOSSOLOS, os NEOSSOLOS LITÓLICOS e os CAMBISSOLOS possuem uma baixa erodibilidade, vindo em seguida os demais NEOSSOLOS, com média erodibilidade, e o ARGISSOLO que apresenta uma alta erodibilidade.

4.3. Fator LS – Comprimento de rampa e declividade (Fator topográfico)

Para o fator S (declividade) foi feita uma compilação do mapa existente, que foi elaborado por Barbalho (2002). Já para o fator L (comprimento de rampa), as rampas já haviam sido traçadas por Santos (2001) sobre a base topográfica, com ajuste apoiado em fotografias aéreas, mas estavam apenas em papel overlay. Dessa forma, foi feita então a digitalização das rampas via mesa digitalizadora, no programa Spring, e posterior ajuste com sobreposição das curvas de nível, para se estabelecer os comprimentos de rampa representativos.

Em seguida foi feita a interpolação desses valores, gerando uma grade MNT (Modelo Numérico do Terreno) para que pudesse ser feito o cruzamento dos dois fatores (L e S), através de uma ferramenta do Spring denominada LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). A tabela com esses cruzamentos encontra-se no anexo 03. Para esse cruzamento foi empregada a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1993), que foi utilizada na maioria da bibliografia consultada (STEIN et al., 1987; NASCIMENTO, 1998; ROSA, 2001; ALVES, 2002; FUJIHARA, 2002), a saber:

$$LS = 0{,}00984\ C^{0,63}\ D^{1,18} \qquad (13)$$

Onde:

LS = fator topográfico (adimensional);

C = comprimento de rampa em metros;

D = grau do declive em porcentagem.

O mapa do fator LS é adimensional, e seu valor variou de 0 a 70. Foi feito um fatiamento em 7 classes, que foram posteriormente utilizadas no mapa de suscetibilidade: 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40, 50 a 60 e 60 a 70.

4.4. Mapa de suscetibilidade à erosão laminar

O estabelecimento do Mapa de suscetibilidade à erosão laminar seguiu a proposta de Salomão (1999), que por sua vez se baseou nos critérios do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas – (1986), de São Paulo. A figura a seguir ilustra o roteiro metodológico traduzido nas etapas de trabalho (Figura 31).

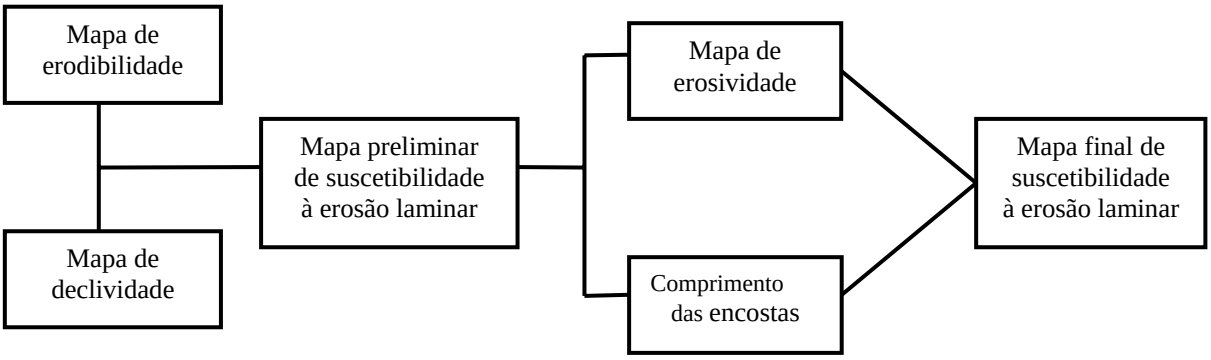


Figura 31: Roteiro metodológico para a definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar.
Fonte: SALOMÃO (1999).

Para o Setor Sul do Alto Curso da Bacia do Rio Araguaia foram feitas algumas adaptações na metodologia proposta. Inicialmente foi feito um cruzamento do mapa de declividade com o de erodibilidade, e logo após, outro cruzamento, entre o mapa do fator LS e o de erodibilidade, sendo que ambos não apresentaram diferenças significativas. Isso demonstra o peso maior da declividade, que juntamente com a erodibilidade são os dois fatores determinantes na definição das classes de suscetibilidade, conforme apontado por Salomão (1999). Portanto, o estabelecimento do mapa final de suscetibilidade foi feito através de um cruzamento matricial do fator LS e da erodibilidade, conforme os critérios apresentados a seguir (Figura 32):

Solos da área de estudo*		Fator LS			
		I (51-70)	II (34-51)	III (17-34)	IV (0-17)
Erodibilidade Fator K	1- PVA	I	I	II	II
	2- RQ, RQg	I	II	II	III
	3**	-	-	-	-
	4- LV; LVA; RL;C	III	IV	IV	V
	5**	-	-	-	-

* PVA – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO; RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; RQg – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico; LV – LATOSSOLO VERMELHO; LVA – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO; RL – NEOSSOLO LITÓLICO; C - CAMBISSOLO
** Na área de estudo não há nenhum tipo de solo representativo dessas classes.

Figura 32: Quadro – Classes de suscetibilidade à erosão laminar, por meio da relação erodibilidade X fator LS, para os diferentes solos encontrados na área.
Fonte: adaptado de SALOMÃO (1999), para os solos presentes na área de estudo.

Como o autor ressalta, as classes de suscetibilidade relacionam-se com as classes de capacidade de uso (como propostas por Lepsch [1991]), a saber:

- **CLASSE I: EXTREMAMENTE SUSCETÍVEL** – Corresponde às classes VII e VIII de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou para reflorestamento.

- **CLASSE II: MUITO SUSCETÍVEL** – Corresponde à classe VI de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento.

- **CLASSE III: MODERADAMENTE SUSCETÍVEL** – Corresponde à classe IV de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle da erosão.

- **CLASSE IV: POUCO SUSCETÍVEL** - Corresponde à classe III de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle da erosão.

- **CLASSE V: POUCO A NÃO SUSCETÍVEL** – Corresponde às classes I, II e V de capacidade de uso das terras. A classe I de capacidade de uso corresponde a

terrenos sem problemas especiais de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura; a classe II corresponde a terrenos com problemas simples de conservação, podendo também ser utilizados com qualquer tipo de cultura, porém exigindo práticas não mecanizadas de controle da erosão; a classe V corresponde a terrenos sem problemas de conservação, mas exigindo técnicas especiais de cultivo, por se constituírem de solos encharcados.

O cruzamento dos mapas do fator LS e o de erodibilidade foi feito em ambiente computacional, utilizando o software Spring, através da ferramenta de cálculos LEGAL. A tabela com os referidos cruzamentos encontra-se no anexo 04. Embora para o fator LS tenha sido feito um fatiamento de 10 em 10, as quatro últimas classes, que são as que apresentam valores mais altos para esse fator (30-40, 40-50, 50-60 e 60-70) foram agrupadas para efeito do estabelecimento da suscetibilidade (Figura 33). Ela corresponde às áreas com declividade acentuada (20 a 45%), se enquadrando na classe I de declividade da proposta original de Salomão (1999).

Fator LS	%	Declividade	%
0-10	70,1	0-6	69,9
10-20	23,4	6-12	25,2
20-30	4,8	12-20	4,3
30-70	1,7	20-45	0,6
Total	100,0	total	100,0

Figura 33: Comparação entre as classes de declividade e do fator LS.

Ainda pela metodologia proposta por Salomão (1999), o mapa de erosividade deve ser sobreposto ao de suscetibilidade, a fim de se realizar os devidos ajustes, definindo com maior precisão as diferentes classes de suscetibilidade à erosão laminar. A análise a partir dessa sobreposição mostrou-se mais interessante entretanto sobre o mapa de risco à erosão laminar, como será comentado adiante.

4.5. Mapa de risco à erosão laminar

Uma vez que o mapa de suscetibilidade reflete apenas as condições naturais dos terrenos frente ao desenvolvimento dos processos erosivos e, sabendo que “áreas com um mesmo nível de suscetibilidade ocupadas de maneira diferente apresentam variados

potenciais ao desenvolvimento da erosão laminar" (SALOMÃO, 1999, p.241), o mapa de risco à erosão laminar pode ser definido como o resultado da interação entre a suscetibilidade de uma área e o seu uso e ocupação atual.

O método para o estabelecimento do mapa de risco à erosão laminar consiste no cruzamento matricial do mapa de suscetibilidade à erosão laminar com o mapa de uso das terras, conforme o esquema e a matriz a seguir (Figuras 34 e 35), que são baseados na metodologia acima citada.

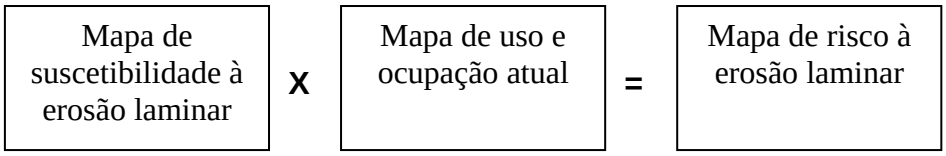


Figura 34: Método para estabelecimento do Mapa de risco à erosão laminar.
Fonte: Adaptado de Salomão (1999)

As classes de uso da terra propostas por Salomão (1999) são cinco, sendo que o mapa existente da área da pesquisa teve seu tipo de uso associado a estas classes, a saber:

- Agricultura - **Classe I**: cobertura vegetal de baixo e médio porte, com intensa atividade antrópica (culturas anuais, estradas e áreas urbanizadas);
- Pastagens – **Classe II**: cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica moderada (culturas perenes, cana-de-açúcar e pastagens);
- Cerrado ralo – **Classe III**: cobertura vegetal de porte alto a médio, com atividade antrópica muito reduzida (pasto sujo e campo cerrado);
- Cerrado denso – **Classe IV**: cobertura vegetal de porte alto a médio, com atividade antrópica muito reduzida (reflorestamento, capoeirão e florestas);
- Campo limpo úmido e mata ciliar – **Classe V**: espelhos d'água e várzeas, cujo potencial erosivo pode ser considerado nulo.

Tendo o tipo de uso das terras existente na área de pesquisa, associado às classes estabelecidas por Salomão (1999), o cruzamento deste com as classes de

suscetibilidade à erosão laminar, para a geração do mapa de risco à erosão laminar, foi feito de acordo com o exposto na matriz abaixo (Figura 35).

		Classe de ocupação das terras				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
Classes de suscetibilidade	**1**	I	I	I	II	--
	2	I	II	II	III	--
	3	II	II	II	III	--
	4	II	III	III	III	--
	5	III	III	III	III	III

Alto potencial Médio potencial Baixo potencial

Figura 35: Matriz de definição das classes de risco à erosão laminar
Fonte: adaptado de IPT (1990) apud SALOMÃO (1999).

Para essa matriz as classes são assim definidas:

- **Classe I: alto potencial** – uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar;

- **Classe II: médio potencial** – uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas;

- **Classe III: baixo potencial** – uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

O cruzamento desses mapas para obtenção do risco à erosão laminar, assim como o estabelecimento do mapa de suscetibilidade, foi feito através do programa LEGAL, do Spring (ver tabela de cruzamentos – Anexo 05), que utiliza de parâmetros indicados pelo pesquisador, que estipula os dados a serem cruzados, sendo que para tal, utilizou-se as matrizes expostas acima (Figuras 33 e 35).

5. A SUSCETIBILIDE E O RISCO À EROSÃO LAMINAR NO SETOR SUL DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO ARAGUAIA

5.1. Análise dos fatores

A seguir, são apresentados e discutidos os fatores condicionantes da suscetibilidade e risco à erosão laminar da área pesquisada.

5.1.1. Erosividade (Fator R)

Erosividade x Distribuição das chuvas

Iniciamos falando sobre a precipitação média (mensal e anual) na área de estudo e seu entorno, uma vez que esses dados de chuva são a base de cálculo para a erosividade. Vemos, pela tabela a seguir (Figura 36), que o valor da precipitação média anual para as seis estações situadas na área e seu entorno, varia de 1365 a 1727 mm confirmando as médias comuns para a precipitação regional (NIMER, 1979), como já exposto.

Estações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média anual
Alto Garças	260	214	212	104	58	35	7	19	74	120	208	272	1583
Alto Araguaia	283	240	226	114	50	22	12	20	82	161	214	258	1682
Babilônia	294	202	264	116	52	28	12	17	89	151	212	247	1685
Nicomedes	268	223	219	98	50	16	13	19	81	157	233	267	1644
P. Cedro	243	192	171	94	45	15	12	27	64	126	170	205	1365
Faz. Taquari	269	243	241	124	62	13	10	29	86	138	224	289	1727

Figura 36: Precipitação média mensal e anual –AltaBacia do rio Araguaia, 1964-1999*
* Os dados nem sempre são contínuos, e os dados iniciais e finais de cada Estação são diferentes.

A espacialização das médias através das isoietas para o período chuvoso e para o período seco (Figuras 37) mostra a diferença de chuva entre as estações e sua espacialização, e sobretudo, a grande diferença da quantidade média de chuva entre os dois períodos, como foi calculada por Ramos (2003). Observando estes mapas vemos que as

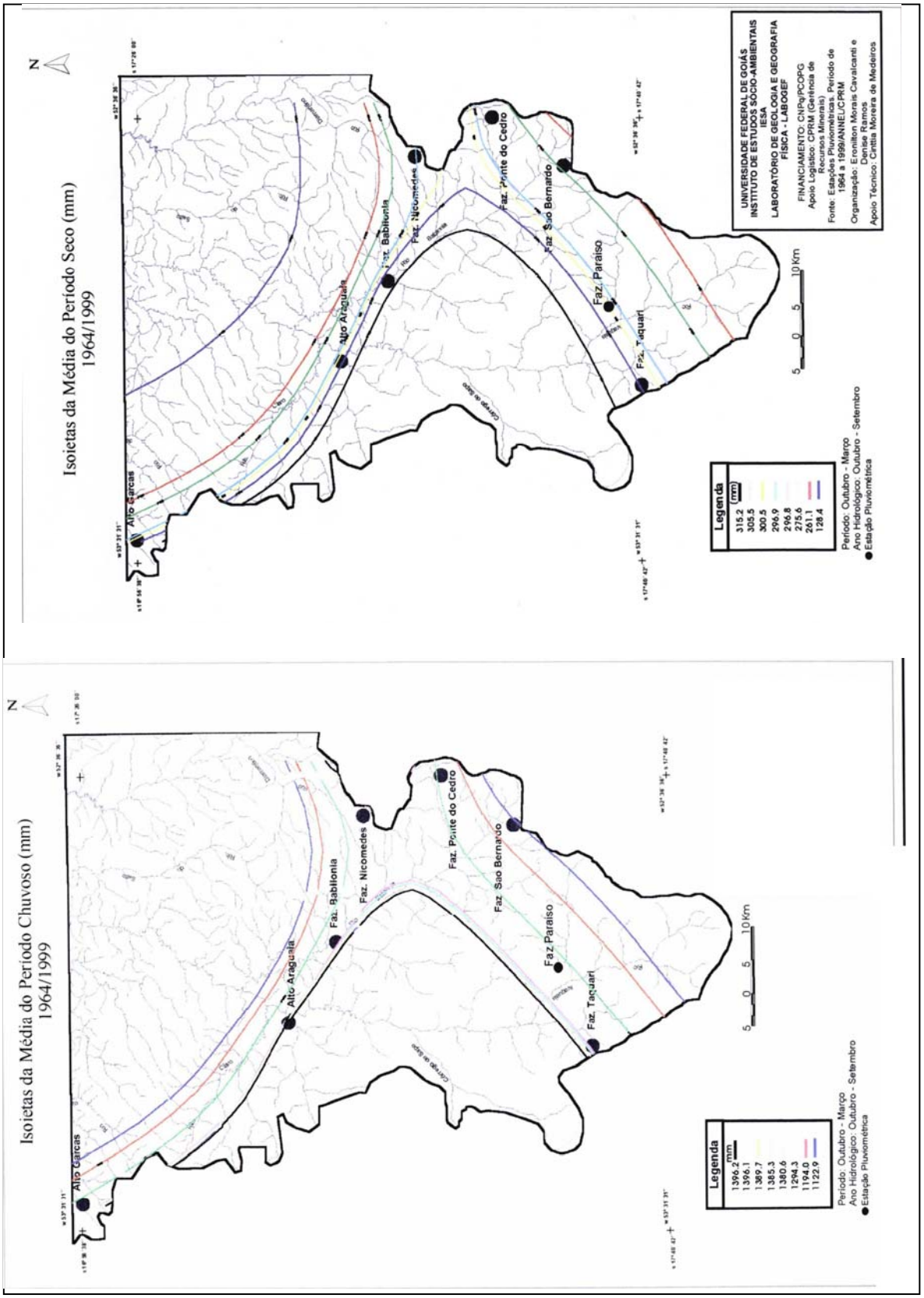


Figura 37: Isoietas do período seco e chuvoso

isoietas das médias, tanto para o período chuvoso quanto para o período seco, tendem a aumentar no sentido sudeste-noroeste. O esboço do mapa de distribuição espacial da erosividade elaborado para a área repete essa mesma tendência (Figura 38).

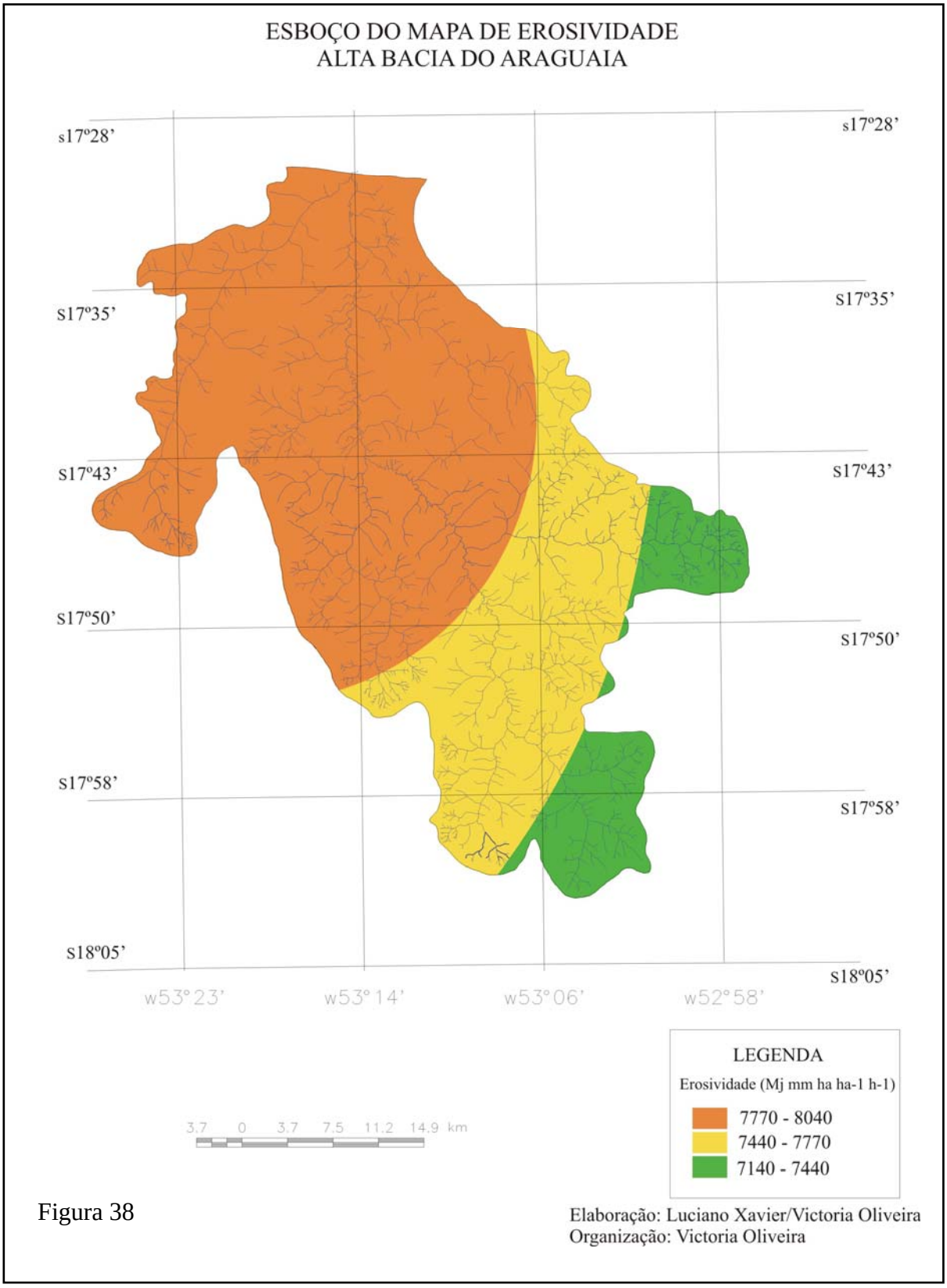


Figura 38

Para a Estação Fazenda Taquari, única oficial situada na área propriamente dita de pesquisa, a precipitação média anual foi de 1727mm, e seus valores mensais encontram-se representados nas figuras 39 e 40. Pela análise dos dados, percebe-se que as chuvas na região estão bem concentradas no período de outubro a março (81,25% das chuvas), conforme já havia sido constatado também por Ramos (2003), trabalhando com análise pentadial (séries de cinco dias consecutivos).

	Precipitação pluviométrica (mm)												
	Mensal												***Anual***
Ano	**Jan.**	**Fev.**	**Mar.**	**Abr.**	**Maio**	**Jun.**	**Jul.**	**Ago.**	**Set.**	**Out.**	**Nov.**	**Dez**	
1970	102	268	113	8	37	3	5	0	79	162	184	121	1081
1971	128	110	252	66	111	10	42	7	37	192	78	124	1156
1973	203	107	244	132	137	27	1	0	35	245	356	183	1671
1974	287	212	398	245	56	24	0	38	12	98	125	249	1744
1975	225	211	285	134	107	5	0	0	42	118	261	175	1563
1976	171	329	273	85	58	0	0	33	132	163	199	278	1720
1978	329	279	118	57	109	1	26	0	87	65	216	453	1740
1979	**600**	172	202	109	44	0	29	43	253	113	212	342	2116
1980	228	260	142	104	42	30	0	1	177	48	260	354	1646
1981	284	340	268	91	29	37	0	3	86	138	366	313	1954
1982	382	209	325	131	72	33	8	33	170	137	210	327	2039
1983	325	277	208	108	37	1	39	0	82	157	242	420	1894
1984	219	243	233	126	34	0	0	175	59	169	327	344	1928
1985	404	165	236	179	26	3	2	0	84	104	209	159	1570
1986	164	229	259	68	101	0	9	81	56	159	236	401	1763
1987	297	277	187	144	37	21	0	0	45	55	272	332	1666
1988	254	379	361	221	3	0	0	0	31	100	203	350	1902
1989	255	290	263	171	33	49	16	52	6	269	172	371	1947
1990	256	257	210	178	107	11	10	82	156	133	121	195	1717
Total	5112	4613	4575	2354	1180	255	188	548	1630	2622	4248	5491	32814
Média	269	243	241	124	62	13	10	29	86	138	224	289	**1727**

Figura 39: Pluviosidade mensal - Estação Fazenda Taquari, no período 1970 a 1990.

	Pluviosidade (mm)		Fator R (MJ mm (ha h)$^{-1}$	
	Total	%*	Total	%**
jan	269	15,58	1468,75	17,38
fev	243	14,06	1274,81	15,08
mar	241	13,94	1260,32	14,91
abr	124	7,17	503,10	5,95
mai	62	3,60	193,68	2,29
jun	13	0,78	23,26	0,28
jul	10	0,57	15,31	0,18
ago	29	1,67	66,97	0,79
set	86	4,97	302,77	3,58
out	138	7,99	583,91	6,91
nov	224	12,94	1137,63	13,46
dez	289	16,73	1621,78	19,19
Total	**1727**	100,00	**8452**	100,00

*out-mar =81,24 %; abr-set =18,76 %
**out-mar=87% ; abr-set=13%
Figura 40: Estação Fazenda Taquari – média mensal da pluviosidade e do fator R, para o período 1970-1990

A figura 39 mostra detalhadamente a precipitação pluviométrica mensal para cada ano da série analisada (1970-1999) . Nela constatamos variação de 0 a 600mm, este último valor ocorrido em janeiro de 1979, quantidade muito acima da média para esse mês, que é de 269mm. Janeiro com esta média e dezembro com 289 mm são os meses que apresentaram médias mais altas. Já para os totais anuais o ano que apresentou menor quantidade de chuva foi 1970, com 1081 mm de chuva, e o mais chuvoso foi 1979, cujo valor alcançou 2116mm, lembrando que a média para os dezenove anos da série foi de 1727 mm.

Em relação à erosividade os cálculos efetuados revelam a mesma tendência, sendo que o período chuvoso responde por 87% do total da erosividade calculada para a área, indicando que neste período são esperadas as maiores perdas de solo por erosão, enquanto que os meses secos (abril a setembro) não e, além disso, correspondem a apenas 13% do total anual (Figuras 40 e 41).

	Índice de erosividade EI_{30}												
	Mensal - MJ mm (ha h)$^{-1}$												Anual
Ano	**jan.**	**fev.**	**mar.**	**abr.**	**maio**	**jun.**	**jul.**	**ago.**	**set.**	**out.**	**nov.**	**dez.**	*
1970	559	1421	586	32	115	6	8	0	285	698	936	687	5333
1971	705	582	1311	266	346	16	65	16	132	826	395	706	5367
1973	1119	569	1272	534	424	46	2	0	127	1052	1817	1044	8005
1974	1582	1121	2073	989	173	42	0	88	44	420	639	1420	8591
1975	1240	1118	1485	543	331	9	0	0	150	506	1333	998	7713
1976	939	1743	1421	344	181	0	0	76	475	700	1013	1583	8475
1978	1811	1480	614	229	339	2	40	0	312	282	1100	2583	8790
1979	3304	909	1050	439	136	0	44	99	909	484	1079	1949	10402
1980	1255	1378	738	419	131	52	0	2	636	208	1325	2018	8162
1981	1565	1801	1396	367	90	63	1	6	308	592	1867	1784	9839
1982	2103	1110	1694	530	224	58	13	78	609	591	1073	1863	9945
1983	1790	1465	1081	434	114	2	59	0	294	674	1233	2396	9543
1984	1203	1288	1213	508	106	0	0	409	211	726	1667	1963	9294
1985	2224	872	1229	722	81	4	3	0	302	448	1067	906	7858
1986	900	1216	1348	276	314	1	14	189	200	684	1203	2284	8627
1987	1633	1466	976	580	115	35	0	0	163	237	1387	1892	8484
1988	1398	2010	1881	891	9	0	0	0	109	431	1035	1995	9760
1989	1404	1534	1372	691	102	84	25	122	23	1156	878	2113	9503
1990	1408	1362	1095	717	333	19	16	192	561	572	617	1114	8006
Média	1469	1275	1260	503	194	23	15	67	303	584	1138	1622	**8452**

Figura 41: Valores médios mensais e anuais do índice de erosividade EI_{30} na Estação Fazenda Taquari, no período 1970 a 1990.

A amplitude da erosividade mensal variou de 0 a 2583 MJ mm (ha h)$^{-1}$, sendo que estes valores bem como o fator R anual encontrado (8452 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) estão de acordo com o que vem sendo obtido no país, em condições tropicais subúmidas (clima de estações contrastadas), como mostra a figura 42.

Município	Erosividade	Autor	Fonte
Teodoro Sampaio-SP	7,172	Colodro et al (2002)	Colodro et al (2002)
Cáceres-MT	7,776	Morais et al. (1991)	Colodro et al (2002)
Corixa-MT	7,278	Morais et al.(1991)	Colodro et al (2002)
Goiânia-GO	8,355	Silva et al (1986)	Colodro et al (2002)
Fortaleza-CE	6,774	Dias e Silva (2003)	Dias e Silva (2003)
Região de bsb	8,319	Dedecek (1978)	Stree et al (2002)
Estação flexas-Cáceres (MT)	7,830	Morais et al (1991)	Stree et al (2002)
Estação barranquinho-Cáceres (MT)	8,493	Morais et al (1991)	Stree et al (2002)

Figura 42: Índice de erosividade calculado para vários locais do país.

Voltando aos dados de erosividade (Figura 41) vemos que o ano de 1970, que foi quando ocorreu a menor erosividade, foi um ano que pode ser considerado atípico no conjunto, devido à baixa pluviosidade, característica que se manteve similar em 1971. A partir daí e tomando por base aquele ano, houve um aumento na quantidade de chuvas, sendo que os anos mantiveram valores de pluviosidade próximos à média, que é de

1727mm/ano. É interessante notar também o quanto são baixos os índices pluviométricos nos meses secos, principalmente nos meses de junho a agosto, como o ano de 1988 que não registrou chuvas nesses três meses, ou outros anos que apresentaram valores muito baixos para esses meses juntos: 8mm em 1970, 5mm em 1975 e 5mm em 1985. Isso é bastante comum no inverno nessa região e decorre da ausência quase absoluta das Its (linhas de instabilidade tropical), que são as responsáveis pelas chuvas na região, concentradas sobretudo no verão (NIMER, 1989). De acordo com esse autor, a média de dias de chuva nessa região é de 4 a 5 dias nesses meses.

Comparando os dados de quantidade de chuva com os de erosividade, apresentados na figura 38, vemos que ao longo do ano estes apresentam íntima relação, como era de se esperar, pois se há mais chuva, conseqüentemente os valores de erosividade serão maiores (Figura 43). O gráfico apresentado nessa figura indica haver uma harmonia entre as distribuições médias mensais do fator erosividade e da pluviometria na Estação Fazenda Taquari. Observa-se que os maiores valores de erosividade média (de 1000 a 1600 MJ mm ha^{-1} h^{-1}) estão associados aos meses de maiores precipitações, o que era esperado. Com isso vemos também, como já mencionado, que tanto as chuvas quanto os valores de erosividade são maiores no período que vai de outubro a março, representando 81% da precipitação e 87% da erosividade anuais.

A comparação entre os valores de pluviosidade e erosividade foi feita também ao longo dos anos da série, para melhor visualizar sua dinâmica (Figura 44). Pelo gráfico vemos que a chuva, e conseqüentemente, a erosividade, tiveram um pequeno aumento a partir de 1970. Esse aumento pode ser verificado mais especificamente a partir de 1973, a partir de quando a tendência se mantém mais próxima às médias (1727 mm/ano para a precipitação e 8.454 MJ mm ha^{-1} h^{-1} para a erosividade).

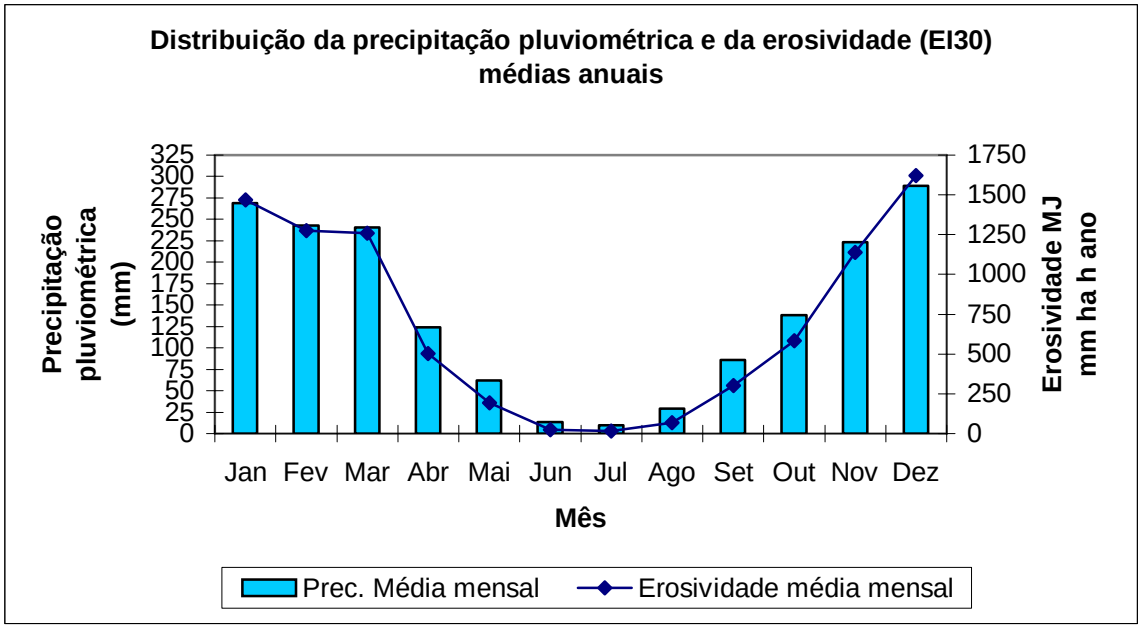


Figura 43: Distribuição da precipitação pluviométrica e da erosividade – Estação Fazenda Taquari (1970-1990)

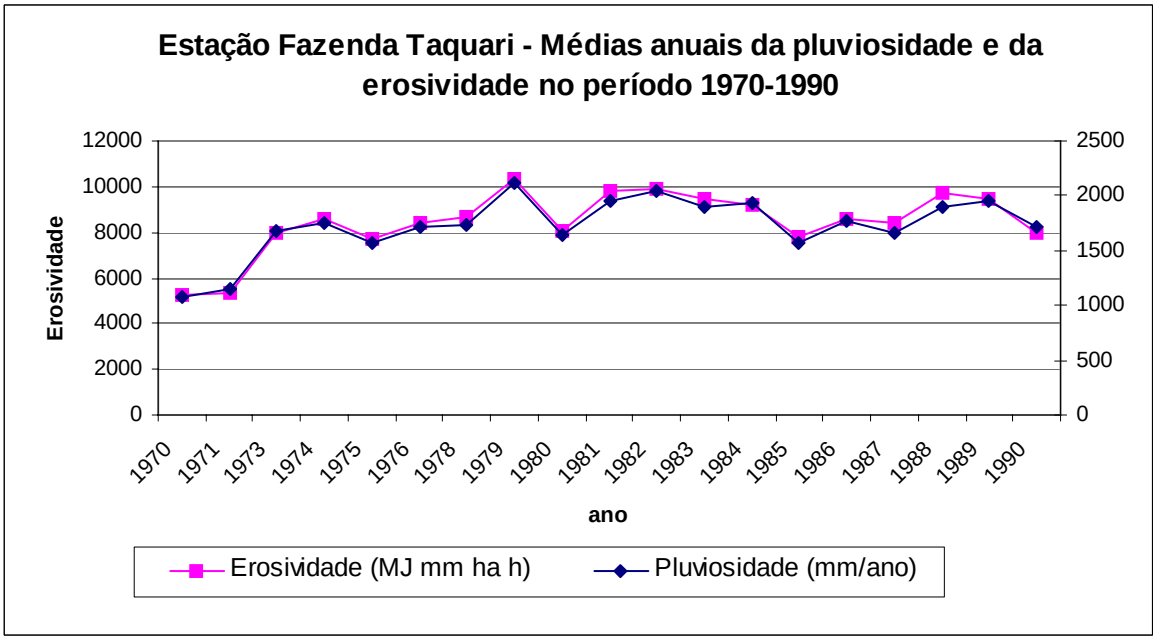


Figura 44: Gráfico – Estação Fazenda Taquari – Médias anuais da pluviosidade e da erosividade no período 1970-1990.

Com esses mesmos dados (figura 41) foram determinados ainda a sua probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade (Figura 45), sendo que o desvio padrão (D.P.) para estes dados foi de 1362 MJ mm ha^{-1} h^{-1}. Constatou-se que, no período estudado, o valor máximo de erosividade ocorrido durante estes anos foi de 10.402 MJ mm ha^{-1} h^{-1}, em 1979, apresentando um período de retorno de 20 anos e uma probabilidade de ocorrência de 4,76%. Isso significa que a cada 20 anos é esperado que esse valor máximo de erosividade anual ocorra ou mesmo possa ser superado. Há que se observar, no entanto, que valores próximos a esse, ou relativamente altos (acima de 9000 MJ mm ha^{-1} $h^{-1)}$ ocorreram em 1982, 1981, 1988, 1983, 1989 e 1984, o que mostra que essa década foi bastante expressiva em relação a chuvas e conseqüentemente a erosividade.

Período de retorno e probabilidade de ocorrência do índice EI30 anual, 1979-1990, Estação Fazenda Taquari.

Ano	Erosividade	N. de ordem	Período de retorno(1) (T)	Probabilidade de ocorrência(2) (Pr)	Erosividade relativa (3)
		m	ano	%	%
1979	10402	1	20,00	5,00	95
1982	9945	2	10,00	10,00	86,5
1981	9839	3	6,67	15,00	84,5
1988	9760	4	5,00	20,00	83
1983	9543	5	4,00	25,00	78,9
1989	9503	6	3,33	30,00	78,2
1984	9294	7	2,86	35,00	74,3
1978	8790	8	2,50	40,00	64,8
1986	8627	9	2,22	45,00	61,8
1974	8591	10	2,00	50,00	61,1
1987	8484	11	1,82	55,00	59
1976	8475	12	1,67	60,00	58,9
1980	8162	13	1,54	65,00	53
1990	8006	14	1,43	70,00	50
1973	8005	15	1,33	75,00	50
1985	7858	16	1,25	80,00	47,3
1975	7713	17	1,18	85,00	44,6
1971	5367	18	1,11	90,00	6
1970	5333	19	1,05	95,00	1
Média	8510	-	-	-	
D.P.	1362,22	-	-	-	

(1) T= (N + 1)/ m.... em que N = 20 anos. (2) P = 100/T... (3) índice calculado com base em 1970=1

Figura 45: Período de retorno e probabilidade de ocorrência

Convém lembrar que nesse período o desmatamento das regiões de Cerrado era intenso, com a incorporação de novas áreas de fronteira agrícola, como já comentado no capítulo 2. Para a menor erosividade (5.333) estes valores foram de respectivamente 1,05 ano e probabilidade de retorno de 95%. Há que se ressaltar também que a probabilidade de ocorrências ≥ 75% abrangem período de retorno ≤ 1,33 ano e ocorreram nos anos de 1970, 1971, 1973, 1975, 1985, mas que não nos permitem entender claramente qual é o ritmo, embora corresponda aos menores índices de erosividade. Há que se considerar, ainda, o efeito cumulativo do fenômeno erosivo ano a ano, que remove os primeiros centímetros da camada superficial do solo num ano expõe os materiais subjacentes para o ano seguinte e assim por diante.

Tomando-se 5333 MJ mm ha^{-1} h^{-1} de 1970 como valor 1 (índice de erosividade), os 10402 MJ mm ha^{-1} h^{-1} de 1979 corresponderiam a quase o dobro da erosividade, o que seria excepcional, além de cerca de 25% maior que em outras localidades, e alcançaria máximo período de retorno (20 anos). Mas erosividades entre pouco mais de 5000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} até cerca de 8000 MJ mm ha^{-1} h^{-1}, cujo tempo de retorno fica entre 1 e 1,5 ano apresenta índices de erosividades até 50% superiores em relação ao ano base (1970). Se excluirmos os anos com valores < 8000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} então a área estaria no contexto da média para o clima tropical subúmido (figura 43).

Um fato interessante a destacar é que se a precipitação anual pode estar aumentando no período considerado (1970-1990), em relação a erosividade isto se torna preocupante devido aos picos de chuvas, embora esse aumento não pareça regular e o pico tenha ocorrido uma vez, em 1979. O fato é que a precipitação anual, desde 1976 pelo menos, não foi inferior a 1700 mm na Estação Fazenda Taquari, embora seja menor nas demais estações, o que não corresponde às médias anuais 1964-1999 apresentado na figura 03 (isoietas), que abrange um período maior (6 anos anteriores a 1970), podendo significar que as médias regionais apenas sinalizem distribuição geral, mas não tendências.

De qualquer modo, a erosividade calculada para essa localidade (Fazenda Taquari) é, na média de verão (excluídos os picos), correspondente ao clima tropical semi-úmido e relacionada a totais pluviométricos elevados, concentradas principalmente entre novembro e fevereiro, aparentemente.

Erosividade x intensidade das chuvas

Um outro dado de suma importância é a intensidade dessas chuvas, que já havia sido estudada por Ramos (2003) e Marinho (2003), sobre a qual ainda devemos tecer algumas considerações relativas à intensidade diária, uma vez que os dados de quantidade de chuvas nos serviram para o cálculo da erosividade, mas a análise deles por si só é incompleta, para uma melhor compreensão desta, já que a intensidade, juntamente com a energia cinética é que vão, de fato, conduzir os processos erosivos. Ramos (2003) trabalhou com intensidade máxima diária e Marinho (2003) com intensidade máxima instantânea, sendo que este último é o mais importante em relação aos processos erosivos, conforme já ressaltado no capítulo 2.

Para iniciar a discussão devemos esclarecer um ponto muito importante nos estudos de erosividade, que é o parâmetro que se deve considerar para se saber se uma chuva é considerada erosiva ou não. Para os cálculos empregando o índice EI30, que é um dos mais utilizados, são consideradas todas as chuvas individuais maiores que 10 mm ou aquelas menores que 10mm, porém apresentando em 15 min, 6mm ou mais. Este parâmetro é o sugerido por Wischmeier e Smith (1978) e tem sido utilizado em muitos trabalhos no Brasil: Roque et al. (2001), Bertol et al. (2002), Colodro et al. (2002), Dias e Silva (2003), dentre outros.

Um outro parâmetro considerado é a intensidade da chuva, sendo que em climas tropicais costuma-se considerar como erosivas as chuvas maiores que 25 mm/h (HUDSON, 1981). Há entretanto alguns autores que preferem trabalhar com um valor menor, de 10 mm/h (BOIN, 2000).

Tomando como base os dados obtidos e citados anteriormente referentes à Estação Fazenda Taquari, mas que foram classificados por Ramos (2003) baseando-se em outro tipo de classificação (a de Reichardt [1987]), vamos considerar agora essas chuvas (outubro a março) para os dois parâmetros citados acima: o das chuvas maiores que 25mm/h (Parâmetro 1 – P1) e o das chuvas maiores que 10 mm ou menores, desde que tenha caído 6 mm ou mais em 15min (Parâmetro 2 – P2). O gráfico a seguir (figura 46) nos dá uma noção da comparação para estes dois parâmetros, sendo que quando considerado o P1 o número de chuvas erosivas foi menor, em torno de 30% e quando considerado o P2

as chuvas erosivas estão em torno de 50%, podendo chegar a quase 65%, como no ano de 1995, que teve porcentagem alta também para o P1 (45%).

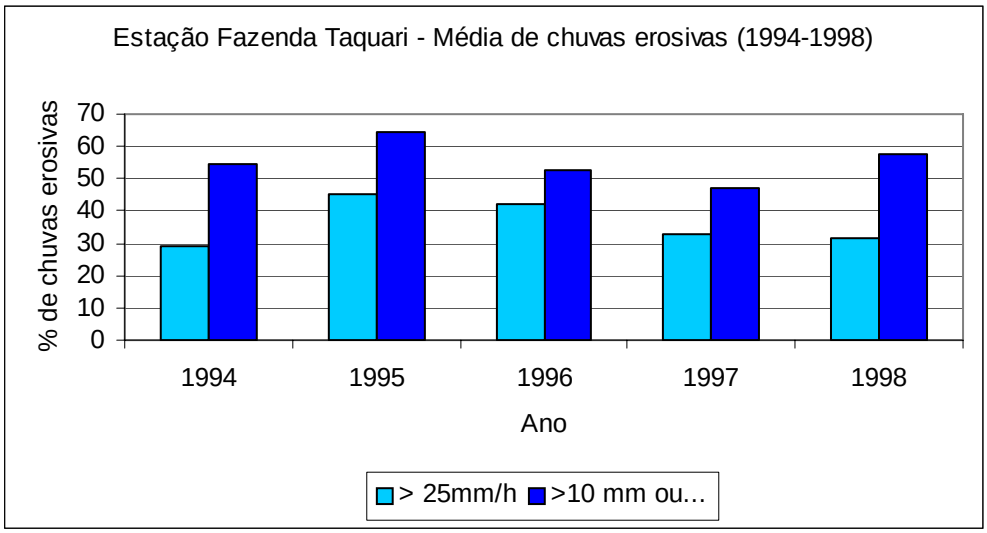


Figura 46: Gráfico – Comparação de chuvas erosivas por dois métodos

O ponto mais importante é, portanto, que independentemente do parâmetro considerado, boa parte das chuvas na área podem ser consideradas erosivas. As intensidades máximas apresentadas no capítulo 2 (figura 07), que são mais importantes para os estudos de erosão, por considerar as intensidades de acordo com os intervalos de tempo, apresentou intervalos com tempo considerável com intensidades altas (maiores que 25mm/h), sobretudo no intervalo entre 6 a 10 e de 11 a 20 min. Os picos de chuva com alta intensidade de chuva, devido ao curto tempo efetivo de chuva também devem ser levados em consideração em relação à erosão laminar, pois este tipo de chuva tem um impacto forte sobre o solo, desprendendo as partículas e quebrando seus agregados, deixando este material solto e pronto para ser carregado vertente abaixo, com a continuidade das chuvas. O valor cumulativo da chuva também deve ser considerado, uma vez que uma chuva ao saturar o solo, faz com que uma chuva posterior que caia, mesmo com uma intensidade relativamente baixa, possa causar erosão. Nesse sentido, os valores apresentados, a título de ilustração, devem ser analisados conjuntamente com um outro dado importante, que é o da permeabilidade dos solos, uma vez que a taxa de infiltração em relação ao valor da precipitação pode ou não incorrer na formação de escoamento superficial.

Relatório apresentado pela Fundação Emas (BOULET, 2001) sobre solos da voçoroca “Chitolina”, localizada na área da pesquisa e próxima à Estação Fazenda Taquari, apresentou resultados de amostras de solo para a caracterização da textura e da condutividade hidráulica dos mesmos (LVA e RQ), dentre outras análises. Pelos dados apresentados (Figura 47) vemos que, apesar da maioria dos perfis de RQ analisados apresentar uma condutividade hidráulica alta, acima de 70 mm/h em muitos casos, na verdade esta varia de 31 a 78,3 mm/h. A menor corresponde a solos com 8% de argila e as maiores a solos com teores de argila de 2% tendo os demais, teores de argila de 2 a 7%.

Tabela: análise física dos perfis dos solos (0 a 20cm), teor de matéria orgânica (M.O.) e condutividade hidráulica saturada

	Solo	% M.O	% argila	% silte	% areia total	% areia grossa (> 0,2 mm)	% areia fina (0,53 - 0,2 mm)	Cond. Hid. Sat.(Mm/h)
T1*	RQ	1,3	6	3	91	18	73	74,7
T2	RQ	1,4	6	2	92	19	73	72,97
T3	RQ	1,8	6	1	93	25	68	71,82
T4	RQ	0,7	4	2	94	21	73	65,2
T5	RQ	0,9	3	3	94	37	57	59
T6	RQ	1,3	2	2	96	33	63	79,4
T7	LVAd	1,5	8	3	89	34	55	**35,6**
T8	RQ	**2,0**	8	2	90	39	51	**31**
T9	LVAd	**2,3**	**25**	3	72	30	42	**28,15**
T10	LVAdq	0,9	**22**	4	74	24	50	**39**
T11	LVAdq	1,9	**17**	1	82	20	62	**39**
T12	RQ	1,3	10	1	89	19	70	48
T13	RQ	1,3	2	5	93	22	71	78,3
T14	RQ	0,9	4	1	95	27	68	74,3
T15	RQ	0,9	7	1	92	33	59	58,4
T16	RQ	1,4	4	6	90	46	44	63,2

Figura 47: tabela de análise física dos perfis dos solos da voçoroca Chitolina.
Fonte: BOULET (2001)

Ainda sobre esses dados, há resultados para solos como o LVA, cujo perfil apresentou condutividade hidráulica saturada de apenas 28,15mm/h e situados à montante dos RQ. Comparando com as intensidades de chuva, num caso como este, caindo uma chuva maior que essa capacidade de infiltração, haverá excedente hídrico e, conseqüentemente, escoamento superficial. Já para os RQ aparentemente haveria boa condição de infiltração. Contudo, o fato dos LVA estarem no topo da vertente e os RQ

abaixo, na vertente, pode gerar excedente hídrico nos LVA que escoará para os RQ situados abaixo. Se a chuva for de 30mm/h o excedente é praticamente insignificante nos LVA, mas se as chuvas forem de 60mm/h com picos em dias sucessivos ou “pancadas de chuva”, pode de fato instalar-se fluxos superficiais de 30mm/h aproximadamente, que somados aos 30 ou 60mm/h citados podem alcançar até o dobro da capacidade de infiltração do solo.

Nesse mesmo relatório, dois fatos interessantes que o autor assinala são a presença de uma concavidade em forma de berço à montante da referida voçoroca e taxas de infiltração superiores a 200 mm/h entre 60-80cm de profundidade. Assim, dois fluxos podem se instalar, o superficial gerando retirada de material nessa concavidade por erosão laminar e outro subsuperficial, caso haja alimentação lateral proveniente das posições mais altas. É fato que o cadastro da erosão Chitolina e relatório correspondente (TERRACARTA, 2001) indica que a parte superior da voçoroca corresponde a uma ravina, que é moldada por fluxos superficiais que costumam ser interpretados como de alta energia (IPT, 1986; SALOMÃO, 1999), o que permite supor que nessas concavidades o fluxo superficial pode iniciar-se como laminar mas pode evoluir rapidamente para linear, pela formação de enxurradas.

O histórico da referida erosão, relatado por Boulet (2001), enfatiza que seu aparecimento deu-se no natal de 1982, à noite, e sob chuva intensa. Em dezembro e janeiro de 1982 e 1983, respectivamente, os totais mensais foram bem superiores a 300mm e nesses anos o total anual ficou ao redor de 2000mm, fato que também ocorreu em 1981 e 1984, caracterizando quatro anos seguidos de precipitações bem acima da média para a área (Figura 38). A maioria dos focos erosivos lineares instalaram-se nesse período, conforme históricos resumidos nos cadastros dos 23 maiores da alta bacia (IPT/METAGO e CELG/CPRM, 1998). Em 1979, 1988 e 1989, novamente, esses totais foram próximos desse patamar. Portanto, é possível que a dinâmica seja laminar nos anos próximos da média e laminar e linear nos anos com chuvas bem acima da média. No mesmo histórico citado acima também é enfatizado que naquele ano de 1982 o proprietário eliminara a pastagem e entrara com soja, fato que provocou uma combinação potencializadora de erosão para solos arenosos, expostos na fase de preparo e plantio, quando se inicia a estação chuvosa e sem a suficiente cobertura do solo até meados do ciclo do cultivo, aproximadamente.

Ainda a título de ilustração, uma análise mais apurada nos registros de pluviógrafo na Estação Fazenda Paraíso, área piloto de monitoramento (MARINHO, 2003) situada na área da pesquisa, constatou-se que é comum também acontecer as “pancadas” de chuva mencionadas anteriormente, embora o período analisado seja muito curto (2001-2003) para se fazer algum tipo de análise temporal, estatisticamente confiável, mas nos dão uma pequena amostra do tipo de chuva que pode se repetir na área, principalmente em relação aos picos de chuva. Um exemplo das altas intensidades apresentadas pode ser verificado no diagrama de pluviógrafo[14] apresentado a seguir (Figura 48).

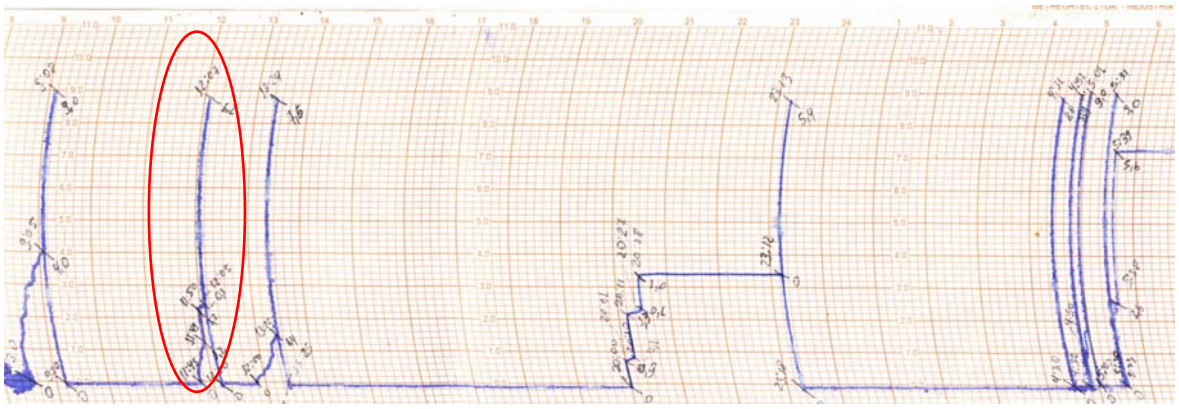


Figura 48: Diagrama de pluviógrafo – Estação Fazenda Paraíso
Colocado em: 29/11/01 Retirado em: 30/11/01

O diagrama apresentado se refere ao período do dia 29 a 30/01/01, que foi um dia bastante chuvoso. Foi feita uma tabulação das quantidades de chuva caídas, bem como os cálculos com suas respectivas intensidades, como mostra a figura 49, apenas para facilitar a leitura.

[14] O pluviógrafo é um aparelho que registra as chuvas e seus respectivos intervalos de ocorrência, permitindo a determinação da intensidade da chuva registrada. O modelo aqui referido é um aparelho tipo sifão, e funciona da seguinte maneira: a chuva penetra pela boca e cai em um depósito de volume conhecido (correspondente a uma altura de 10 mm de precipitação). Este volume é controlado pelo sifão. Quando a água enche o reservatório o sifão o esvazia. Existe uma bóia que é anexada a um sistema de alavancas que leva a oscilação até uma pena, que por sua vez corre sobre um papel registrador colocado em um tambor com mecanismo de relógio. Desta maneira, é registrada ponto a ponto toda a variação da precipitação que ocorreu no período.

Estação:	*Fazenda Paraíso*					Colocado Dia:	29/11/2001	
						Retirado Dia:	30/11/2001	
	TEMPO	CHUVA	CHUVA	DURAÇÃO	DURAÇÃO	INTENSIDADE	RESULTADOS	
	hora/ min.	parcial (mm)	acumulada	Hora/Minuto	Minuto	mm / HORA		
1	08:30	0					*INTENSIDDE MÁXIMA INSTANTÂNEA*	*540*
2	09:05	4	4,0	0:35	35	6,86		
3	09:08	9	13,0	0:03	3	180,00		
4	09:10	0	13,0	0:02	2	0,00	*TOTAL DE CHUVA (mm)*	*83,3*
5	11:45	0	13,0	2:35	155	0,00		
6	11:49	1,2	14,2	0:04	4	18,00		
7	11:50	1,2	15,4	0:01	1	72,00		
8	12:05	0,1	15,5	0:15	15	0,40	*TEMPO TOTAL HORA/MIN.*	*2:21*
9	12:07	6,2	21,7	0:02	2	186,00		
10	12:10	0,0	21,7	0:03	3	0,00		
11	12:50	0,0	21,7	0:40	40	0,00		
12	13:22	1,4	23,1	0:32	32	2,63		
13	13:24	7,5	30,6	0:02	2	225,00		
14	13:25	0,0	30,6	0:01	1	0,00		
15	20:00	0,0	30,6	6:35	396	0,00		
16	20:01	0,9	31,5	0:01	1	54,00		
17	20:10	0,1	31,6	0:09	9	0,67		
18	20:11	1,3	32,9	0:01	1	78,00		
19	20:27	0,1	33,0	0:16	16	0,38		
20	20:28	1,0	34,0	0:01	1	60,00		
21	23:12	0,0	34,0	2:44	166	0,00		
22	23:13	5,4	39,4	0:01	1	324,00		
23	23:18	0,0	39,4	0:05	5	0,00		
24	4:30	0,0	39,4	5:12	312	0,00		
25	4:31	8,8	48,2	0:01	1	528,00		
26	4:32	0,0	48,2	0:01	1	0,00		
27	4:50	0,0	48,2	0:18	18	0,00		
28	4:51	8,9	57,1	0:01	1	534,00		
29	4:52	0,0	57,1	0:01	1	0,00		
30	5:01	9,0	66,1	0:09	9	60,00		
31	5:02	0,0	66,1	0:01	1	0,00		
32	5:30	0,0	66,1	0:28	28	0,00		
33	5:31	9,0	75,1	0:01	1	540,00		
34	5:33	0,0	75,1	0:02	2	0,00		
35	5:38	2,6	77,7	0:05	5	31,20		
36	5:39	5,6	83,3	0:01	1	336,00		

Figura 49: Estação Fazenda Paraíso (30/31/11/01) – Quantidade de chuvas, duração e intensidade.
Fonte: acervo LABOGEF

A leitura e análise dos dados dessa tabela deve ser feita da seguinte maneira: vemos que nesse dia ocorreram vários episódios chuvosos, que tiveram início às 8:30

(linha 1), com chuva consecutiva até 9:08h, tendo chovido13 mm nesse intervalo, sendo 4mm nos primeiros 35 min. de chuva, o que significa uma intensidade de 6,86 mm/h. Entretanto essa intensidade não é uniforme, tendo ocorrido um pico entre 9:05 e 9:08h, responsável por 9 mm de chuva, o que atinge uma intensidade de 180 mm/h. Entre 9:10 e 11:45h são 155 min sem chuva, quando se inicia outro episódio chuvoso, que se estende de 11:45 até 12:07h, apresentando 4 intervalos diferentes de intensidade (ver área destacada na figura 47). Se fôssemos calcular a intensidade dessa chuva total seu valor seria de 23,72mm/h. Mas como essa intensidade não é uniforme ao longo desses 22 min, entre 11:45 e 11:49h a intensidade é de 18mm/h, de 11:49 a 11:50h a curva apresenta uma forte flexão, sendo 1,2mm em 1 min, o que significa 72mm/h e finalmente outra expressiva flexão na curva, entre 12:05 e 12:07h, sendo que nesses 2min choveram 6,2mm, representando uma intensidade de 186mm/h (linha 9).

Esse exercício de análise é para se ter uma noção de como trabalhar e interpretar esse tipo de dado, e conhecer como se dá a distribuição de fato dessas chuvas de acordo com os vários valores de intensidades apresentados. O exemplo mencionado é representativo de um dia com uma quantidade total considerável de chuva (83,3mm), e que dependendo de como é sua distribuição, pode-se saturar os primeiros centímetros dos solos pelo efeito cumulativo, principalmente com essas “pancadas de chuva” ocorridas próximas uma das outras, como as que se iniciaram a partir das 4:30h (linha 24), ainda mais levando em consideração que neste dia já havia tido outras chuvas, igualmente intensas.

Como podemos ver pelos exemplos apresentados, essas pancadas de chuva comumente excedem a capacidade de infiltração dos solos, uma vez que nenhum deles apresenta uma condutividade hidráulica tão alta. E quando essas pancadas vêm após um certo período de chuva, mesmo que menos intensa, encontram o solo já saturado, ou próximo da saturação em superfície, prejudicando também a infiltração. Logo, o efeito acumulado da chuva pode ser também um fato a mais a se considerar, mas as “pancadas”, dada a sua alta energia, parecem mais relacionadas às enxurradas, que promovem a erosão linear. Assim, para a erosão laminar bastaria chuvas pouco acima da taxa de infiltração, aliadas à densidade de cobertura, principalmente nas áreas com agricultura, menor do que na pastagem. Ainda há que se considerar que na Fazenda Paraíso como em tantas outras na área, as pastagens estão degradadas, devido à insuficiência de manejo adequado (superpastoreio e outros), o que pode agravar o problema. Muitos sulcos e canais rasos ou

médios convergem para as voçorocas como observado nas pesquisas anteriores relativas à erosão linear.

Os valores de intensidade máxima apresentados não devem ser tomados isoladamente, lembrando o que já foi dito anteriormente que, nos cálculos de EI30 usando a intensidade máxima em 30 minutos, as chuvas com intensidade maior que 76 mm/h têm nesse valor seu limite superior para cálculo da energia cinética, que é definido em 0,283 MJ/ha-mm (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993). É importante lembrar que, no presente trabalho, o estabelecimento do fator R não utilizou os dados de intensidade das chuvas, sendo que aqui estamos tomando-os apenas como exemplo para ampliar a discussão, além de indicar o grau de generalização decorrente da insuficiência de registros e alertar para a dinâmica do processo erosivo que pode ser maior do que o aqui avaliado.

Todas essas considerações são entretanto, muito importantes para se ter uma dimensão mais real da complexidade que envolve a análise da erosividade, corroborando a questão da distribuição das chuvas e do tempo utilizado nos cálculos do fator erosividade: é melhor tomar a intensidade máxima em 30 min, 10 min, 5min...? Vários autores vêm tentando solucionar essa questão e propondo índices alternativos, ou melhor, índices mais específicos para cada situação, ou para cada localidade, conforme já citado no capítulo 3. Em síntese, não aprofundaremos mais essa discussão, já que não é foco principal do presente estudo, entretanto serve para reafirmar as altas pluviosidades e intensidades e sinalizar para o fato de que as maiores intensidades de curta duração (<21min.) parecem ser as prováveis responsáveis pela erosão laminar, ao contrário daquelas que promovem enxurradas, que se situam acima de 50mm/h com duração entre 21-30min.

Pelo exposto, vemos então que o conhecimento da permeabilidade dos solos, juntamente com a intensidade são um instrumento valioso nos estudos de erosão laminar, pois que ao compará-los, saberemos se esse solo irá sofrer um excedente hídrico ou não. Entretanto, sem parcelas de monitoramento de perdas de solo em campo sobre os diferentes solos, não é recomendável concluir essa interpretação.

Assim, chegou-se nesse trabalho ao valor de erosividade da área de 8.452 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}$, mesmo sabendo que esse valor corresponde a uma média anual, e que calculado sem levar em consideração a intensidade das chuvas, mas que pode ser considerado sem maiores problemas, como aqui demonstrado.

5.1.2. Erodibilidade (Fator K)

O mapa de erodibilidade da área apresenta três classes: baixa, que ocupa 25,09% da área e engloba os solos com valores entre 0,007 e 0,0025 t h (MJ mm); média, com 74,68% da área e solos com erodibilidade variando de 0,026 a 0,031 t h (MJ mm) e alta, cujos solos apresentam erodibilidade maior que 0,031 t h (MJ mm) e ocupam apenas 0,23% da área (Figura 50). Essas classes agruparam as classes de solo até o segundo nível categórico (EMBRAPA, 1999), conforme apresentado anteriormente nas figuras 30 e 32.

Analisando a distribuição dessas classes e remetendo-a aos valores de hipsometria da área e às características geomórficas, percebe-se nitidamente a predominância de solos com média erodibilidade (74,68% da área), que corresponde à área ocupada pelos RQ e RQg. Esses solos, se comparados aos LATOSSOLOS, apresentam maior taxa de infiltração, conforme constatado na Figura 46. Entretanto, são mais erodíveis, por apresentarem menor coesão entre as partículas, sobretudo devido aos baixos teores de argila e matéria orgânica, como já exposto, conforme se pode observar na tabela apresentada anteriormente (Figura 47). Nesta vemos que as trincheiras 1 a 6 e 12 a 16 são as que apresentaram taxas maiores de erodibilidade e correspondem aos RQ. Ambos apresentam valores baixos de M.O., variando de 0,7 a 1,8%. A porcentagem de argila nesses solos também é bastante baixa, principalmente quando comparados aos LVA, sendo que varia de 2 a 10%. Um outro fator que chama atenção nesses dados é o teor de areias, principalmente areias finas, que faz com que estes solos sejam considerados mais erodíveis, conforme apontado por Wischmeier et al. (1971), que relataram uma tendência de aumento da erodibilidade, com o aumento do teor de silte e areia muito fina, e de redução com o aumento de areia com diâmetro maior que 0,1mm e argila.

Os RQ, de acordo com o sistema de classificação das terras baseada na sua capacidade de uso são enquadrados no Grupo A, Classes IIIs e IVs, que são terras cultiváveis apenas ocasionalmente, com sérios problemas de erosão (nas pastagens), tendo como principal fator limitante o solo, como foi mostrado na figura 16. A remoção da cobertura vegetal pelas trilhas do gado deixa esse solo exposto, facilitando o aparecimento das erosões lineares, e dependendo do tipo de cobertura desses solos, pode haver também erosão laminar. Já os RQg são classificados no Grupo B, Classe Va, que são impróprias para o cultivo, devido à saturação sazonal desse tipo de solo, mas que podem ser utilizados

com pastagens e em alguns casos com reflorestamento. Além disso, em parte ou no todo esses solos podem estar contidos nos limites das faixas de preservação permanente segundo a legislação ambiental.

Nos topos da chapada estão os LVA e os RL juntamente com os C, que foram os que apresentaram valores mais baixos de erodibilidade, sendo que a sua área corresponde a 25,09% da área da pesquisa. No caso dos LATOSSOLOS essa baixa erodibilidade é explicada sobretudo devido às próprias características desse tipo de solo, mais profundo, com maior teor de argila e maior homogeneidade, conforme mencionado, e no caso dos RL, na área da pesquisa especificamente, percebe-se que estes solos se desenvolvem sobre substrato basáltico, o que faz com que os mesmos sejam mais argilosos e menos erodíveis em comparação com solos litólicos sob outras litologias (arenitos por exemplo).

Voltando aos dados disponíveis de análise de solos (Figura 47) vemos que as trincheiras 7 a 11 são as que apresentaram as menores taxas de condutividade hidráulica. Estes solos apresentam porcentagem menor de areias finas quando comparados aos RQ, e maior porcentagem de areias grossas, corroborando o exposto acima de que há uma diminuição dos valores de erodibilidade com o aumento dos valores de areia grossa e argila. Ao observarmos os valores de argila nesses solos, vemos que eles são maiores que nos RQ, variando de 8 a 25%. Ainda, contribuindo nessa questão temos a M.O. que nos LVA apresentou taxas pouco superiores aos RQ (entre 0,9 e 2,3%). Tomando a T9 como exemplo, vemos que essa trincheira foi a que apresentou menor condutividade hidráulica (28,15 mm/h), e ao observarmos a análise física desse perfil vemos que ele foi o que apresentou o maior valor de M.O. (2,3%) bem como de argila (25%), valores que evidenciam essas relações comentadas. Estes valores fazem com que estes solos, juntamente com os LV, sejam enquadrados pelo sistema de capacidade de uso das terras na Classe I, que são terras cultiváveis sem problemas de erosão. Isso é em parte por sua baixa erodibilidade e por outro lado por estarem em relevo plano, dos topos das Chapadas, o que diminui a sua suscetibilidade à erosão.

Por último temos os PVA que ocupam uma área muito pequena (0,23%), mais ao norte da bacia, próximo da confluência entre o Ribeirão Zeca Novato e o Rio Araguaia. Estes solos são os que apresentam erodibilidade mais alta, que pode estar relacionada com os níveis de outros atributos do solo (WISCHMEIER & MANNERING, 1969 apud LIMA

& ANDRADE, 2001), tais como a ocorrência do horizonte B textural e teor de óxidos de ferro.

5.1.3. Comprimento de rampa e declividade (Fator LS)

O mapa do fator LS (Figura 51), que é o resultado do cruzamento entre o mapa de declividade e o de comprimento de rampas não se apresentou muito diferente em relação ao de declividade, mostrando o papel determinante desta no estabelecimento deste fator. Isso se deve também ao fato de se considerar aqui as rampas, e não vertentes, o que faz com que a relação entre esses dois fatores seja ainda maior.

Assim, pela análise do mapa os valores mais altos de LS correspondem a relevos mais movimentados, com declives mais acentuados (20 a 45%) das bordas da Chapada. A maior parte da área apresenta declividades baixas (70% da área apresenta declive de até 6% - Figura 33), sendo que para o fator LS ocorreu o mesmo em relação ao valor de 0 a 10 (adimensional), que corresponde a 70% da área da pesquisa. Esta área corresponde na área às formas convexas de dissecação, com rampas longas e declives suaves.

5.2. Suscetibilidade à erosão laminar

O mapa de suscetibilidade à erosão laminar, como já foi dito, representa a integração dos principais fatores do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar e corresponde às expectativas de perdas de solo em áreas sem cobertura vegetal e sem interferência antrópica.Cabe lembrar que esses dados não são quantitativos de perdas de solo, mas qualitativos em relação a uma maior ou menor suscetibilidade natural das áreas, em função dos parâmetros anteriormente apresentados e discutidos.

O mapa apresentado na figura 52 apresenta cinco classes de suscetibilidade, que são compatibilizadas às classes de capacidade de uso das terras. A primeira consideração importante a se fazer é sobre a nítida relação que esse mapa apresentou

quando sobreposto aos mapas de formas de relevo, declividade e solos, o que era de se esperar, já que estes fatores foram os que deram origem a esse mapa, através de uma matriz com os respectivos cruzamentos (Figura 32). O mapa evidencia portanto, a estreita correlação entre todos esses fatores, como apontado anteriormente.

A maior parte da área (46,61%) se apresenta na classe III (moderadamente suscetível), e corresponde à classe IV de capacidade de uso das terras, em que os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, devido sobretudo ao tipo de solo, que são os RQa. Sendo assim, são mais indicados a pastagens e culturas perenes, e eventualmente, a culturas anuais, desde que utilizadas práticas intensivas mecanizadas de controle da erosão. Essa classe ocupa uma área relativamente centralizada na área da pesquisa, onde, além dos Rqa, há predominância de relevos convexizados, com formas de dissecação (ver mapas pedológico, geomorfológico, morfológico e hipsométrico – figuras 14, 11, 15 e 12), o que corrobora e explica a moderada suscetibilidade à erosão laminar nessa área: solos com média erodibilidade e com declividades baixas (sobretudo até 6%). Corresponde à zona rebaixada que se situa entre as escarpas da Chapada e o rio Araguaia.

Nessa mesma zona rebaixada, ocupando áreas que aparecem bastante esparsas, tem-se a classe II (muito suscetível), ocupando 22,23% da área, que são aquelas que apresentam uma declividade um pouco maior, de 6 a 12%, também com os RQa, mas correspondendo a formas tabulares residuais mais rebaixadas que a Chapada e circundadas por escarpas bastante suavizadas. Essa classe correspondente à classe VI de capacidade de uso das terras, que apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais apropriadas para reflorestamento (SALOMÃO, 1999), sendo parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens. Isso se deve tanto ao fato dos solos não serem aptos para agricultura, como também pela declividade ser um pouco maior que na classe anterior.

As classes V (pouco a não suscetível) e IV (pouco suscetível) perfazem juntas 28,25% da área e são aquelas que apresentam uma declividade baixa, de 0 a 3% e de 3 a 6%, localizadas em topos tabulares da Chapada, condição essa que condiciona menor

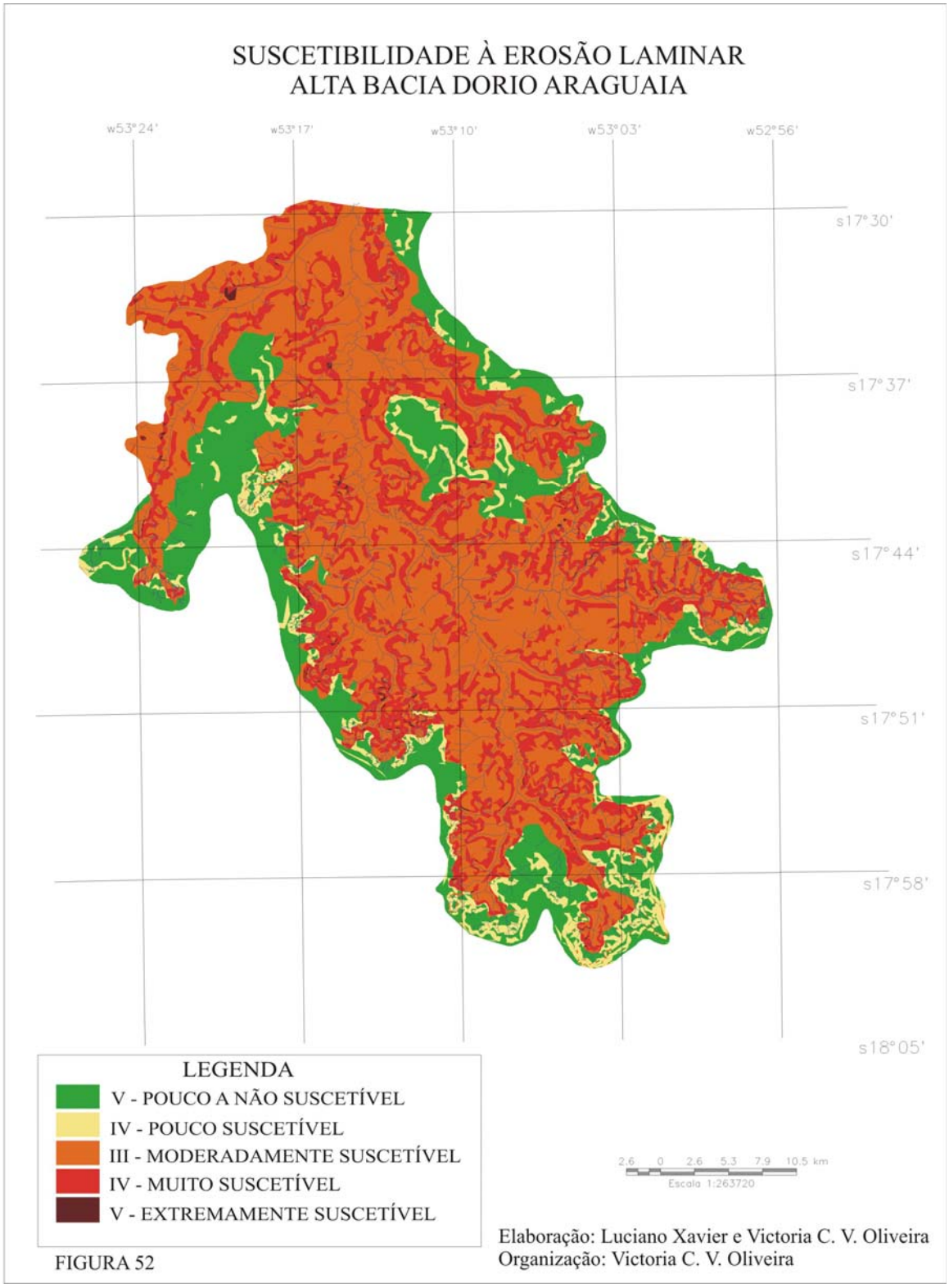

SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR
ALTA BACIA DORIO ARAGUAIA
w53°24'
w53°17'
w53°10'
w53°03'
w52°56'
s17°30'
s17°37'
s17°44'
s17°51'
s17°58'
s18°05'
LEGENDA
V - POUCO A NÃO SUSCETÍVEL
IV - POUCO SUSCETÍVEL
III - MODERADAMENTE SUSCETÍVEL
IV - MUITO SUSCETÍVEL
V - EXTREMAMENTE SUSCETÍVEL
2,6 0 2,6 5,3 7,9 10,5 km
Escala 1:263720
Elaboração: Luciano Xavier e Victoria C. V. Oliveira
Organização: Victoria C. V. Oliveira

FIGURA 52

suscetibilidade à erosão laminar, favorecida também pela presença dos LV e LVA, que são solos que apresentam baixa erodibilidade, ou mesmo dos RL, que foram junto com estes solos citados classificados na classe mais baixa de erodibilidade (0,007 a 0,0025) t h (MJ mm). A classe V de suscetibilidade corresponde às classes I e II da capacidade de uso das terras, sendo que destas somente a I pode ser utilizada com qualquer tipo de cultura, sem problemas especiais de conservação. Isso se deve à sua localização, nos topos das Chapadas, onde predominam os LATOSSOLOS. A classe II possui problemas simples de conservação, devendo haver, entretanto, práticas não mecanizadas de controle da erosão. Já a classe IV de suscetibilidade corresponde à classe III de capacidade de uso das terras, que possui problemas complexos de conservação, devido ao seu principal fator limitante, os solos (RQ). São, dessa forma, mais indicadas às pastagens e culturas perenes, eventualmente culturas anuais, sendo que nesse caso são necessárias práticas intensivas de controle da erosão.

Por último, a classe I (extremamente suscetível), ocupa pequena faixa (0,92%) na área de estudo e corresponde aos locais onde a declividade é maior (de 20 a 45%), que corresponde à faixa escarpada que limita e contorna a Chapada, o que explica essa suscetibilidade, devido a sua declividade. Refere-se às classes VII e VIII de capacidade de uso das terras, sendo por esses motivos, indicadas para preservação ou reflorestamento, fato inclusive garantido pelas leis ambientais.

Em síntese, vemos que quase metade da área apresenta suscetibilidade moderada, que somada às áreas muito a extremamente suscetíveis alcançam pouco mais de 70% do total, fato esse preocupante. O quadro a seguir sintetiza todas essas classes analisadas (Figura 53).

Figura 53: Quadro comparativo das áreas de suscetibilidade à erosão laminar

Classes	Área (%)	Relevo	Solo	Declividade (%)
I – Extremamente suscetível	0,92	Escarpas	RL	20 a 45
II- Muito suscetível	22,23	Formas convexas, de dissecação	RQ-RQg	6 a 12
III- Moderadamente suscetível	48,61	Formas convexas, de dissecação	RQ-RQg	0 a 3 – 3 a 6
IV- Pouco suscetível	6,33	Topos tabulares de Chapada	LV-LVA	0 a 3 – 3 a 6
V- Pouco a não suscetível	21,92	Topos tabulares de Chapada	LV-LVA	0 a 3 – 3 a 6

5.3. Risco à erosão laminar

Como acabamos de expor acima, o mapa de suscetibilidade à erosão laminar reflete apenas as condições naturais do terreno e representa os diferentes graus de suscetibilidade ao fenômeno à erosão, mas, essas condições sozinhas não são satisfatórias para compreender a dinâmica erosiva, pois o espaço é constantemente modificado pela intervenção do ser humano. Por isso é necessário que esses dados sejam analisados também em relação ao tipo de uso da terra que a área apresenta, uma vez que a discrepância entre a capacidade de uso e uso pode potencializar ou mesmo desencadear o fenômeno. Assim, o cruzamento do mapa de suscetibilidade com o de uso das terras deu origem ao mapa de risco à erosão laminar, que apresenta três classes: alto, médio e baixo risco (Figura 54) e significa as condições efetivas de ocorrência do fenômeno.

A análise do mapa de risco mostra que a área da pesquisa apresenta duas classes predominantes: a classe III (Baixo Potencial), com 49,2% e a classe II (Médio Potencial), com 45,5% do total da área, respectivamente, e que juntas somam quase 95% do total da área.

A classe III corresponde às áreas mais altas, de topo da Chapada, bem como aos fundos de vale planos (planícies, várzeas) que apresentam mata ciliar ou mata galeria ou ainda algumas áreas que apresentam cobertura de Cerrado denso (parte sul da sub-bacia do Ribeirão Queixada e sul do Ribeirão Zeca Novato). Nestas áreas a discrepância entre a capacidade de uso e o uso é fraca ou nula, o que permite avaliar que práticas conservacionistas simples podem prevenir o processo.

A classe II (médio potencial) corresponde essencialmente à já referida zona rebaixada, onde o relevo é convexizado e suave, geralmente com baixas declividades (até 12%) e presença dos RQa, que estão ocupadas com agricultura e pastagens. Quando comparada sua distribuição com o mapa de discrepância (Figura 19) vê-se que estas áreas apresentam os graus máximo e muito alto de discrepância. Isso se dá principalmente por seu uso com agricultura e secundariamente com pastagem, uma vez que em toda a área predomina a classe VIII de capacidade de uso, a qual deveria ser voltada à conservação e/ou preservação ambiental. Isso decorre principalmente desse tipo de solo aí dominante, o qual quando exposto ao impacto da chuva fica sujeito aos processos erosivos, e às rampas longas que podem imprimir maior energia ao escoamento superficial.

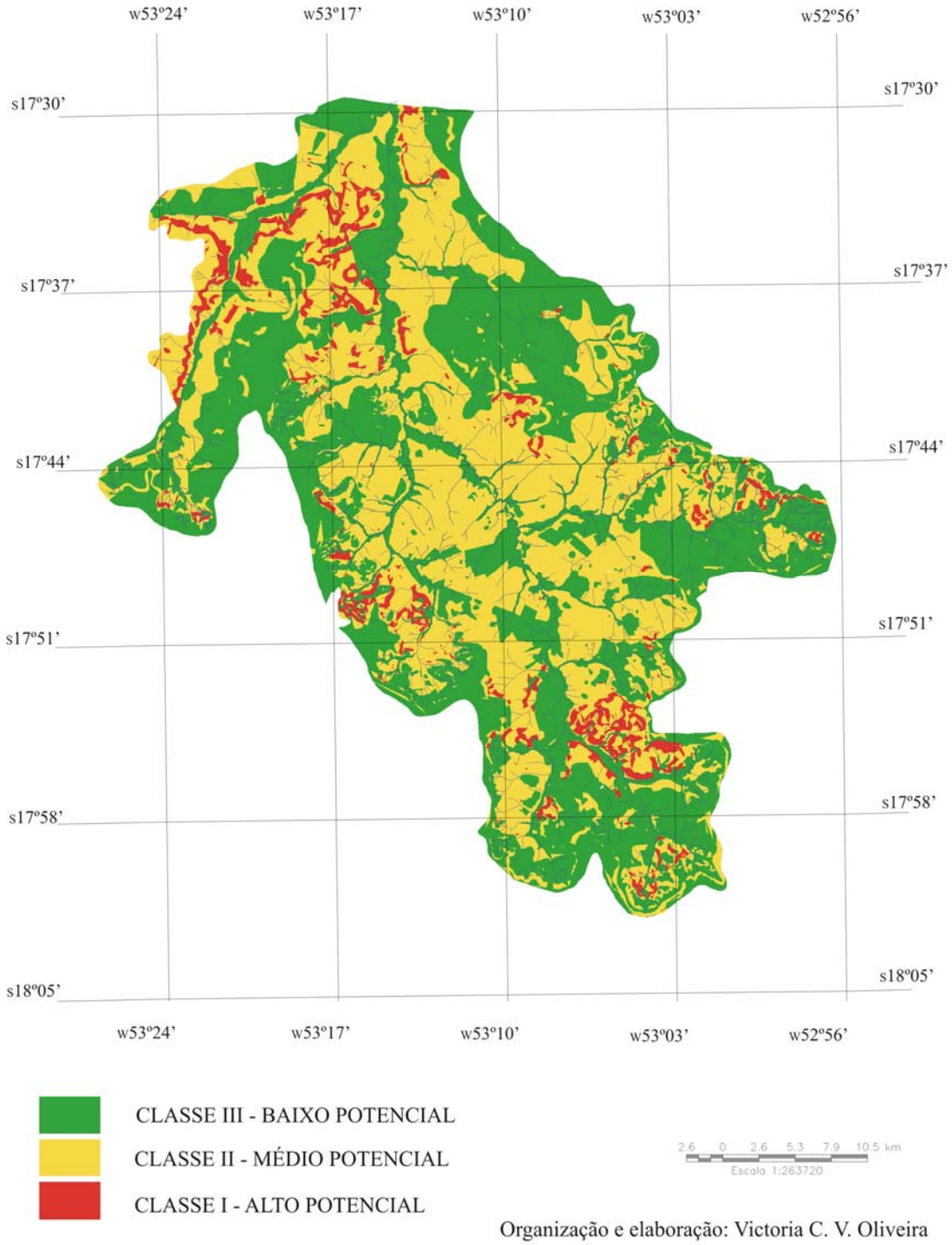


Figura 54: Mapa de risco à erosão laminar.

Na classe I, que apresenta alto potencial, embora ocupe apenas 5,3% da área, destacam-se quatro conjuntos de áreas em manchas espaciais alongadas e merecedoras de atenção por serem as mais críticas em termos de risco. O primeiro se localiza próximo às nascentes do Araguaia, estando ocupado com agricultura, sendo que o mesmo está mapeado como classe VIII (de acordo com a Capacidade de Uso das Terras) em áreas de conservação ou preservação ambiental, sendo protegidas por lei e não deveriam ser objeto de outro uso que não a preservação da fauna e flora. A discrepância nesse caso é muito alta. Convém destacar que esse conjunto é composto por numerosas pequenas manchas situadas no extremo sul da área da pesquisa, onde se encontram as nascentes do rio Araguaia propriamente ditas, e um subconjunto mais expressivo pela coalescência de numerosas manchas, a sudeste, próximo à confluência dos rios Araguaia e Araguainha.

Praticamente todo esse setor foi alvo de estudos detalhados apresentados no Atlas Geoambiental e no Plano de Controle (CASTRO et al., 2004a e b), onde foram recomendadas práticas conservacionistas severas porque também são altamente suscetíveis à erosão linear e apresentam zonas destituídas das coberturas vegetais originais situadas em áreas de preservação permanente.

Um outro conjunto crítico corresponde às nascentes do Ribeirão Gabiroba (a oeste da área, na margem esquerda do rio Araguaia), que também deveria ser destinada à conservação ou preservação ambiental e que também está ocupada com agricultura. A discrepência aí é considerada máxima. Essa área, como a anterior, se encontra próxima da faixa escarpada que contorna a bacia, em relação com as nascentes daquele ribeirão e seus afluentes. É espacialmente menor que o conjunto anterior.

O terceiro conjunto crítico está localizado no noroeste da bacia, nas proximidades do Ribeirão do Sapo. Embora similar às demais, é a mais extensa, possui discrepância máxima e muito alta e está ocupada com agricultura. Com exceção da bacia do rio Babilônia não contemplada neste trabalho, o Ribeirão do Sapo é o maior afluente do rio Araguaia no Setor Sul. As manchas dessa área são alongadas e mais contínuas e extensas e, diferentemente das anteriores acompanha em grande parte o vale do referido ribeirão nas suas duas margens, bem como contorna, de certo modo, a parte leste dos interflúvios que separam o rio Araguaia desse ribeirão. Se repete também na margem oposta em duas manchas menores alongadas, muito próximas do rio Araguaia. Esta área merece atenção ainda mais especial, quando se considera os dados de erosividade, os quais,

quando sobrepostos, evidenciam os setores mais suscetíveis de toda a área de estudo. Além disso, revendo o mapa da distribuição pluviométrica (Figura 03), e lembrando que a erosividade está relacionada à quantidade de chuva, pode-se inferir que a erosividade na área da pesquisa, assim como os totais anuais de chuva tendem a aumentar no sentido sudoeste-norte, como demonstrado também no esboço do mapa de erosividade (Figura 38), justamente onde se situa esse conjunto crítico.

Finalmente, o quarto conjunto bordeja as feições tabulares residuais situadas no centro-leste do Setor Sul, bem como às cabeceiras dos afluentes do Ribeirão Queixada, próximo às escarpas da Chapada, mais a leste, onde se encontra a Estação Fazenda Paraíso de monitoramento (MARINHO, 2003). Trata-se de pequenas manchas, embora alongadas como as demais anteriores, e tem relação com um prolongamento da Chapada ou com suas bordas, que também se apresentam ocupadas com agricultura.

Estimativamente esses conjuntos críticos não ultrapassam 10% dos 49,2 que correspondem à classe II, o que significa que esta classe está de fato ao redor de 40%. Outro fato a assinalar é que os conjuntos críticos situam-se preferencialmente próximos às nascentes dos tributários e do próprio rio Araguaia, contudo são menores em área e continuidade do que aquelas situadas sobretudo no Ribeirão do Sapo, as quais, além disso, predominam mais próximas do seu vale, além de também próximas das nascentes dos pequenos tributários do rio Araguaia nessa área. Há que se ressaltar também que o divisor entre o Ribeirão do Sapo e o rio Araguaia nesse trecho corresponde a um amplo interflúvio alongado que se projeta da Chapada para o norte.

Analisados todos esses conjuntos críticos, percebe-se a nítida relação que esses apresentam em relação ao tipo de uso do solo da área, sendo que todos encontram-se em áreas agrícolas, corroborando o fato de que esta atividade em discrepância com a capacidade de uso pode ser desencadeadora do processo.

Nas áreas de pastagem o risco é médio, corroborando o fato de que essa atividade seria de menor risco que aquelas agrícolas, o que corresponde à maior parte do Setor Sul. Há que se considerar, no entanto, que nos dois casos há evidências da falta, inadequação ou mesmo ausência de práticas conservacionistas. É justamente nas áreas de pastagem que se concentram os focos erosivos lineares, seguidos pelas áreas agrícolas da área de estudo, relacionadas a cercas de divisa, trilheiros de gado e superpastoreio (BARBALHO, 2002; XAVIER, 2003), indicativos dessa interpretação.

A figura 55 resume num quadro síntese os fatores da erosão laminar por área.

Figura 55: Quadro comparativo das classes de risco à erosão laminar

	Área (%)	Relevo	Solos predomiantes	Características gerais
I- Alto risco	5,3	Formas convexas, de dissecação	RQ	Apresentam alta discrepância uso x capacidade de uso e situam-se na zona rebaixada.
II- Médio risco	45,5	Formas convexas, de dissecação	RQ	Uso do solo incompatível com a suscetibilidade – deveriam ser de proteção ambiental e estão ocupadas com pastagens na zona rebaixada
III- Baixo risco	49,21	Topos tabulares de Chapada	LV-LVA	Uso do solo atual compatível com a suscetibilidade à erosão laminar, nos topos da Chapada.

Para o planejamento geoambiental da área, é importante fazer uma comparação deste mapa de risco à erosão laminar com os mapas de suscetibilidade e risco à erosão linear elaborados por Xavier (2003), a fim de se elaborar um mapa síntese da região de estudo, com as áreas mais ou menos suscetíveis aos dois tipos de erosão, bem como os maiores ou menores riscos.

Em síntese, há correlação entre o mapa de risco à erosão linear (XAVIER, 2003) e o de risco à erosão laminar (figura 54) aqui apresentado e em ambos os casos a discrepância entre as classes de capacidade de uso e o uso, que, dependendo do grau de discrepância, imprimem maior ou menor risco. Convém ressaltar, no entanto, que o risco à erosão laminar é, no conjunto, menor do que o de erosão linear, o que provavelmente se relaciona à intensidade máxima das chuvas (“pancadas”) e as práticas de manejo dos solos e às variáveis metodológicas.

5.4. Conclusões

A atual pesquisa vêm encerrar uma série de estudos que se iniciaram em 1998 e que procuraram estudar e conhecer o setor sul da bacia do alto curso do Araguaia como um todo, analisando o fenômeno das erosões lineares, que são um problema evidente na

região, e agora, completando o diagnóstico geoambiental da área, ao espacializar as classes de suscetibilidade à erosão laminar e o risco à erosão laminar.

Através de toda a etapa de pesquisa bibliográfica no desenvolvimento deste trabalho, ficou clara a necessidade de conhecimento das várias metodologias de estudo da erosão laminar e a busca daquela que mais se adaptasse ao presente caso, em função dos objetivos estabelecidos.

Desenvolver um trabalho de quantificação das perdas de solo por erosão laminar é extremamente valioso, mas seu trabalho é moroso e requer monitoramento, o que para uma pesquisa em nível de mestrado, o tempo disponível é insuficiente, fato este ainda mais difícil considerando-se a existência de apenas uma estação meteorológica na área.

Pode-se considerar que esta pesquisa forneceu uma contribuição importante ao proceder a uma discussão metodológica sobre a USLE ao trabalhar mais detalhadamente os valores de erosividade na área, ainda que para a elaboração de um mapa mais apurado sejam necessários dados de mais postos pluviométricos e pluviográficos (hoje inexistentes) e seja necessário tratar a intensidade da chuva à luz da duração e da sucessão dos episódios chuvosos. Mesmo assim, os valores médios anuais encontrados alcançam cerca de 8452 MJ mm (ha h)$^{-1}$ corroborando aqueles encontrados para outras regiões tropicais semi-úmidas do país. É importante destacar, nesse sentido, que a discussão sobre a intensidade das chuvas embora não possa ser precisa em termos de parâmetros referenciais, aponta na direção de chuvas de elevada intensidade na forma de pancadas superiores a 100mm/h, ainda que efetivamente a chuva caída de fato seja de curtíssima duração (<30min.), mas na maioria, erosivas e numerosas delas bastante críticas quando se toma por referência os parâmetros indicados pelos autores (> 10mm ou menores, com 6mm em 15min; > 25mm/h). Essas chuvas são concentradas no período de outubro a março (81,25% da precipitação e 86,9% da erosividade) onde a tendência aponta maior número de dias chuvosos com episódios intensos e fortes para fevereiro e março no período analisado.

Outra contribuição importante quanto aos resultados obtidos situa-se na utilização de uma proposta metodológica que, embora trabalhando com alguns parâmetros da USLE, permitiu a espacialização em termos de suscetibilidade e risco à erosão laminar adaptado daquela proposta por Salomão (1999),o que se torna valioso pra o planejamento ambiental.

A identificação da suscetibilidade à erosão laminar da área apontou os locais mais vulneráveis, revelando que boa parte da área é considerada como moderadamente suscetível (48,6%) e corresponde às formas de dissecação, com relevo convexizado e com presença dos RQ e RQg. Esta classe, quando somada às classes muito suscetível (22,23%) e extremamente suscetível (0,92%) representa 71,75% da área, que apresenta, relativamente, um elevado grau de suscetibilidade à erosão laminar, sendo que estas áreas correspondem, sobretudo, àquelas com presença dos RQ, RQg ou aos RL e C das áreas escarpadas, na borda da Chapada. O relevo plano de topo de Chapada foi o que apresentou a menor suscetibilidade, sendo que as duas classes (pouco a não suscetível e pouco suscetível) ocupam juntas apenas 28,25% da área, confirmando o esperado conforme a revisão bibliográfica.

O mapa de risco à erosão laminar, que é o mais importante do ponto de vista do planejamento geoambiental, por considerar o tipo de uso da terra como variável na sua elaboração, mostrou que quase metade da área (49,21%) refere-se à classe III - baixo risco à erosão laminar. Esta área corresponde às áreas de topos tabulares, com presença sobretudo dos LV e LVA, e em menor parte dos RQ. O fato de possuir declividades baixas e solos menos erodíveis (LV e LVA) são os fatores determinantes para que essa área não apresente uma capacidade de uso limitante e tampouco uma discrepância muito alta em relação à esta e seu uso efetivo, já que as mesmas podem ser utilizadas com agricultura, sem maiores problemas, sem riscos elevados à erosão.

Por outro lado, os outros 45,5% da área enquadram-se na classe II- médio potencial. Refere-se sobretudo às áreas ocupadas com os RQ , e o fato de estarem sendo utilizadas sobretudo com pastagens ou vegetação natural diminui o risco à erosão laminar, já que o solo apresenta algum tipo de proteção.

Por último temos os outros 5,3% da área, que se enquadra na classe I - alto potencial. Esta classe merece destaque por apresentar uma discrepância alta ou máxima em relação à capacidade de uso, que indica outras formas de utilização, sobretudo destinadas à conservação e/ou preservação ambiental, e em alguns casos mais restritos podem ocasionalmente ser utilizados com agricultura, por apresentarem sérios problemas de erosão, sobretudo devido ao tipo de solo. O fato de essas áreas estarem ocupadas com agricultura faz com que o seu risco à erosão laminar seja considerado alto.

Finalmente, distinguiu-se quatro conjuntos mais críticos em termos de risco à erosão laminar que merecem ser objeto de estudos mais detalhados e seriam prioritários para eventual monitoramento com experimentos, e todos relacionados a práticas agrícolas altamente desaconselhadas para as características de solo e declives.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com base nessas conclusões e nos mapeamentos produzidos, é possível sugerir algumas recomendações para o controle, sobretudo preventivo da erosão laminar. Contudo, mais do que traçar essas recomendações, devemos refletir sobre o modelo de planificação do uso do solo, no sentido de que a planificação deve ser pensada de baixo para cima, como lembram Vieira e Van Wambeke (2002), ou seja, procurar utilizar os levantamentos técnicos, buscando identificar soluções que podem servir ou que sejam do interesse dos agricultores, e não estabelecendo recomendações de uso e manejo e tentar fazer com que os produtores da área o adotem.

Assim, é necessário que se observe a estrutura fundiária da região, as condições financeiras dos agricultores e o tipo de atividade agrícola que desenvolvem, a fim de propor medidas que se ajustem a cada caso, e sejam passíveis de aplicação, além da economicidade dos usos propostos, pois que tudo isso vai influenciar na sua exequibilidade, como lembram os autores acima citados.

Outro ponto importante é que essas recomendações devem ser feitas considerando-se três níveis de planejamento: um trabalho em escala maior, ao nível de microbacias hidrográficas, um trabalho ao nível das prefeituras (com fornecimento de documentação necessária ao planejamento e apoio infra-estrutural) e outro ao nível de propriedades rurais (CASTRO FILHO et al., 2002).

Com base nessas colocações e nas conclusões apresentadas neste trabalho, é possível sugerir algumas recomendações para o controle, sobretudo preventivo da erosão laminar, aqui partindo do nível das propriedades rurais, num âmbito mais geral, ou seja, desconsiderando as especificidades de cada proprietário, sendo que a adoção de uma ou outra medida vai depender dos vários aspectos citados acima.

Assim, como recomendações gerais para o controle e prevenção da erosão laminar podemos citar, de imediato, dois princípios aplicáveis a todas as áreas: a elaboração de planos de manejo por profissionais competentes e a estrita obediência à legislação ambiental, principalmente no que se refere às áreas de preservação permanente, as quais se degradadas mas que ainda preserve fragmentos de cobertura original, deverão ser recompostas e se totalmente substituídas por culturas e/ou pastagens, deverão ser

revegetadas com espécies adequadas, preferencialmente nativas, de crescimento rápido e bom enraizamento. Ainda nesse sentido, as reservas legais se não averbadas ou locadas de modo isolado deverão ser averbadas e estabelecidas as conexões (para corredores) com as áreas de preservação permanente. É aconselhável a elaboração de manuais de orientação para manejo e a educação ambiental.

Como recomendações para os planos de manejo por classe de risco tem-se:

Classe III: áreas de baixo risco à erosão laminar

Aplicação de práticas conservacionistas simples, com vistas a manutenção da fertilidade dos solos, da matéria orgânica e da estabilidade dos agregados:

- Ênfase no uso de práticas de prevenção de compactação e de descompactação, de preferência vegetativas, a fim de proporcionar diminuição das taxas de evaporação, aumento da infiltração, maior penetrabilidade das raízes, melhor aeração e incorporação de insumos; recomenda-se o sistema de plantio direto ou plantio na palha;

- Para pequenas propriedades[15], um recurso mais barato é a adubação orgânica, com esterco animal ou compostos fabricados na própria propriedade, que melhora as condições do solo, aumentando as taxas de infiltração.

Classe II: áreas de médio risco à erosão laminar

Aplicação de práticas severas de prevenção à erosão:

- O uso das áreas com pastagens é menos prejudicial que com lavouras, pois a vegetação, mesmo que de pequeno porte ou gramíneas, proporciona um aumento da infiltração da água no solo, pela interceptação provocada pelas

[15] São poucas na área.

plantas e suas raízes, e pela constante adição de matéria orgânica que promove a agregação, a retenção de umidade e melhora a fertilidade;

- A prática do reflorestamento, para solos em áreas muito íngremes, pobres ou muito erodidas pode ser bastante viável, com aproveitamento dessas áreas para lazer, como pesque-pague, Hotel Fazenda, áreas de camping etc, tendo se constituído numa forma de diversificação da atividade econômica no meio rural;

Classe I: áreas de alto potencial à erosão

Estas áreas, de acordo com a sua capacidade de uso, deveriam ser destinadas à proteção ambiental e/ou revegetação. Contudo, o tipo de uso do solo atual nas mesmas é basicamente o agrícola, o que tem feito com que o risco à erosão laminar seja considerado alto. Dessa forma, além da necessidade da revegetação/recomposição das áreas previstas em lei, próximas aos cursos dos rios, nascentes, bordas da escarpa e topos de morros, outras práticas podem minimizar os riscos à erosão laminar no restante dessa área, além daquelas citadas nas recomendações para a classe de baixo risco, como:

- Plantio em faixas, que consiste na alternância (em nível) de culturas com níveis diferentes de proteção ao solo quanto à erosão;
- Replantio em contorno, de árvores de Cerrado para barra-vento, de boa profundidade das raízes;
- Replantio de árvores de Cerrado em áreas de pastagem e instalação de bebedouros para o gado;
- Evitar superpastoreio e praticar a rotação de pastos, sem corte das árvores de maior porte de rebrote do Cerrado.

Trata-se de sugestões gerais, de amplo domínio, mas convém ressaltar ainda dois pontos importantes: os planos de manejo devem ser feitos de modo articulado entre as propriedades, de preferência por pequenas sub-bacias hidrográficas; as práticas ora sugeridas devem ser avaliadas caso a caso em função de estudos em escala de detalhe, por

propriedade e por sub-bacia. Nesse sentido, pode-se partir das sub-bacias que já foram indicadas por Silva (2000), as quais estabelecidas também em função dos graus de criticidade erosiva (embora à erosão linear) poderão permitir o elencamento e a hierarquização das ações no tempo (emergenciais, médio e longo prazos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, G. S.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 7., 2001, Goiânia. Apostila de Mini-Curso.

ALVARENGA , M. I. N.; SOUZA, J. A. Recuperação de áreas degradadas. In: Alvarenga, M. I. N.; Souza, J. A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. ESAL/FAEPE, 1995.

ANDRADE, M. C. **O desafio ecológico:** utopia e realidade. São Paulo: HUCITEC, 1993.

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/trabalhos/mariza.pdf>. Acesso em: 25 junho 2002.

BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do cerrado. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BACELLAR, L. de A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG**. 2000. Tese (Doutorado em ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BARBALHO, M. G. da S. **Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na Alta Bacia do rio Araguaia (G0/MT).** 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

BARBALHO, M. G. S.; CAMPOS, A. B. Relações entre o relevo e as ocorrências erosivas na zona da Alta Bacia do rio Araguaia (GO/MT). In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 7., 2001, Goiânia. Anais dos trabalhos completos. Goiânia: Temma, 2001. CD.

BAPTISTA, G.M.M.; EID, N.J. Análise de quatro métodos indiretos de determinação da erodibilidade (Fator da USLE) dos grandes grupos de solos do Distrito Federal. In: Sociedade & Natureza. Uberlândia, 12 (24): 63-70, jul./dez.2000.

BERTALANFFY, L. von. **Teoria Geral dos Sistemas**. 3ed. Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um cambissolo húmico alumínico. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.2.v.25, 451-461, 2001.

_____. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.2.v.26, 545-552, 2002.

BERTOL, I. et al. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.2.v.26, 555-464, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR. **Equação de perdas de solo**. Instituto Agronômico, Campinas, SP, 1975. (Boletim Técnico, 21).

BLOISE, G.L.F. et. al. Potencial erosivo da Bacia do Olaria – Df. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 7., 2001, Goiânia. Anais dos trabalhos completos. Goiânia: Temma, 2001. CD.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. Rio Claro, SP. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, 2000

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOULET, R. **Relatório de consultoria referente à primeira fase dos estudos realizados para a recuperação da voçoroca "Chitolina", município de Mineiros-GO**. Jaguariúna: Fundação Emas, 2001.

BRADA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. In: In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.3.v.23, 711-721, 1999.

BRASIL. Decreto n.94.076, de 5 de março de 1987. **Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas, e dá outras providências.** Disponível em: < http://www.ipaam.br>. Acesso em: 02 setembro 2003.

BURIN, R.H. Mapeamento Ambiental e Estudo de Erosão de Solos na Bacia do Ribeirão Preto (Sp) utilizando Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográficas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 7., FÓRUM LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1., 1997, Curitiba. Anais. São Paulo: Tec Art Editora Limitada, 1997. 2v.(CD ROM)

CAMPOS, Christiane Senhorinha Soares. **Complexo agroindustrial, sob a forma de cooperativas, na ocupação e uso do cerrado**. Dissertação de mestrado - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – UFG. Goiânia, 1999.

CANIL, K. **Processos Erosivos e Planejamento Urbano: Carta de Risco de Erosão das Áreas Urbana e Periurbana do Município de Franca-SP**. Universidade de São Paulo – FFLCH. Dissertação de Mestrado. 2000.

CARVALHO Jr. O.A.C. et al. Confecção do mapa de susceptibilidade à erosão a partir da Usle utilizando para estimar o fator topográfico o programa Rampa. In**: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO,** 7., 2001, Goiânia. Anais dos trabalhos completos. Goiânia: Temma, 2001. CD.

CARVALHO, A. I.; PODESTÁ FILHO, J. A. de. Solos. In: **Geografia do Brasil**: Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1989, v.1

CASTRO, S. S. de; XAVIER, L S.; BARBALHO, M. G. da S. **Atlas Geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha**. SEMARH/IESA-UFG, 2004a.

CASTRO, S. S. de; XAVIER, L. S.; MACEDO, M. **Plano de Controle de Erosão Linear nas Nascentes dos rios Araguaia e Araguainha**. SEMARH/IESA-UFG, 2004b.

CASTRO, S. S. de. **Diagnóstico, prognóstico e controle de erosões urbanas e rurais no Estado de Goiás e Mato Grosso do Sul**. Programa Centro-Oeste de Pesquisa e Pós-Graduação (PCOPG). Chamada de projeto n.001/89. Digitado. Novembro/1999.

CASTRO FILHO, C. de. et al. Técnicas de controle de erosão e conservação da água. In: Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira. XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Cuiabá-MT. Eduardo Guimarães Couto e Jésus Franco Bueno (orgs.).

CAVALIERI, A. **Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

CHRISTOFOLETTI, A. C. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: HUCITEC: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

_____. **Modelagem em sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher ltda, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

COLODRO, G. et al. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.3.v.26, 809-818, 2002.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 1998.

DE MARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. In: In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.2.v.21, 263-270, 2001.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. (orgs.). **Hidrologia subterrânea**. 2ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1996.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Software USLE2D. Versão 4.1. Março de 2000.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FARIA, A. R. **Uso do solo da Bacia do Alto Araguaia, estado de Goiás e Mato Grosso: revisão sobre importância e mapeamento atual**. 2001. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

FERNANDES, M. R. Controle integrado de erosão hídrica: proposta estratégica para Minas Gerais. In**: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 6., 1998. Presidente Prudente. Anais. Presidente Prudente: ABGE, 1998. (CD ROM).

FERRETI, E. R. A bacia hidrográfica: questões metodológicas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 7., FÓRUM LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1., 1997, Curitiba. Anais. São Paulo: Tec Art Editora Limitada, 1997. 2v.(CD ROM)

FREITAS, P. L. de.; KER, J. C. As pesquisas em microbacias hidrográficas: situação atual, entraves e perspectivas no Brasil. In: FILHO, C. de C.; MUZILLI, O. (eds.) **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas.** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), 1996.

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

GALETI, P. A. **Conservação do solo**: reflorestamento-clima. 2ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

GOIÁS. Lei n.º 12.596 de 14 de março de 1995. **Institui a política florestal do Estado de Goiás e dá outras providências.** Fundação Estadual do Meio Ambiente, Goiânia, GO, 14 mar. 1995.

GRACIATO, S. et al. Previsão de Perdas de Solo: Simulação da Equação Universal de Perdas do Solo (Usle) em Ambiente Sig. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 7., FÓRUM LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1., 1997, Curitiba. Anais. São Paulo: Tec Art Editora Limitada, 1997. 2v.(CD ROM)

GUATURA, I. S. **Uso de um sistema de informações geográficas na estimativa da erosão do solo para a estação experimental de Pindorama (IAC/SP).** 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

_____. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 2ed. Ithaca/New York: Cornell Paperbacks/Cornell University Press, 1981.

HUDSON, N.W. The factors determining the extent of soil erosion. In: GREENLAND, D.J.; LAL, R. (ed.) **Soil conservation and management in the humid tropics**. Chichester/New York/Brisbane/Toronto: John Wiley & Sons, 1979.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Investigação, caracterização para o controle corretivo e preventivo de nove feições erosivas lineares e respectivas bacias de contribuição – Bacia Hidrográfica do Alto Araguaia GO/MT**. Relatório 36904. São Paulo. 1998.

JÚNIOR, O.A.C.; GUIMARÃES, R.F. Implementação em ambiente computacional e análise do emprego da área de contribuição no cálculo do fator topográfico (LS) da USLE. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 7., 2001, Goiânia. Anais dos trabalhos completos. Goiânia: Temma, 2001. (CD ROM)

LAL, R. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility. In: GREENLAND, D.J.; LAL, R. (ed.) **Soil conservation and management in the humid tropics**. Chichester/New York/Brisbane/Toronto: John Wiley & Sons, 1979.

LEPSCH, I.F. **Solos:** formação e conservação. 5.ed. São Paulo: Melhoramentos, 1993.

_____. **Manual para o levantamento do meio físico de classificação das terras no Sistema de Capacidade de Uso**. Campinas: Soc. Bras. de Ciência do Solo, 1991.

LIMA, P.M.P.; ANDRADE, H. **Erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B textural e B latossólico do sul de Minas Gerais**. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo. n.2.v.25, 2001.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975a (Boletim técnico, 27).

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975b (Boletim técnico, 28).

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

MAGNAGO, H.; SILVA, M. T. M. da; FONZAR, B. C. Vegetação: estudo fitogeográfico. In: **PROJETO RADAMBRASIL**: levantamento de recursos naturais, Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. 31v.

MARINHO, G. V. **Utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas, na Mesorregião Sul Goiana, Goiás**. 2000. Relatório Final de Pesquisa PIBIC/CNPq. Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

_____. **Caracterização físico-hídrica e da suscetibilidade erosiva linear dos solos na sub-bacia do Córrego Queixada, na Alta Bacia do Rio Araguaia-Go.** 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

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**. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo. n.3.v.21, 1997.

MARQUES, J. Q. A., BERTONI, J., BARRETO, G. B. Perdas por erosão no estado de São Paulo. **BRAGANTIA: Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo.** Campinas. V. 20. N.47.p.1143-1181, 1961.

MARTINS, M. S. **Substrato geológico e suas relações com os processos erosivos lineares na Alta Bacia do rio Araguaia**. 2000. Monografia (Bacharelado em Geografia). Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MATIAS, J. de O. **Evolução do uso do solo entre as décadas de 70 a 90 e suas relações com o processo de ocupação e com a degradação ambiental na bacia do Alto Rio Araguaia**. 1999. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MEDEIROS, C. M. de. **Análise da estrutura fundiária e o uso e manejo da terra nas sub-bacias críticas de erosão linear no Alto Rio Araguaia**. 2002. Monografia (Bacharelado em Geografia). Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MEDEIROS, S. A. F. de. Agricultura moderna e demandas ambientais: o caso da sustentabilidade da soja nos cerrados. In: DUARTE, L. M.G.; SANTANA, M. L. de. (orgs.) *et alli*. **Tristes cerrados**: sociedade e biodiversidade. Brasília: Paralelo 15, 1998.

MERTEN, G.H.; PANTE, A.R.; MINELLA, J.P.G. **Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) utilizando um método computacional**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. Anais. Cuiabá: Soc.Bras.Ci. Solo, 2002. (CD ROM).

MIAZARA, F. Atividades produtivas e desenvolvimento sustentável. In: DOMINGUES, J. L. MACHADO, M. C. T. (orgs.). **Seminário UFG desafiando o futuro**. Goiânia, Cegraf:2002

MIDLETON, H.E. **Properties of soils witch influence soil erosion**. Washington: USDA, 1930. (Technical Bulletin, 176).

MOLDENHAUER, W. C.; WISCHMEIER, W. H. Soil and water losses and infiltration rates on ida silt loam as influenced by cropping systems, tillage practices and rainfall characteristics.In: Soil Sci. Soc.Am. Proc., Madison, Wisc., 24: 409-413, 1960.

MORETI, D. et al. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). In: Rev. Bras. Ci. Solo, 27, 713-725, 2003.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. 2.ed. London: Longman, 1995.

NIMER, E. Clima. In: **Geografia do Brasil**: Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998, v.1

NORTON, L.D., LAFLEN, J.M. New models for predicting soil erosion by water. In: FILHO, C. de C.; MUZILLI, O. (eds.) **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas.** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), 1996.

NOVAES, A. S. S. et al. Pedologia. In: **PROJETO RADAMBRASIL**: levantamento de recursos naturais, Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. 31v.

OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios:** exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, São Paulo, Paraná. Tese de doutorado. FFLCH-USP, 2vol.1994.

OLIVEIRA, C. J. F. **A suscetibilidade dos solos aos processos erosivos lineares nas subbacias do Alto Araguaia e Rio Babilônia**. 1999. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

OLIVEIRA, V. C. V. **Sudoeste: a constituição de uma região moderna**. 2001. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

PEIXOTO, M. N. de O., SILVA, T. M. de., MOURA, J. R. da S. de. **Reflexões sobre as perspectivas metodológicas em Geografia Física.** In: Revista de pós-graduação em Geografia, UFRJ, ano 1, vol. 1, 1997 p.35-48

PONÇANO, W.L.; CHRISTOFOLETTI, A. Procedimentos estimativos para taxas de erosão pluvial em regiões tropicais. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 4., 1987, São Paulo: ABGE/DAEE.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**, Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. 31v.

RAMOS, D.R. de M. **Análise da distribuição temporal das precipitações na Alta Bacia do Rio Araguaia e suas relações com os processos erosivos lineares (GO/MT).** 2003. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

RENARD, K.G. et.at. Soil Loss Estimation. In: AGASSI, M. (ed.) **Soil erosion, conservation, and rehabilitation.** New York/Basel/Hong Kong: Marcel Dekker, Inc, 1995.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J. R. de. Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. In: Inf. Agropec. Belo Horizonte, 11 (128), 38-54,1985.

RESENDE, M. et. al. **Pedologia**: base para a distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995.

REZENDE, A. de. **Estudo do processo de voçorocamento na Bacia do Córrego Capivara; Alta Bacia do Rio Araguaia, em Mineiros (GO)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (editoras). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de Projetos Ambientais**. Santa Maria: Editora da Univesidade, 1997.

ROCHA, J. V; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. Metodologia para determinação do fator cmprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo. **Caderno de Informações Georreferenciadas (CIG)**, v.1, n.2, 1997. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n2n1.html> Acesso em: 30 abril 2003).

ROQUE, C. G., CARVALHO, M. P., PRADO, R. M. Fator esosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.1.v.25, 147-156, 2001.

ROSA, R. Erosão laminar potencial em microbacias hidrográficas. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 7., 2001, Goiânia. Anais dos trabalhos completos. Goiânia: Temma, 2001. (CD ROM)

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTOS, R. R. **As variáveis morfométricas das vertentes e sua importância nos processos pluvio-erosivos lineares na sub bacia do Alto rio Araguaia (GO/MT)**. 2001. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

SHARMA, P. P. Interril erosion. In: AGASSI, M. (ed.) **Soil erosion, conservation, and rehabilitation.** New York/Basel/Hong Kong: Marcel Dekker, Inc, 1995.

SHIKI, S. Sistema agroalimentar nos cerrados brasileiros: caminhando para o caos? In: SHIKI, S.; SILVA, J.G. da; ORTEGA, A. C. (orgs.). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidadade do Cerrado brasileiro**. Uberlândia: FAPEMIG, 1997.

SILVA, A. A. **Estudo das relações entre o sistema viário, a rede de drenagem e as ocorrências erosivas lineares na bacia do Alto Rio Araguaia**. 2000. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S.; BARBALHO, M. G. da S. **Discrepância entre uso e capacidade de uso das terras do setor sul da Alta Bacia do rio Araguaia (GO, MT, MS**). In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 12., 2002, João Pessoa. Contribuições científicas. João Pessoa: Antenanet, 2002.

SILVA, J. C. S; RIBEIRO, J. F. Bioma cerrado e suas potencialidades. In: **SIMPÓSIO AMBIENTALISTA BRASILEIRO NO CERRADO**, 1, 1995, Goiânia. Conferências do 1 Simpósio Ambientalista Brasileiro no Cerrado: contribuições para um novo modelo de desenvolvimento. Goiânia:CEGRAF/UFG.

SILVA, T. C. da. Zoneamento geoambiental dos cerrados. In: **SIMPÓSIO AMBIENTALISTA BRASILEIRO NO CERRADO**, 1, 1995, Goiânia. Conferências do 1 Simpósio Ambientalista Brasileiro no Cerrado: contribuições para um novo modelo de desenvolvimento. Goiânia:CEGRAF/UFG.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS:ABRH, 2000.

SOUZA JÚNIOR, J. J. et al. Geologia. In: **PROJETO RADAMBRASIL**: levantamento de recursos naturais, Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. 31v.

STEIN, D. P. et al. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe-Paranapanema. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 4, 1987. Marília. Anais. São Paulo: ABGE/DAEE, 1987.

SUDO, H. O conceito de sistema e a estrutura físico-antrópica dos processos erosivos. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 6., 1998. Presidente Prudente. Anais. Presidente Prudente: ABGE, 1998. (CD ROM).

VIEIRA, M. J.; VAN WAMBEKE, J. **Planejamento do uso da terra enfocando a conservação do solo e da água**: a experiência da FAO na América Latina. In: Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira. XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Cuiabá-MT. Eduardo Guimarães Couto e Jésus Franco Bueno (orgs.).

WEILL, M. A. M.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. Potencial Natural de Erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do rio Mogi- Guaçú (Sp). In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 7., 2001, Goiânia. Anais dos trabalhos completos. Goiânia: Temma, 2001. (CD ROM)

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. (Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H. **A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation**. In: Soil Sci. Soc.Am. Proc., Madison, Wisc., 23: 243-249, 1959.

XAVIER, L. de S. **Suscetibilidade natural e risco à erosão linear no alto curso do rio Araguaia (GO/MT)**: subsídios ao planejamento geoambiental. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio – Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

_____. **Cropping management factor for a Universal Soil-Loss Equation**. In: Soil Science Society of America. Proceedings. Madison, Wisc., 24: 322-326, 1960.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. **A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites**. Journal of Soil and Water Conservation, v.26, 1971 (p.189-193)

WWF – Fundo Mundial para a Natureza. **De grão em grão o cerrado perde espaço**. Brasília, 1995.