

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ESTUDO DA PERDA DE SOLO EM PARCELAS DE EROÇÃO, SOB
DIFERENTES CULTURAS E TÉCNICAS DE MANEJO E ANÁLISE DE
ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO.**

TESE DE DOUTORADO

HELDER LAGES JARDIM

Julho/2006

**ESTUDO DA PERDA DE SOLO EM PARCELAS DE EROÇÃO, SOB
DIFERENTES CULTURAS E TÉCNICAS DE MANEJO E ANÁLISE DE
ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO.**

Helder Lages Jardim

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes

Rio de Janeiro
Julho de 2006

**ESTUDO DA PERDA DE SOLO EM PARCELAS DE EROÇÃO, SOB
DIFERENTES CULTURAS E TÉCNICAS DE MANEJO E ANÁLISE DE
ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO.**

Helder Lages Jardim

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título em Doutor em Geografia.

Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes - Orientador

Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Profa. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira

Profa. Dra. Ana Valéria Allemão Bertolino

Profa. Dra. Telma Mendes da Silva

Resumo

A substituição da vegetação natural pela agricultura, muitas vezes realizada de forma inadequada tem acelerado os processos de erosão, principalmente em áreas de relevo montanhoso, trazendo graves conseqüências não só no assoreamento dos recursos hídricos, mas também reduzindo a produtividade agrícola e a perda de grandes áreas agriculturáveis. Neste trabalho foram monitorados quatro parcelas de erosão do tipo Wischmeier: (i) parcela sem presença de cobertura vegetal (SC), com utilização de arado de disco com trator e sem irrigação; (ii) sistema de plantio convencional (PC), com utilização de queimada, com arado com trator morro abaixo e irrigação por molhamento; (iii) sistema com plantio em nível (PN) realizado com junta de boi e plantação com irrigação por molhamento e a presença de uma faixa de Capim Colônia a cada 6m, sem uso de queimada; (iv) sistema de cultivo mínimo/plantio direto (PD), com irrigação por molhamento. A parcela SC foi a que apresentou os maiores índices de erosão, com uma média de 20,76 ton/ha para uma chuva média de 20,9mm. A segunda maior perda média foi verificada na parcela PC, com 0,00642 ton/ha para uma chuva média de 18,2mm, seguido da parcela PN com 0,00543 ton/ha para uma chuva média de 18,5mm e, por último, a parcela PD com uma perda de 0,00139 ton/ha para uma chuva média de 18,2mm. Estes índices são de suma importância, pois demonstram o risco de se manter o solo desprotegido de cobertura vegetal em áreas agrícolas de acentuado declive e chuvas intensas da estação chuvosa. Um outro fato que chama a atenção é que dentre as parcelas que receberam algum tipo de conservação, o praticado na região de Paty do Alferes/RJ, o de trator morro abaixo, é o que apresenta os maiores índices de erosão, e os efeitos de assoreamento dos cursos d'água e abandono das terras por perda de produtividade já se fazem sentir. Vale destacar ainda que os dados de perda de solo apresentaram uma correlação satisfatória com os totais de chuva (SC = 0,60918; PC = 0,53192; PN = 0,52116; PD = 0,48486). A eficiência das técnicas de conservação do solo para a área ficaram em torno de 99% em relação à parcela sem plantio. O MNT gerado para dois anos consecutivos mostrou as áreas de retirada de sedimentos e as áreas de deposição. Somente a parcela SC não apresentou áreas de deposição, somente de retirada.

Amarra o teu arado a uma estrela

Gilberto Gil

Se os frutos produzidos pela terra

Ainda não são tão doces e polpudos

Quanto as pêras da tua ilusão,

Amarra o teu arado a uma estrela

E os tempos darão safras e safras de sonhos,

Quilos e quilos de amor,

Noutros planetas risonhos

Outras espécies de dor.

Se os campos cultivados neste mundo

São duros demais e os solos assolados pela guerra

Não produzem a paz,

Amarra o teu arado a uma estrela

E aí tu serás o lavrador louco dos astros,

O camponês solto nos céus

E quanto mais longe da terra,

Tanto mais longe de Deus.

Dedico esta Tese ao meu pai, grande incentivador e à minha mãe, que partiu no meio deste processo, mas que tenho certeza, estará sempre presente em minhas realizações...

AGRADECIMENTOS

- A Deus que sempre é um alento todos os dias da nossa vida...
- Ao *Dr. Nelson Ferreira Fernandes*, meu orientador, pela sua preciosa orientação e pelas facilidades operacionais que proporcionou a este trabalho;
- À *Profa. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira*, que esteve presente nas horas mais difíceis do trabalho com sua força, determinação e amizade, conselhos e dicas;
- À *Andréa Paula de Souza*, pelo carinho, amizade e disponibilidade em ajudar não só a mim, mas a todos;
- À *Ana Valéria Allemão Bertolino* pela amizade e pelas dicas durante a confecção deste trabalho;
- À “*turma do Nelson*” que sempre estava disposta a ajudar nos trabalhos de campo, nas organizações de dados e em qualquer outro favor que precisássemos;
- À *Ildione* e à *Nildete*, pelo carinho, disposição e simpatia: A secretaria não seria a mesma sem vocês;
- À *CAPES*, pela bolsa fornecida para a confecção deste trabalho;
- Ao *PPGG* pela oportunidade de fazer este trabalho;
- Ao *Vladimir* e ao *Bráulio* pela ajuda no Modelo Digital de Elevação;
- Ao *Cássio* pela criatividade da capa e amizade;
- À minha família pelo apoio e especialmente à *Stefane*, *Roney* e *Ana Luiza*, que com tanto carinho me receberam e apresentaram ao Rio de Janeiro;
- Aos meus amores que me concederam os melhores momentos da vida e aos amigos, *Denise Reis*, *Renata Thurler*, *Manoel Pinto*, *Sílvia Rolim*, *Marcelo Matzdorf*, *Valéria Amorim* e muitos outros, que estiveram presentes nos bons momentos e foram rumo nas horas de fragilidade e tristeza...

... o meu **MUITO OBRIGADO!**

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Fundamentação Teórica	5
2.1. O Processo de Erosão	5
2.1.1. Fatores intrínsecos que afetam o processo de erosão.....	7
2.1.1.1. Textura	8
2.1.1.2. Estrutura.....	11
2.1.1.3. Infiltração.....	15
2.1.1.4. Erodibilidade do solo	16
2.1.2. Fatores extrínsecos que afetam o processo de erosão.....	20
2.1.2.1. Chuva	20
2.1.2.2. Cobertura vegetal.....	23
2.1.2.3. Topografia	25
3. Descrição da Área de Estudos	29
4. Metodologia	34
4.1. Monitoramento de perda de solo nas parcelas.....	34
4.2. Tratamento dos dados de perda de solo em laboratório	41
4.3. Cálculo da perda de solo.....	42
4.4. Tipos de cultivos utilizados nas parcelas.....	44
4.4.1. Características do Pimentão (<i>Capsicum annuum</i>) e do Feijão de Vagem (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	48
4.5. Monitoramento dos dados climatológicos.....	49
4.5.1. Cálculo do índice de chuva e do EI_{30}	50
4.6. Cruzamento dos dados de erosão, cobertura vegetal e manejo	51
4.7. Confecção do Modelo Digital de Elevação das parcelas de erosão	55
5. Resultados e discussões	57
5.1. Precipitação.....	57

5.2. Análise de correlação entre perda de solo e totais de chuva nas parcelas de erosão.....	63
5.3. Perdas de solo nas parcelas de erosão	69
5.3.1. Parcela Sem Cobertura – SC	69
5.3.2. Parcela de Plantio Convencional – PC.....	73
5.3.3. Parcela de Plantio em Nível – PN	79
5.3.4. Parcela de Plantio Direto – PD.....	84
5.4. Eficiência das técnicas de manejo (PC, PN e PD) na redução das perdas de solo.....	89
5.5. A produtividade das parcelas PC, PN e PD	94
5.6. Correlação entre perda de solo e o fator de cobertura x manejo	98
5.7. Análise do modelo digital do terreno nas parcelas de erosão	102
6. Considerações Finais	112
7. Referências Bibliográficas	117
8. Bibliografia Consultada	129
9. Anexos	133

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1. Estrutura do solo: (a) Prismática; (b) Colunar; (c) Blocos Angulares e Subangulares; (d) Laminar e; (e) Granular	12
Fig. 3.1. Mapa de localização do município de Paty do Alferes	30
Fig. 3.2. Visão parcial das parcelas de erosão no Campus Experimental da PESAGRO/Avelar	30
Fig. 3.3. Foto da estação agrometeorológica da PESAGRO/Avelar	31
Fig. 4.1. Desenho esquemático da parcela padrão de Wischmeier para perda de solos	35
Fig. 4.2. Desenho esquemático das parcelas de erosão e o tipo de tratamento dado a cada uma delas.....	37
Fig. 4.3. Detalhe da coleta de sedimentos realizada com a colocação de um balde dentro da caixa coletora	38
Fig. 4.4. Balde de 35l utilizado para coleta de material durante os eventos chuvosos. Nele, pode-se observar o detalhe de uma fita métrica colada em seu interior, utilizada para medir a altura do volume escoado.	39
Fig. 4.5. Medição da perda de solo realizada diretamente através das caixas coletoras.....	39
Fig. 4.6. Detalhe dos potes utilizados para a coleta de sedimentos, onde eram registrados a parcela, data, horário e altura da caixa/balde durante as coletas de perda de solo.	40
Fig. 4.7. Pesagem das amostras em uma balança de precisão	41
Fig. 4.8. Detalhe dos beckeres dentro da estufa para o início do processo de secagem dos sedimentos.	42
Fig. 5.1. Coeficiente de chuva a partir das médias mensais para Paty do Alferes/RJ	59
Fig. 5.2. Totais mensais de chuva para Paty do Alferes entre 2001 e 2003.....	61
Fig. 5.3. Correlação entre perda de solo e totais de chuva nas parcelas de erosão (SC, PC, PN e PD)	64
Fig. 5.4. Visão de detalhe da parcela SC onde estão destacados os sulcos oriundos do fluxo superficial concentrado.....	66
Fig. 5.5. Totais de chuva e perda de solo na parcela SC apresentados em ordem cronológica	70
Fig. 5.6. Perda de solo na parcela SC apresentados em ordem decrescente	71
Fig. 5.7. Chuva e perda de solo na parcela PC em ordem cronológica.....	76
Fig. 5.8. Perda de solo na parcela de Plantio Convencional em ordem decrescente de perda.	77

Fig. 5.9. Totais de chuva e de perda de solo na parcela PN em ordem cronológica.....	81
Fig. 5.10. Perda de solo na parcela de plantio em nível, ordenada decrescentemente.....	82
Fig. 5.11. Perda de solo na parcela PD ordenada cronologicamente	85
Fig. 5.12. Perda de solo na Parcela PD organizados de forma decrescente.....	87
Fig. 5.13. Correlação entre perda do solo e o fator de cobertura x manejo para as parcelas de Plantio Direto (PD), Plantio em Nível (PN) e Plantio Convencional (PC).....	100
Fig. 5.14. Geração das curvas de nível nas parcelas de erosão e seu entorno, a partir do levantamento topográfico realizados nos anos de 2002 (esquerda) e 2003 (direita)	104
Fig. 5.15. Imagem das parcelas renderizadas. À esquerda o primeiro ano (2002) e à direita o segundo (2003)	105
Fig. 5.16. Subtração do perfil de encosta do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela Sem Cobertura. A cor vermelha indica as áreas de perda de solo entre os dois anos analisados.....	107
Fig. 5.17. Subtração do perfil de encosta do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela de Plantio Convencional. O vermelho indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003) e o azul indica as áreas de deposição	108
Fig. 5.18. Subtração do perfil de encosta do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela de Plantio em Nível. O vermelho indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003) e o azul indica as áreas de deposição	109
Fig. 5.19. Subtração do perfil de encosta do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela de Plantio Direto. O vermelho indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003) e o azul indica as áreas de deposição	111

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 2.1: Partículas de vários tamanhos, processos mais condizentes, composição e efeitos principais advindos do processo de erosão	9
Quadro 3.1: Precipitação média mensal do distrito de Avelar – Paty do Alferes/RJ	31
Quadro 4.1: Correspondência entre a altura do balde em centímetros com seu volume em mililitros	43
Quadro 4.2: Culturas utilizadas nas parcelas experimentais no período de 2001 a 2004	45
Quadro 4.3: Cronograma dos cultivos utilizados	46
Quadro 4.4: Cronograma e pesos atribuídos a cada fase de desenvolvimento das culturas.....	52
Tabela 5.1: Chuva em paty do Alferes – Totais mensais, anuais, índice de chuva (Rc) e EI ₃₀	59
Tabela 5.2. Média, desvio padrão e correlação entre perda de solo e chuva nas parcelas SC, PC, PN e PD.....	64
Tabela 5.3. Comparação da perda de solo entre as parcelas de erosão, por grupo	91
Tabela 5.4. Percentual de eficiência entre os tratamentos, por grupo	93
Tabela 5.5. Produtividade das culturas da couve-flor, pimentão e feijão de vagem nas parcelas PC, PN e PD	94

INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural na superfície terrestre, que pode ser acelerado ou retardado pela ação antrópica. O processo de erosão inclui a desagregação, o transporte e a deposição de materiais oriundos da decomposição de rochas e solos, trazendo como principal consequência, a perda de solos férteis e o assoreamento dos cursos d'água (DUNNE e LEOPOLD, 1978), sendo que os principais propósitos do seu estudo são o controle da erosão e a preservação do solo. Para isso, entretanto, BOARDMAN (1996) ressalta que se torna necessário o conhecimento dos processos envolvidos e que se avaliem as taxas, a extensão e a frequência da erosão no campo.

Apesar do processo de erosão ocorrer de forma natural, o homem é um dos seus principais aceleradores, atuando de forma indiscriminada sobre o meio ambiente através do desmatamento e práticas agrícolas inadequadas, o que tem reduzido a produtividade agrícola e provocado a perda de grandes áreas propícias à agricultura.

Curiosamente, a prosperidade futura da humanidade depende cada vez mais do uso eficiente dos insumos agrícolas para maior produção e qualidade dos alimentos. Esta eficiência, traduzida em termos de produtividade, rentabilidade e sustentabilidade ambiental, está intimamente relacionada ao manejo cuidadoso do solo para que este não fique sujeito a problemas de erosão. Além disso, o solo perdido pela erosão hídrica é geralmente o mais fértil, contendo os nutrientes das plantas, húmus, etc. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Desta forma, qualquer que seja a causa, a erosão do solo acaba por tornar a terra improdutiva.

Inserido neste contexto, o problema da erosão acaba por transcender seu significado como processo, revelando-se uma questão cuja abordagem é orientada segundo visões de mundo, ajustadas a um contexto de domínio cultural, onde os valores sociais determinam o comportamento do homem e sua relação com o significado da erosão do solo (D'AGOSTINI, 1999). Inserido neste contexto, MORGAN (1995) ressalta que a relevância das medidas de conservação para sistemas agrícolas depende, em parte, de como os fazendeiros e as pessoas de um modo geral, percebem o problema da erosão e suas consequências. Desta forma, a erosão do solo acaba por afetar toda a sociedade, tornando-se um problema cuja magnitude é difícil de se compreender.

Progressos têm sido alcançados na determinação da intensidade da erosão de muitos solos sob grande variação climática, mostrando que as medidas de conservação reduzem a erosão, mas raramente a eliminam completamente (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). O problema a decidir então é o quanto de erosão é permissível ou tolerável. Para isso, torna-se cada vez mais necessário, estudos criteriosos que avaliem a susceptibilidade dos mais diferentes tipos de solo aos processos de erosão e as taxas com que esses processos ocorrem.

Assim, antes do trabalho de planejamento das medidas de conservação do solo, deve ser feita uma quantificação da erosão. Desta forma, estimativas de taxas poderiam ser comparadas com as taxas consideradas aceitáveis de modo a determinar as diferentes estratégias de conservações a serem implementadas (MORGAN, 1995).

Entretanto, a medição e o monitoramento de parcelas de erosão para a determinação da perda de solo é uma tarefa hercúlea e cujos resultados são pontuais no tempo e no espaço. Além disso, os experimentos de campo são

geralmente caros, o que dificulta a realização de tais mensurações em muitos pontos da paisagem (FERNANDES, 1996). Entretanto, a cada dia surgem novas ferramentas, tais como a modelagem matemática que, aliadas a experimentos de campo, permitem uma extrapolação têmporo-espacial dos dados, facilitando a predição de perda de solo de uma área cultivada, tornando-se uma prática indispensável para o planejador conservacionista.

Desta forma, os modelos matemáticos de erosão hídrica acabaram se tornando ferramentas poderosas na pesquisa das práticas agrícolas. Esses modelos auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação. Entretanto, apesar de processos físicos simples poderem ser descritos precisamente, a maioria dos processos complexos como os dissipativos (que incluem os processos hidrológicos e sedimentológicos) requerem suposições, simplificações e agregações, além de algum grau de empiricismo em sua formulação (CHAVES, 1999).

A partir do exposto acima, este trabalho objetiva contribuir para um melhor entendimento da erosão em áreas agrícolas em regiões tropicais úmidas, sob diferentes tipos de manejo e uso. Para se alcançar o objetivo geral, foram estipulados alguns objetivos específicos:

1. Quantificar a perda de solo das parcelas de erosão, decorrente de chuvas naturais;
2. Analisar os efeitos de magnitude e frequência dos eventos chuvosos e sua contribuição para o processo erosivo em Paty do Alferes;
3. Analisar os efeitos da cobertura do solo em diversos estágios de desenvolvimento dos cultivos aplicados.

4. Analisar a eficiência das medidas conservacionistas, em relação à perda de solos, na transferência dos sedimentos dentro das parcelas e sua saída ao longo do tempo.
5. Analisar a eficiência de um Modelo Digital de Elevação como ferramenta para análise da perda de solo em parcelas de erosão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será descrito o processo de erosão do solo, bem como os fatores intrínsecos e extrínsecos ao solo que podem interferir neste processo.

2.1. O Processo de Erosão

O estudo dos processos erosivos básicos é de importância fundamental para que se compreenda como a erosão ocorre e quais as suas consequências. Analisando-se a erosão do solo como um problema agrícola, verificam-se não somente as causas das taxas de perda de solo, mas também a quantidade de solo ainda disponível para a agricultura. Esta disponibilidade é função da espessura original do solo e do balanço entre produção e remoção dos sedimentos (GUERRA, 1994).

A água é o principal agente da erosão nos climas tropicais úmidos, portanto, a base de todo o processo erosivo recai sobre o ciclo hidrológico (FOSTER, 1982). Assim, a água que não é infiltrada, nem é perdida por evapotranspiração ou absorvida pelas plantas, tende a escoar pela superfície do solo, formando inicialmente um fluxo superficial difuso (hortoniano). Este fluxo ocorre durante as chuvas intensas quando o solo está saturado e é responsável pelo transporte das partículas de solo desagregadas. Esta erosão laminar pode ser instável à medida que o fluxo aumenta de volume e velocidade, resultando na formação de pequenos canais migratórios (FERNANDES, 1996).

O início do processo erosivo se dá através da ação do *splash* (erosão por salpicamento), que rompe os agregados presentes na superfície do solo, iniciando o processo de transporte, devido ao deslocamento dessas partículas. A ruptura desses agregados provoca também o preenchimento dos poros presentes

na superfície do solo, formando encrostamentos superficiais e induzindo uma pressão positiva nos poros ocupados pela água, tendo como consequência o empocamento desta e o início do escoamento superficial (DE PLOEY, 1983). Este fator muda o sistema erosivo de elevada remoção/baixo transporte, antes do início do escoamento superficial, para baixa remoção/elevado transporte durante a fase de escoamento superficial (GUERRA, 1994).

Se por um lado, estas crostas, constituem um fator de resistência à erosão, por outro, com a diminuição da infiltração, ocorre um aumento da energia do escoamento superficial, amplificando o seu potencial em causar a erosão (MORGAN, 1986). Essa resistência, entretanto, depende do teor de argila na superfície do solo e do estado de conservação do mesmo. Em solos agrícolas, por exemplo, as crostas e os agregados do solo são destruídos mais facilmente, disponibilizando uma grande quantidade de partículas finas e inconsolidadas que são facilmente transportadas pelo escoamento superficial.

HORTON (1945) elaborou um modelo de erosão laminar em que o escoamento superficial difuso aumenta do topo para a base da encosta, variando com a inclinação da vertente. Para o autor, no topo, porção mais suave da encosta, a energia do fluxo não é suficiente para romper a resistência ao cisalhamento da superfície do solo, mesmo sob chuvas intensas. Esta porção da encosta foi denominada por ele de *"belt of no erosion"*. Já na meia encosta, onde o perfil da vertente é mais inclinado, a velocidade da chuva pode vir a superar a velocidade de infiltração, produzindo um fluxo excedente que transporta as partículas soltas que estão presentes à superfície do solo. Este material é então transportado até que a carga de sedimentos exceda a capacidade de transportá-los. A partir daí, ocorre a deposição.

Segundo MORGAN (1986), o aumento da espessura e da velocidade do fluxo hortoniano na meia encosta tende a se concentrar gradualmente, formando canais preferenciais de escoamento, as micro ravinas, aumentando assim sua turbulência e conseqüentemente, sua capacidade de transporte. Estas ravinas por sua vez tendem a migrar, capturando outras micro ravinas, aumentando ainda mais o volume e a turbulência do fluxo. Essa mudança do escoamento difuso para o concentrado é fortemente influenciada pela presença da vegetação e pela micro-topografia do solo (BARBOSA, 2000).

Os processos e taxas da erosão inter/ravinar são extremamente complexos e variados, dependentes de fatores extrínsecos ao solo, tais como a intensidade da chuva, o tamanho da gota, presença ou ausência da influência do vento durante os eventos chuvosos e; fatores intrínsecos, tais como a textura do solo, características dos agregados, rugosidade da superfície, susceptibilidade à formação de crostas e a presença e densidade de um debrís orgânico, além da densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica e estabilidade dos agregados, como será visto adiante.

2.1.1. Fatores intrínsecos que afetam o processo de erosão:

Várias são as propriedades do solo que interferem no processo de erosão. Para GUERRA (1994), essas propriedades são a textura, a densidade aparente, a porosidade, o teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados. AMARAL FILHO (1993) destaca, além das anteriores, o grau de floclulação, a mudança textural abrupta no perfil do solo, a permeabilidade, a seqüência dos horizontes e/ou profundidade do solo, além das técnicas de manejo.

Assim sendo, pode-se observar que o processo de erosão é complexo e dependente de um grande número de variáveis, aqui distinguidos entre os fatores intrínsecos ao solo e fatores extrínsecos, que irão determinar as taxas com que a erosão ocorre.

2.1.1.1. Textura:

O conhecimento da textura é essencial nos estudos de classificação, morfologia e gênese do solo. A textura relaciona-se ainda com as propriedades químicas e físicas do solo, destacando-se a capacidade de troca catiônica (CTC), retenção e infiltração de água, aeração e consistência.

A textura afeta a erosão porque algumas frações granulométricas são mais facilmente deslocadas do que outras no processo de erosão. O Quadro 2.1 ilustra a relação entre a textura do solo e a tendência individual das partículas serem destacadas, transportadas e depositadas e seus principais efeitos advindos dos processos erosivos. Em teoria, se analisados individualmente, o escoamento teria uma maior competência hidráulica de remover as partículas menores – a argila e o silte. Daí poder-se-ia deduzir que quanto maior o teor de silte, por exemplo, maior seria a susceptibilidade dos solos em serem erodidos.

Entretanto, ANGULO et al. (1984) concluíram que o conteúdo de argila apresenta uma correlação inversa com a erodibilidade do solo quando o coeficiente é calculado para solos com até 60% de argila. ÁDAMO (2001) estabeleceu uma relação direta entre o potencial de infiltração da água no solo e o teor de argila do mesmo, tendo a água grande dificuldade em infiltrar e percolar solos argilosos, proporcionando maior escoamento superficial nas vertentes de Gouveia (MG). CUNHA et al. (1999) também observaram as mesmas características em solos da

região nordeste do estado do Paraná, ressaltando também a importância do teor de argila em horizontes mais profundos do solo que podem originar fluxos horizontais e laterais na circulação hídrica nas encostas.

Assim, de modo geral, as argilas tendem a dificultar o processo de infiltração da água, aumentando a competência hidráulica do escoamento superficial e, devido a sua flocculação, são mais difíceis de serem removidas e, quando se vão, levam junto parte da carga de nutrientes do solo.

QUADRO 2.1: Partículas de vários tamanhos, processo mais condizente, composição e efeitos principais advindos dos processos de erosão.

PARTÍCULA	TENDÊNCIA	COMPOSIÇÃO	EFEITOS PRINCIPAIS
• Argila	• Transporte	• Grãos simples	• São retirados do sistema junto com os nutrientes.
• Silte	• Deslocamento • Transporte	• Grãos simples e agregados de argila	• São retirados do sistema junto com os nutrientes
• Areia Fina	• Deslocamento • Transporte	• Grãos simples e agregados de argila e silte	• São retirados do sistema ou apenas retrabalhados
• Areia Grossa	• Deposição	• Grãos simples e agregados de argila, silte e areia fina.	• Tendem a permanecer à superfície, dando-lhe alguma proteção.
• Cascalhos, seixos e matacões.	• Permanecem como resíduo	• Pedacos de rochas / cristais	• Permanecem na superfície, reduzindo a erosão.

Fonte: RESENDE (1985)

Para LE BISSONNAIS et al. (1993), a mineralogia das argilas claramente influencia os processos de erosão, mas a relação exata é difícil de ser estabelecida, pois os solos usualmente contêm uma mistura de vários tipos de minerais de argila.

Apesar de, em princípio, a textura do solo interferir na capacidade de infiltração, não é possível se fazer uma correlação direta entre a capacidade de infiltração e a textura do solo. Solos com partículas maiores possuem poros maiores

e geralmente interligados e, por isso, apresentam maior capacidade de infiltração, porém a existência de um determinado tipo de mineral e/ou crostas selando a superfície desses solos pode diminuir a sua capacidade de infiltração, assim como também a presença no subsolo de uma camada mais impermeável, como ocorre nos solos que sofreram podzolização (MORGAN, 1977).

Esta mudança textural abrupta pode ser resultante tanto do processo de deposição, quanto do de pedogênese e pode afetar os processos de erosão presentes no solo. No processo de podzolização, por exemplo, há o deslocamento de argila do horizonte superficial (diminuindo a agregação das partículas) e deposição nos poros, canais e sobre as superfícies das estruturas dos horizontes subsuperficiais. Conseqüentemente, a cerosidade resultante pode influenciar na permeabilidade deste horizonte, através da diminuição do tamanho dos poros, canais, espaço entre os agregados e recobrimento contínuo das estruturas.

Por outro lado, solos com textura argilosa, podem apresentar uma boa capacidade de infiltração às custas de uma boa estruturação e/ou da presença de fendas e de raízes, devido à sua facilidade de floculação na presença de matéria orgânica, provocando fluxos preferenciais para o interior do solo. A presença de argila do tipo 2:1 pode também, em um primeiro momento, aumentar as taxas de infiltração da água no solo, devido à formação de fendas ocasionadas pelo processo de expansão (quando úmidas) e retração (quando secas).

DUNNE e DIETRICH (1980) encontraram um solo Rendzina Vértico¹ no sudeste do Quênia, com argila do tipo 2:1, apresentando muitas fendas de contração, uma alta capacidade de infiltração, mas que diminuía rapidamente à medida que o solo ia se umedecendo e as partículas de argila iam se expandindo e,

¹ - Atualmente Chernossolo (EMBRAPA, 1999)

quando um novo experimento de simulação corria logo após o outro, quase nada se infiltrava, pois as fendas já haviam se fechado pela expansão das paredes e/ou pelo preenchimento com partículas finas.

2.1.1.2. Estrutura:

A estrutura do solo é uma das propriedades que interfere diretamente na relação que este tem com a permeabilidade e porosidade do solo, além de ter a capacidade de alterar muitas das propriedades que seriam dadas pela textura em condições de grãos simples. Os agregados muito grandes e coesos entre si, por exemplo, tendem a favorecer o processo de erosão por dificultar a permeabilidade.

Denomina-se de estrutura de um solo, a agregação de suas partículas individuais em partículas compostas, ou resultante da fragmentação do material grosseiro no processo de formação do solo (VIEIRA e VIEIRA, 1983). A agregação depende de vários fatores, onde destacam-se a matéria orgânica, o teor de certos elementos (Ca e Fe), o cultivo, raízes, os microrganismos, umedecimento e secamento alternados.

Para AMARAL FILHO (1993), as alterações que refletem a organização microscópica das partículas de argila também são muito importantes no estudo da estrutura do solo. Assim, havendo óxidos de alumínio (gibbsite), óxidos de ferro (hematita e goetita) ou matéria orgânica, a estrutura tende a se transformar de prismática (Fig. 2.1) para uma estrutura em blocos ou granular. Esse fato tem um reflexo direto na permeabilidade e, conseqüentemente, na erosão. Assim sendo, um alto teor de argila no solo (o que tomando a característica de textura individualmente, levaria à baixa permeabilidade) poderia, de acordo com o tipo de estrutura, caracterizar o solo como altamente permeável.

Em geral, um solo com estrutura de boa qualidade, apresenta boa capacidade de retenção, infiltração, permeabilidade e armazenamento de água no seu interior, o que, no conjunto, irá refletir-se em menor erodibilidade (WISCHMEIER e SMITH, 1978; FOSTER, 1982).

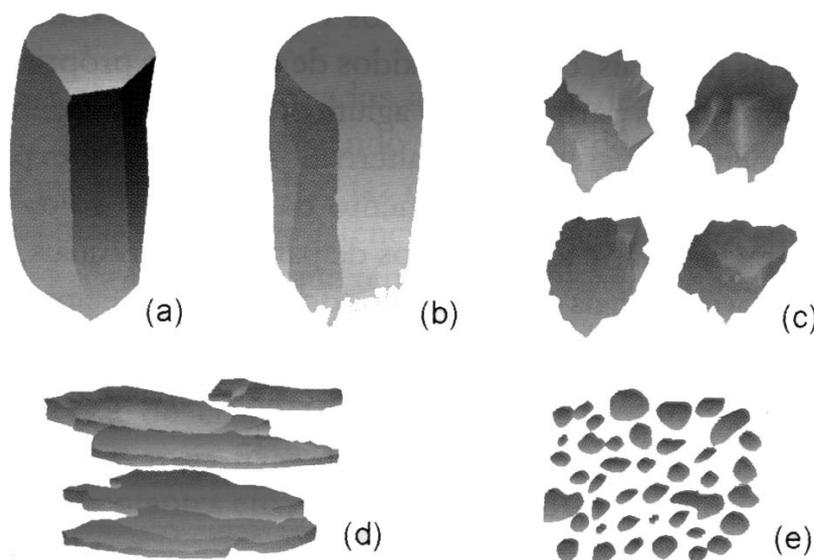


Fig. 2.1. Estrutura do solo: (a) Prismática; (b) Colunar; (c) Blocos Angulares e Subangulares; (d) Laminar e; (e) Granular.
Fonte: LEPSCH (2002)

Na análise da estrutura do solo, o manejo assume um fator de suma importância, pois é o responsável pela destruição da estrutura nas camadas superiores do solo (aproximadamente até 30cm), quebrando os agregados superficiais e disponibilizando assim, uma grande quantidade de material para ser transportado. Este trabalho é realizado tanto pelo tráfego de máquinas pesadas sobre o solo, quanto decorrente do preparo primário e secundário do mesmo.

Em solos agrícolas, a pressão exercida na superfície do solo pelo tráfego de máquinas, nas operações de preparo, aumenta normalmente a densidade do solo e diminui a porosidade total, em especial, a macroporosidade (TSEGAYE e HILL, 1998). Essa desagregação na estrutura é agravada quando as operações de

preparo do solo e tráfego de máquinas nas lavouras são realizadas em solos com consistência plástica associadas a pressões superiores à pressão de pré-consolidação (FIGUEIREDO et al., 2000; SILVA et al., 2000; SILVA et al., 2003). Por outro lado, a redução do tráfego de máquinas e do revolvimento do solo, associado ao uso de plantas de cobertura, pode preservar e até mesmo recuperar a estrutura do solo, mantendo, desta forma, o sistema agrícola mais produtivo (BRAGANOLO e MIELNICZUK, 1990).

Para GUERRA (1994), a porosidade está inversamente relacionada à densidade aparente. Assim, quanto menor for a porosidade do solo, maior será a densidade aparente, reduzindo a infiltração da água no solo e aumentando, por conseguinte, o escoamento superficial.

A densidade do solo é dependente tanto do tipo de solo, quanto das técnicas de manejo aplicadas sobre ele, como é atestado por diversos trabalhos (TSEGAYE e HILL, 1998; FIGUEIREDO et al., 2000, SILVA et al., 2000 e SILVA et al., 2003).

MACHADO e BRUM (1978) estudaram o efeito de sistemas de plantio direto e convencional, comparando-os com talhões sob mata virgem, em algumas propriedades físicas do solo, nas profundidades de 0-15 cm e de 15-30cm em um Latossolo Roxo distrófico de textura argilosa². No estudo observou-se um aumento da densidade do solo com a diminuição de matéria orgânica, principalmente no sistema convencional, resultante da grande movimentação de máquinas que este sistema exige.

VOLK et al. (2004) estudaram a erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, resultantes de seu manejo e

² - Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 1999)

na ausência de cobertura vegetal. Os valores médios de densidade do solo por ocasião da colheita das culturas encontravam-se relativamente altos e semelhantes nos tratamentos com preparo convencional, porém menores que na semeadura direta, independentemente do cultivo e manejo dos resíduos culturais e da profundidade do solo. A similaridade dos valores desta variável nos tratamentos com preparo convencional deveu-se à homogeneização da massa de solo, causada pelo preparo. Já para o plantio direto, o cessamento do preparo do solo por um período de 5,5 anos reconsolidou sua superfície e conseqüentemente aumentou sua resistência à erosão hídrica.

Vários autores relatam em seus trabalhos a influência do manejo do solo sobre a destruição da estrutura nas camadas superficiais do solo. Para BERTOL et al. (1987), o preparo do solo objetiva, dentre outros aspectos, alterar a estrutura da sua camada superficial para facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de água no solo e assim, criar condições físicas adequadas às sementes e raízes das plantas. Por outro lado, o aumento do número das operações de preparo do solo e/ou o uso de equipamentos específicos, principalmente os de preparo secundário, diminui a rugosidade superficial e a porosidade total da camada preparada, aumentando a desagregabilidade e a quantidade de solo prontamente disponível para o transporte, facilitando, assim, a ação da enxurrada.

Os autores ressaltam ainda que quando uma cobertura vegetal é aplicada sobre superfícies menos mobilizadas, observa-se uma proteção contra a ação desagregadora do impacto direto das gotas de chuva e uma diminuição da quantidade de sedimentos disponíveis para o transporte, ao passo que, em superfícies mais mobilizadas e/ou mobilizadas a menores profundidades, a carga de sedimentos no fluxo da enxurrada mantém-se elevada, apesar da mesma cobertura.

Em seu estudo sobre perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja, VIEIRA et al. (1978) destacam que as perdas de solo foram maiores nos tratamentos que envolveram aração e gradagem do que naqueles sem movimentação do solo.

2.1.1.3. Infiltração:

O escoamento superficial é um dos maiores desencadeadores do processo de erosão e é extremamente dependente das taxas de infiltração. A água infiltra no solo por forças de gravidade e capilaridade, fixando-se nas partículas do solo como um fino filme molecular. A taxa de infiltração normalmente é alta no início da chuva e declina a níveis que representam a taxa máxima à qual a água pode passar pelo solo (MORGAN, 1986). Finda a capacidade de armazenamento da água pelo solo ou quando a taxa de chuva é maior que a capacidade de infiltração, o escoamento superficial é iniciado, desencadeando os processos de erosão interravinar e ravinar.

Muitos esforços foram feitos para descrever matematicamente as mudanças da taxa de infiltração no tempo. Uma das mais utilizadas é a equação proposta por MEIN e LARSON (1973):

$$i = A + \frac{B}{t} \quad (1)$$

onde i é a taxa instantânea de infiltração; A é a constante de transmissão ou condutividade saturada do solo; B é a *sorptivity*, definida como a inclinação da linha quando i é plotado contra o tempo t , sendo este o tempo decorrido desde o início da chuva.

A taxa de infiltração depende da textura do solo, podendo variar de 200mm/h para as areias a menos de 5mm/h para as argilas. Entretanto, o comportamento da infiltração em muitos solos é bastante complexo devido aos perfis do solo, muitas vezes caracterizado por duas ou mais camadas de diferentes condutividades hidráulicas. A variabilidade local nas taxas de infiltração pode ser bastante elevada devido a diferenças na estrutura, compactação, conteúdo inicial de umidade, forma do perfil do solo e da densidade da vegetação (MORGAN, 1995).

Segundo o mesmo autor, sendo a infiltrabilidade e a condutividade hidráulica inversamente proporcionais à viscosidade dinâmica da água, as taxas de infiltração serão reduzidas para a água com ou sem sedimentos em suspensão.

A infiltração é um processo que depende, além da textura, de como as partículas do solo estão organizadas, ou seja, sua estrutura. Assim, sem levar em consideração outros fatores, a estrutura em granular é a que tende a ter as maiores taxas de infiltração, enquanto que a estrutura laminar tende a possuir as menores taxas.

2.1.1.6. Erodibilidade do solo:

Desde que a erodibilidade do solo é pensada como uma função de suas propriedades físico-químicas, numerosos estudos têm centrado suas atenções nas relações estatísticas entre as propriedades do solo e a erodibilidade. Segundo LE BISSONNAIS et al. (1993), uma dessas abordagens são os estudos de campo reportados aos trabalhos desenvolvidos para a Equação Universal de Perda de Solos (USLE). Outra linha de estudos trata sobre o comportamento do solo no campo, através de testes de laboratório, tais como o de estabilidade de agregados.

O conceito de erodibilidade foi desenvolvido através de tentativas de se isolar as propriedades do solo às quais determinam variações em sua resistência aos processos erosivos. Diferentes propriedades determinam a erodibilidade do solo para cada subprocesso de erosão, sendo que esta só pode ser definida para processos e forças erosivas precisamente identificadas. Sendo a erodibilidade do solo sua susceptibilidade em erodir a diferentes taxas, ela é dependente exclusivamente das características intrínsecas dadas pelas propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo.

Na verdade, a erosão do solo pela água envolve muitos subprocessos discretos, os quais afetam o solo de diferentes maneiras, desencadeando diferentes forças sobre ele (BRYAN et al., 1989). Segundo estes autores, a erodibilidade do solo não pode ser unicamente definida por um pequeno leque de propriedades. Classes de erodibilidade só podem ser estabelecidas para os mesmos processos, medidos sob condições similares, para que possa haver uma comparação. Pelo fato da erosão do solo pela água incluir um intrincado arranjo de subprocessos discretos que afetam o solo de diferentes maneiras, as interações entre os diferentes fatores de controle que influenciam a geração do escoamento nas encostas afetam, conseqüentemente, o trabalho erosivo. Os processos hidrológicos que condicionam a atividade erosiva nas encostas variam no tempo e no espaço, como resposta às mudanças nas taxas de infiltração e na geração do escoamento (THORNES, 1984).

Segundo MORGAN (1986), a erodibilidade varia de acordo com a textura, estabilidade dos agregados, estrutura, capacidade de infiltração e o conteúdo químico e orgânico dos solos. Outra característica que também influencia a erodibilidade é o pH que, por sua vez, está relacionado às características químicas,

físicas, mineralógicas e microbiológicas (WISCHMEIER e MANNERING, 1969 e; THORNES, 1984).

Para WISCHMEIER e MANNERING (1969), quando se aumenta o pH de um solo com alto teor de silte, aumenta-se também a erodibilidade do mesmo, quando a estrutura é formada de grânulos finos. Se a estrutura é de blocos mais grosseiros, subangulares e angulares, a erodibilidade diminui com o aumento do pH.

Para GOLDBERG (1989), em solos friáveis sob a influência do pH ácido, a argila tende a agregar-se através dos óxidos de Fe enquanto que, sob um pH mais básico, a argila tende a um comportamento mais dispersivo.

Devido à grande distinção nas condições de superfície em que ocorrem os fluxos superficiais interravinares e ravinares, o estudo em separado desses processos permite o melhor entendimento dos mecanismos da erosão hídrica. Esta separação facilita o desenvolvimento de modelos fundamentais que descrevam as perdas de solo e auxilie no estudo de práticas de controle da erosão (BRAIDA e CASSOL, 1996).

Nos processos interravinares, o destacamento das partículas do solo é quase que inteiramente realizado pelo impacto das gotas de chuva. O fluxo superficial só é capaz de transportar as partículas menores, mas o salpico pode arrastar partículas maiores, aumentando significativamente a capacidade de transporte do fluxo (FOSTER, 1982; BRAIDA e CASSOL, 1996). Assim, em condições de solo descoberto e com declividade padrão, FOSTER (1982) estabeleceu a desagregação como:

$$D_i = K_i I^2 \quad (2)$$

onde: D_i é a taxa de erosão interravinar ($\text{Kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$); K_i é a erodibilidade do solo interravinar ($\text{Kgs}^{-1}\text{m}^{-4}$) e; I é a intensidade da chuva (ms^{-1}). O fator de erodibilidade do solo também definida pelo mesmo autor:

$$K_i = \frac{D_{i\text{máx}}}{I^2 S_f C_i} \quad (3)$$

onde: $D_{i\text{máx}}$ é a taxa máxima de erosão interravinar ($\text{Kgs}^{-1}\text{m}^{-4}$); S_f é o fator de declividade do solo e; C_i é o fator de cobertura do solo, igual à unidade para as condições de solo descoberto.

Nos processos ravinares, a erodibilidade representa a susceptibilidade do solo ao sulcamento pelo fluxo superficial concentrado. Matematicamente é representada pelo coeficiente de proporcionalidade entre a taxa de desagregação no sulco e a diferença entre a tensão cisalhante do fluxo e a tensão crítica de cisalhamento do solo:

$$D_r = K_r (\tau - \tau_c)^b \quad (4)$$

onde: D_r é a taxa de desagregação do solo no sulco ($\text{Kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$); K_r é a erodibilidade do solo em sulcos ($\text{KgN}^{-1}\text{s}^{-1}$); \mathcal{Q} é a tensão cisalhante do fluxo (Nm^{-2}); \mathcal{Q}_c é a tensão crítica de cisalhamento do solo (Nm^{-2}) e; b é um expoente, geralmente admitido como sendo igual a 1.

Estudos de campo de erodibilidade do solo em Bedfordshire (GB) utilizando parcelas de erosão pequenas (1m^2) mostraram que a erodibilidade do solo cresce com o decréscimo do conteúdo de areia fina nos solos. Entretanto, devido ao

tamanho reduzido das parcelas, os resultados mostraram um reflexo da seletividade das areias finas ao destacamento pela gota de chuva, o que não está de acordo com a avaliação da erodibilidade na escala de encosta, à qual incorpora os efeitos do escoamento (RICKSON, 1987).

2.1.2. Fatores extrínsecos que afetam o processo de erosão:

2.1.2.1. Chuva:

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão (RESENDE e LOMBARDI NETO, 1999).

HUDSON (1961) destaca que apesar da chuva representar a maior entrada de energia dentro do sistema hidrológico, a correlação direta entre perda de solo e o total de chuva é baixa, mesmo havendo uma tendência ao aumento da erosão à medida que os totais de chuva aumentam.

Segundo RESENDE e LOMBARDI NETO (1999), dados de chuva em totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação à erosão. Para eles, a apresentação dos dados de chuvas totais diários, limitados pelas observações em 24 horas também não têm grande significado em relação à erosão, já que nunca a chuva se distribui uniformemente no período de um dia. Para eles, a chuva deve ser individualizada através de suas características de intensidade, duração e frequência, sendo esta última, o fator mais importante em relação à erosão.

A frequência das chuvas também influencia as perdas de solo pela erosão. Chuvas com intervalos muito curtos entre elas aumentam o teor de umidade

antecedente do solo, resultando em enxurradas mais volumosas, mesmo para chuvas de baixa intensidade.

A energia cinética da chuva está associada à sua intensidade. SUAREZ DE CASTRO (1980) demonstrou que, para duas chuvas com o mesmo total, mas intensidades diferentes, as perdas de solo foram bastante distintas. Enquanto que para a primeira chuva com a quantidade total de 21mm e uma intensidade de 7,9mm em 5min apresentou uma perda de solo de 7,35ton/ha, uma segunda chuva com o mesmo total, mas uma intensidade de 1,0mm em 5 min apresentou uma perda de solo de apenas 0,06ton/ha.

As gotas de chuva que caem sobre o solo contribuem para o processo de erosão de três formas: (i) desprendem partículas de solo no local que sofre o impacto; (ii) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas. (iii) imprimem energia, em forma de turbulência, ao escoamento superficial.

A força com que a gota de chuva golpeia o solo é determinada através de sua Energia Cinética e pode ser calculada através da seguinte equação:

$$E_C = 12,14 + 8,88 \log I \quad (5)$$

onde E_C é a energia cinética da chuva (ton.m/ha.mm) e I é a intensidade da chuva em mm/h.

Segundo WISCHMEIER e SMITH (1978), quando todos os outros fatores, com exceção da chuva são mantidos constantes, a perda de solo por unidade de área de um terreno desprotegido de vegetação é diretamente proporcional ao produto de duas características da chuva: a energia cinética por sua

intensidade máxima em trinta minutos. Essa foi a melhor correlação encontrada para expressar o potencial erosivo da chuva.

Diversos autores relatam o papel da erosividade da chuva em seus trabalhos (MOURA e MEDEIROS, 1987; MORETI et al., 2003a; MORETI et al., 2003b). MOURA e MEDEIROS (1987) calcularam o fator de erosividade (R) da chuva para a localidade de Mossoró (RN), multiplicando a energia cinética da chuva pela intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}). Eles constataram um valor bastante elevado deste fator (16.747 MJ.mm/h.h.ano), concentrado em maior proporção nos cinco primeiros meses do ano, tendo abril e março apresentado maior índice de erosividade.

MORETI et al. (2003a) encontraram valores para o fator R de 7.487 MJ.mm/ha.h.ano, esperado para ocorrer no município de São Manoel (SP) uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92%. Foi também observada uma concentração de 81,48% do valor total deste fator no semestre de outubro a março, indicando que, potencialmente as maiores perdas anuais de solo por erosão são esperadas neste período. Os valores de EI_{30} esperados para o período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos foram de 7216, 8675, 10568, 11768 e 12667 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente.

Em outro estudo sobre características da chuva para a conservação do solo e da água no município de Pedrinhas Paulista (SP), MORETI et al. (2003b) determinaram o fator de erosividade (R) da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para uma série pluviométrica contínua de 24 anos. O valor calculado foi de 7.670 MJ.mm/ha.h.ano, com um período de retorno de 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92%. Os autores observaram uma concentração de 77,12% do fator R no semestre de outubro a março, indicando que é esperada a maior parte

das perdas anuais de solo por erosão neste período. O valor da chuva máxima diária calculada para o período de 10 anos foi de 144mm, que poderá ser utilizado nos cálculos de dimensionamento da seção transversal ideal do canal de terraceamento agrícola local.

2.1.2.2. Cobertura vegetal:

A vegetação é um dos parâmetros de proteção do solo das forças erosivas da chuva e do escoamento. Essa ação pode variar têmporo-espacialmente no grau de cobertura do dossel. Este fato, por sua vez irá influenciar nos efeitos da energia cinética da chuva, além da formação da serrapilheira/húmus, o que afeta a estabilidade de agregados do solo.

Para GUERRA (1994), a densidade da cobertura vegetal é um fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo. Assim, o tipo e a porcentagem da cobertura vegetal pode reduzir os efeitos dos fatores erosivos naturais.

COELHO NETO (1994) ressalta que a cobertura vegetal tem como uma de suas múltiplas funções, o papel de interceptar parte da precipitação armazenando a água nas copas das árvores, sendo posteriormente perdida para a atmosfera por evapotranspiração. Essa água retida nas copas pode ainda atingir o solo através do gotejamento ou pelo fluxo de tronco. Uma outra parte é armazenada na porção externa superior do solo – serrapilheira.

O tipo, a forma e a densidade da cobertura vegetal, o declive da superfície e as características físicas das chuvas, são variáveis importantes no processo de interceptação da chuva pela vegetação. Essa interceptação varia com o tipo de cobertura, a estação do ano, etc. Para COELHO NETO (1994), a

interceptação da chuva pela cobertura vegetal varia consideravelmente em áreas sob ecossistemas similares. O atravessamento da chuva pela copa das árvores pode explicar em grande parte a variabilidade espacial das características físicas das chuvas abaixo das copas. Em casos extremos, os valores da precipitação abaixo das copas pode, em alguns pontos ser superiores a pluviosidade acima das copas, como atestam VALLEJO e VALLEJO (1981), para o caso da Floresta da Tijuca. Para os autores, isso se deve à umidade que fica retida na vegetação, permitindo o acúmulo de água pelas chuvas antecedentes, sua composição e estrutura.

Além da interceptação das gotas de chuva, a vegetação também tem um papel importante na infiltração da água no solo, seja através de suas raízes ou da serrapilheira formada pela queda de matéria orgânica das copas das árvores, além de, segundo SANCHES e PUIGDEFABREGAS (1994), ser também um elemento significativo no controle do transporte de sedimentos.

O teor de *matéria orgânica* no solo afeta de diversas formas a erosão, dependendo de outras propriedades, como a textura. Daí a dificuldade em se estabelecer um percentual mínimo que afete a erodibilidade. Ele também é um fator que proporciona maior estabilidade aos agregados. Estes, por sua vez, reduzem a erodibilidade do solo, pois é um fator de aumento/diminuição da porosidade, o que finalmente influencia nas taxas de escoamento. A matéria orgânica também melhora a estrutura do solo e, conseqüentemente, aumenta sua capacidade de retenção de água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999)

Em seu estudo sobre a erosão hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo, VOLK et al. (2000) constataram que o aumento na intensidade de preparo reduziu a cobertura do solo

pela incorporação parcial ou total dos resíduos culturais preexistentes. A semeadura direta, onde a matéria orgânica é mais eficientemente incorporada ao solo, foi o tratamento mais eficaz no controle da erosão, com perdas de solo da ordem de duas a três vezes menores, em relação ao manejo tradicional (com aração e gradagem). Assim, os autores atribuem a eficácia deste sistema de manejo na redução da erosão à cobertura do solo pelos resíduos culturais, os quais dissiparam a energia cinética da chuva e da enxurrada, reduzindo sua capacidade de desagregação e transporte.

Para esses autores, a não mobilização e a manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície da semeadura de solo foram responsáveis por reduções nas perdas de solo mais expressivas do que àquelas devidas à melhoria da estrutura do solo originadas pela adoção de rotação de culturas.

ARGENTON et al. (2005) constataram que, com a introdução de plantas de cobertura intercalares (mucunha) no plantio do milho, houve alterações em alguns atributos físicos do solo, diminuindo sua densidade, além de evidenciar o efeito benéfico do sistema radicular da mucunha em aliviar a compactação, quando o sistema de preparo é realizado com mínima mobilização do solo.

2.1.2.3. Topografia:

As características das encostas e a posição que os solos ocupam na paisagem interferem nas suas propriedades de diversas formas, afetando também as taxas de erosão (WALKER et al., 1968; THORNES, 1984; RHOTON et al., 1998).

A declividade da encosta também é um fator muito importante no processo de erosão. Para RAAP (1975), a erosão pela água aumenta com a intensidade da chuva, o escoamento superficial, a erodibilidade do solo, além da

declividade e do comprimento da encosta. Já BRADFORD e FOSTER (1996) afirmam que as relações entre a declividade da encosta e a perda de solo interravinar são frequentemente caracterizadas como uma única função, que é independente das propriedades do solo e dos processos de erosão.

Dados apresentados por AYRES (1936, apud BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999) mostram que quadruplicando o declive da encosta, a velocidade do escoamento duplica; a energia cinética quadruplica e a capacidade de arraste das partículas de um determinado tamanho aumenta em 32 vezes, aumentando o potencial erosivo da água. Entretanto, MORGAN (1986) afirma que em encostas muito íngremes a erosão pode diminuir devido ao decréscimo de material disponível para ser erodido.

EVANS (1984) e KRONEN (1990) também associam o aumento da erosão em sulcos, ravinas e voçorocas ao aumento da declividade, notando-se uma erosão maior em encostas com declividade entre 5 e 10%.

Com vista a uma sistematização sobre a influência da encosta sobre os processos de erosão, FOSTER (1982) derivou o termo de fator da encosta (S_f) para as áreas interravinares em função do ângulo da encosta (2):

$$S_f = 2,96(\text{sen}\theta)^{0,79} + 0,56 \quad (6)$$

Esta equação foi derivada para representar a erosão em encostas de áreas agrícolas com declividades normalmente inferiores a 30%. Taxas de erosão em solos argilosos (*clayey*), altamente agregados, em encostas inferiores a 20% raramente são avaliados através desta equação.

O comprimento da vertente também é um fator importante na análise da erosão. BERTONI et al. (1972) mostraram que enquanto em uma vertente de 25m originou uma erosão de 13,9 ton/ha, um comprimento de rampa de 100m a erosão se elevou para 32,5 ton/ha. Em princípio, isto se deve a um maior espaço para que o escoamento superficial ganhe velocidade e, conseqüentemente, energia, aumentando o poder do escoamento em causar a erosão.

Grandes erosões podem também ocorrer em áreas de baixas declividades (2° a 3°) devido aos constituintes do solo e ao comprimento da rampa da vertente, além da retomada da erosão pelo encaixamento da drenagem, como foi observado em Sorriso (MT) por FAVIS-MORTLOCK e GUERRA (1999). Entretanto, os autores ressaltam também o fator do comprimento das rampas nesta região, que em alguns casos ultrapassam 1km de extensão.

A forma da encosta é outro fator que pode acelerar/retardar os processos de erosão que nela se instalam. As encostas convexas, em especial onde o topo das elevações é plano e a água pode ser armazenada, podem levar à formação de ravinas e voçorocas quando a água é liberada (EVANS, 1984).

Em seu estudo no município de Gouveia (MG), PORTILHO et al. (2001) ressaltam que as encostas suavemente côncavas podem estar contribuindo para que estas áreas sejam mais susceptíveis à atuação de processos erosivos e à ocorrência de *"pipping"*, pois estes locais das encostas são mais favoráveis à geração de zonas saturadas, além de receberem fluxos de água de outras partes da encosta (áreas de contribuição).

RESENDE et al. (1992) também associam a instabilidade das encostas côncavas a tipos de erosão mais localizada, com tendência à formação de sulcos e voçorocas. Segundo os autores, as encostas convexas propiciam uma divergência

das águas, ocasionando conseqüentemente uma erosão mais uniforme e laminar. SIMONS e CARDER (1976, apud THORNES 1984) obtiveram resultados de taxas de erosão sobre encostas convexas cinco vezes superiores às taxas ocorridas em encostas uniformes.

Os processos de erosão são oriundos de um grande leque de fatores que juntos, vão caracterizar a escala, a intensidade e o sítio onde esses processos serão desencadeados. Apesar desse tipo de estudo ser mais desenvolvido nos países de clima temperado, é nos países de clima tropical que esses processos são mais intensos. Dentre as causas deste fato, pode-se destacar como principais: (i) o espesso manto de intemperismo; (ii) maiores índices pluviométricos e; (iii) uso de técnicas agrícolas inadequadas.

Desta forma, o desenvolvimento e adaptação de modelos matemáticos tornam-se matéria de suma importância nos países tropicais, pois permitirão uma melhor compreensão dos processos atuantes na erosão, bem como na previsão de perda de solos em determinadas áreas-problema e a busca de meios de minimizar os impactos da perda de solos agriculturáveis.

3. Descrição da Área de Estudos

O município de Paty do Alferes está localizado na região Centro-Sul fluminense, na vertente continental da Serra do Mar (figura 3.1). O município possui dois distritos administrativos: Paty do Alferes e Avelar, perfazendo uma área de 320Km². Avelar, onde se situa o campo experimental da PESAGRO (figura 3.2), está localizado entre as coordenadas de 22°21' Latitude Sul e 43° 25' de Longitude Oeste, a uma altitude média de 620m e inserida na bacia do córrego do Saco-Rio Ubá (CIDE, 1998).

Segundo MARQUES e PINHEIRO (1998), a análise diária dos dados do período 1971-1997 demonstra que o clima de Avelar é classificado, segundo Köppen, como Cw. Com relação às temperaturas mínimas registradas, Paty apresentou o valor de 1,1° C (em Avelar), podendo-se inferir que nas partes mais altas possam ocorrer valores em torno de 0° C. A estação meteorológica da Pesagro em Avelar (Figura 3.3) apresenta uma temperatura média anual de 20,7°C, variando de 24,0°C em fevereiro a 16,5°C em julho.

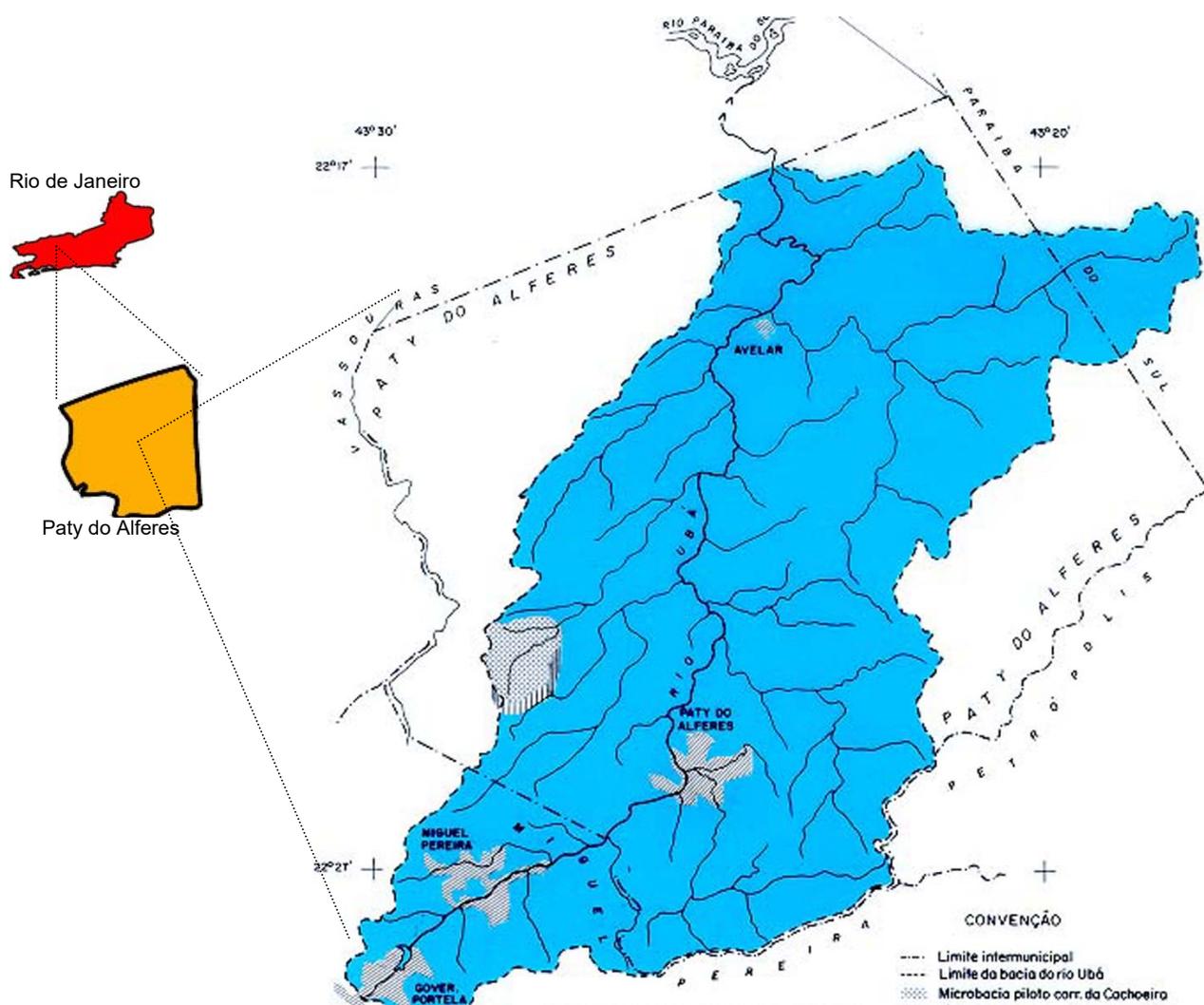


Figura 3.1. Mapa de localização do município de Paty do Alferes.
Fonte: Modificado a partir de PALMIERI (1998).

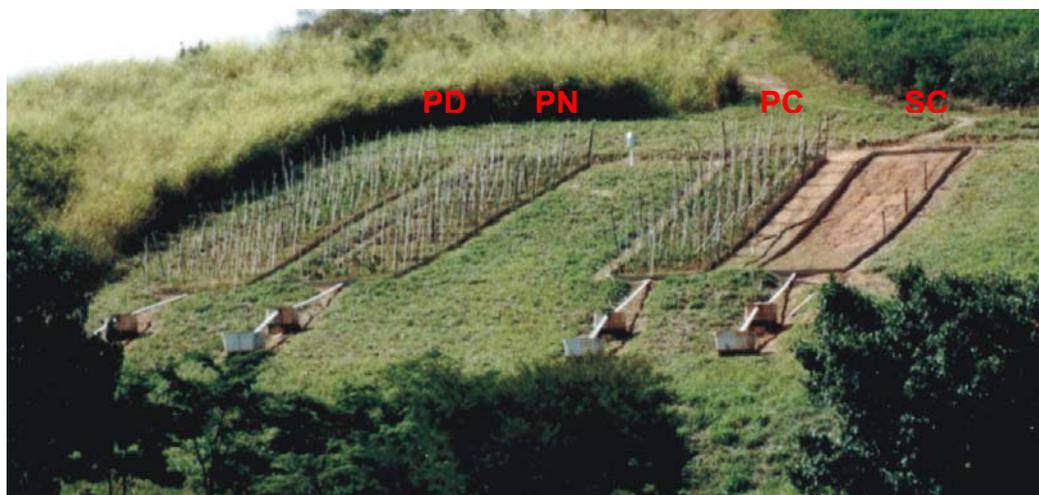


Figura 3.2. Visão parcial das parcelas de erosão do Campus Experimental da PESAGRO/Avelar.



Figura 3.3 – Foto da estação de agrometeorologia da Pesagro

Avelar apresenta um total anual de precipitação de 1.196mm, sendo o trimestre mais chuvoso novembro-janeiro, com 575mm, representando 48% da chuva anual. O trimestre mais seco é junho-agosto, com 74,7mm correspondendo a 6,2% da chuva anual. O mês mais chuvoso é janeiro, com 219,3mm (Quadro 3.1) e o mais seco é julho com 19,8mm. Os valores anuais do número de dias com precipitação variaram de 137 a 74, com uma média de 109 dias (MARQUES e PINHEIRO, 1998).

QUADRO 3.1: Precipitação média mensal no distrito de Avelar – Paty do Alferes/RJ

	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
<i>J</i>	219,3	128,1	134,7	71,4	47,8	27,8	19,8	27,1	69,3	94,7	139,8	215,9

Fonte: MARQUES e PINHEIRO (1998).

Topograficamente, o relevo é forte ondulado, variando entre 20% e 45% e, em alguns trechos, ultrapassando os 45%, onde as terras apresentam um altíssimo grau de susceptibilidade à erosão, não permitindo a utilização de maquinário pesado em quase sua totalidade (DESUSMO, 1998).

Embora apresentando pouca diferenciação entre o material de origem, os solos da região possuem uma grande variabilidade de classes, o que confere também uma grande variabilidade à paisagem. As principais classes de solo observadas na área são: Latossolo Vermelho (LE), Latossolo Vermelho Amarelo (LV), Latossolo Vermelho Amarelo Argissólico e Câmbico (LVp e LVc), Argissolo Vermelho Amarelo (PV), Argissolo Vermelho (PE), Argissolo Vermelho Amarelo Latossólico (PVI), Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico (PVC), Cambissolos, Gleissolos (GH) e Neossolos Litólicos. Assim, observa-se principalmente a presença de solos intergrades, entre Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Na área do Campo Experimental de Avelar, há o predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV). Em geral, os solos da região apresentam-se argilosos (argila de baixa atividade), bem drenados, com baixa fertilidade natural e com uma grande variação na espessura do solum, com elevada susceptibilidade à erosão, devido ao relevo acidentado (LUMBRERAS et al., 1998).

Quanto ao uso da terra, a maior parte (56,2%) é utilizada por pastagens de baixa qualidade, sendo que a maior parte dessas áreas foi utilizada anteriormente por horticultura intensiva e posteriormente abandonadas, levando à completa degradação da terra (CARVALHO JÚNIOR, 1996).

Paty do Alferes já ocupou um lugar de destaque como um dos maiores produtores de tomate do país, com aproximadamente 40% de todo o tomate comercializado no Rio de Janeiro, sendo também produzido em grande escala: abóbora, pimentão, repolho, vagem, cenoura, jiló e ovos. A horticultura ocupa 3,1% da área total do município (NUÑEZ et al., 1998).

O processo de ocupação das terras e o crescimento econômico do meio rural vêm sendo realizados sem um planejamento efetivo e este processo, aliado a

um manejo inadequado, tem contribuído marcadamente para a degradação das condições ecológicas regionais e, conseqüentemente, para a qualidade de vida da população local. Assim, esta atividade agrícola não pode ser considerada a mais adequada para a área de estudos, podendo se constituir em uma ameaça para o meio ambiente local, devido ao cultivo encosta abaixo utilizado pelos fazendeiros locais. Em geral, esses fazendeiros utilizam a terra para a horticultura por aproximadamente dois anos e então deixam-na em pousio por cinco anos, quando é novamente feito o plantio (CARVALHO JÚNIOR, 1996).

4. Metodologia

Para se cumprir os objetivos propostos neste estudo, desenvolveu-se os procedimentos metodológicos descritos a seguir.

4.1. Monitoramento de perda de solo nas parcelas

Estudos voltados para a caracterização do meio físico, biótico, econômico e social foram desenvolvidos em Paty do Alferes a partir de 1994, mais especificamente nas bacias do córrego do Saco e rio Ubá. Os trabalhos foram primeiramente (setembro de 1996 a março de 1998) coordenados pelo Dr. Francesco Palmieri, contando com a participação de diversas entidades (EMBRAPA-Solos, UFRJ, UFRRJ, UERJ, UFF, Fiocruz/INT, EMATER-Rio/PMPA), tendo sido desenvolvidos diversos trabalhos no Campo Experimental de Avelar: FONSECA et al. (1998), LUMBRERAS et al. (1998), GOMES et al. (1998), KUNZMANN et al. (1998), PALMIERI et al (1998), MARQUES e PINHEIRO (1998), MACEDO et al. (1998) e RAMALHO et al. (1998), entre outros.

A partir de abril de 1998 os trabalhos foram coordenados pela Profa. Dra. Lúcia Helena Cunha dos Anjos, responsável pela obtenção dos dados gerados nas parcelas até o ano de 2001. Os principais cultivos testados neste período foram: pepino (janeiro a março de 1996), tomate (outubro a janeiro de 1996 e setembro a dezembro de 1997), feijão de vagem (fevereiro a março de 1997), couve (setembro a novembro de 1997) e pimentão (novembro de 1997 a janeiro de 1998). De julho de 1998 a julho de 1999 o monitoramento foi realizado por TURETTA (2000), com as culturas de quiabo, feijão de vagem e abobrinha.

No interstício de 2001 e 2002 o monitoramento foi realizado por BERTOLINO (2004) com os cultivos de pimentão (*Capsicum annuum*) e feijão de

vagem (*Phaseolus vulgaris*). Já para os anos de 2003 e 2004, o monitoramento foi realizado também para os trabalhos de SOUZA (2004), que abrangeram somente o cultivo de feijão de vagem. Este trabalho incorporou os dados de 2001 a 2004, com as culturas de feijão de vagem (*Phaseolus Vulgaris*) e pimentão (*Capsicum annum*).

Estas culturas supracitadas foram cultivadas em três das quatro parcelas de erosão instaladas no Campo Experimental de Avelar (PESAGRO/RJ) em março de 1996, através do Projeto DESUSMO - Desenvolvimento Sustentável de Sistemas Agrícolas em Terras Montanhosas e de Baixa Fertilidade com Pastagens na América do Sul – EMBRAPA/CNPS (1997). Estas parcelas foram alocadas na meia encosta da vertente e possuem uma dimensão de 22,0 x 4,0m, totalizando uma área de 88 m² (figura 4.1), a uma declividade média de 30% e apresentando um ponto de coleta de água no final e dois tanques para o armazenamento do escoamento superficial e dos sedimentos carregados.

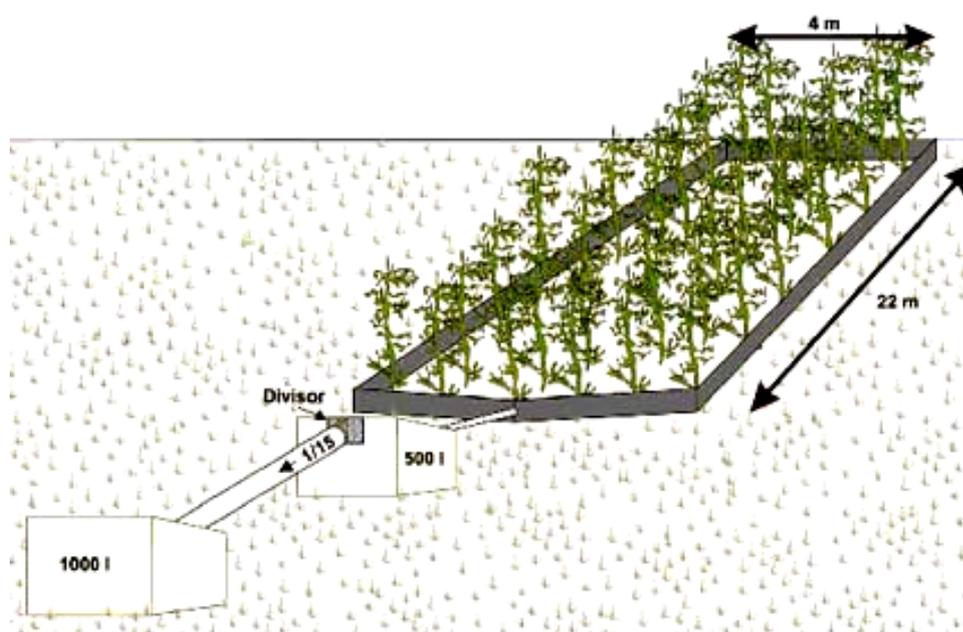


Figura 4.1. Desenho esquemático da parcela padrão de Wischmeier para perda de solos.
Fonte: DESUSMO (1998)

Das quatro parcelas instaladas (figura 4.2), a parcela Sem Cobertura – SC (de referência) permaneceu sem nenhum cultivo, de modo a simular os efeitos da exposição do solo da região às chuvas de alta, média e baixa intensidade, simulando a mesma exposição do solo à chuva que ocorre na entressafra e no início dos plantios. As outras parcelas (PC, PN e PD) simularam, respectivamente, a técnica de plantio mais difundida na região (preparo convencional com utilização de queimada e arado com trator morro abaixo), um sistema de utilização de queimada e arado com junta de boi e plantação em nível e, por último, um sistema de cultivo mínimo. As parcelas apresentam as seguintes características (KUNZMANN et al., 1998):

- **Parcela Sem Cultivo - SC:** sistema sem presença de cobertura vegetal, com utilização de arado de disco com trator e sem irrigação.³
- **Parcela de Plantio Convencional - PC:** sistema de preparo convencional, com utilização de queimada, com arado com trator morro abaixo e irrigação por molhamento.
- **Parcela de Plantio em Nível - PN:** sistema sem utilização de queimada, arado com junta de boi e plantação em nível com irrigação por molhamento. A cada 6 ou 7m, presença de uma faixa de gramínea (capim Colonião).
- **Parcela de Plantio Mínimo - PD:** sistema de cultivo mínimo/plantio direto, com irrigação por molhamento.

³. No interstício de 2001 a 2004 esta parcela permaneceu sem nenhum tipo de tratamento.

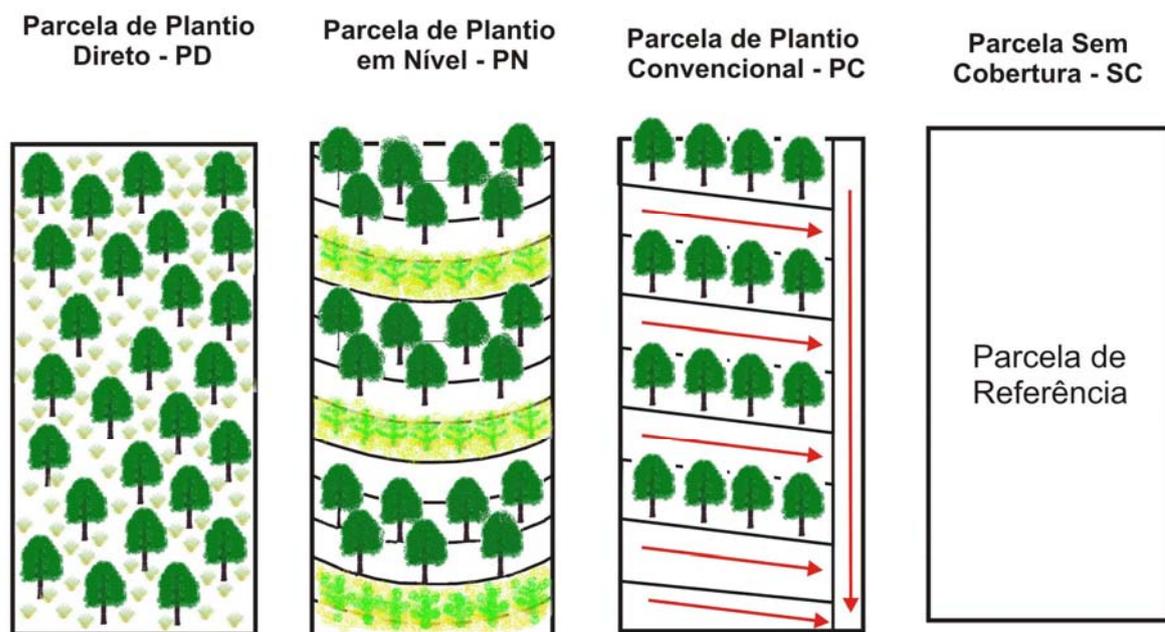


Figura 4.2. Desenho esquemático das parcelas de erosão e o tipo de tratamento dado a cada uma delas.

Fonte: modificado de DESUSMO (1998).

Apesar de no monitoramento da perda de solo, quando os pesquisadores estavam presentes na área de estudo, a coleta de sedimento e água ter sido realizada de 20 em 20 minutos, simultaneamente à leitura dos tensiômetros presentes nos terços superior, médio e inferior de cada uma das parcelas (localizados a profundidades de 15, 30 e 80cm, sendo as duas primeiras profundidades com vistas a monitorar a frente de umidade na profundidade dos discos dos arados), os dados utilizados neste trabalho foram somente os de totais de erosão, coletados ao final do monitoramento.

As coletas de material nos tanques foi realizada de maneira similar. Os sedimentos eram misturados à água escoada e a amostra era coletada em potes de 1kg, onde eram registradas as informações sobre a parcela, altura do escoamento (dentro dos tanques e/ou baldes), a hora e o número da amostra,

para então serem lacrados. Em chuvas de baixa intensidade (ou no início do evento) e, conseqüentemente, com pequeno escoamento superficial, todo o material presente nos tanques era coletado, anotando-se a altura alcançada pelo escoamento dentro dos tanques. Em chuvas de alta intensidade (com grande escoamento) ou na metade-fim do evento, as coletas eram realizadas através de baldes de 35l, inseridos dentro das caixas coletoras (para todas as parcelas) Estes baldes tiveram fitas métricas coladas em seu interior, de modo a permitir o controle do registro da vazão (figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6).



Figura 4.3. Detalhe da coleta de sedimentos realizada com a colocação de um balde dentro da caixa coletora.

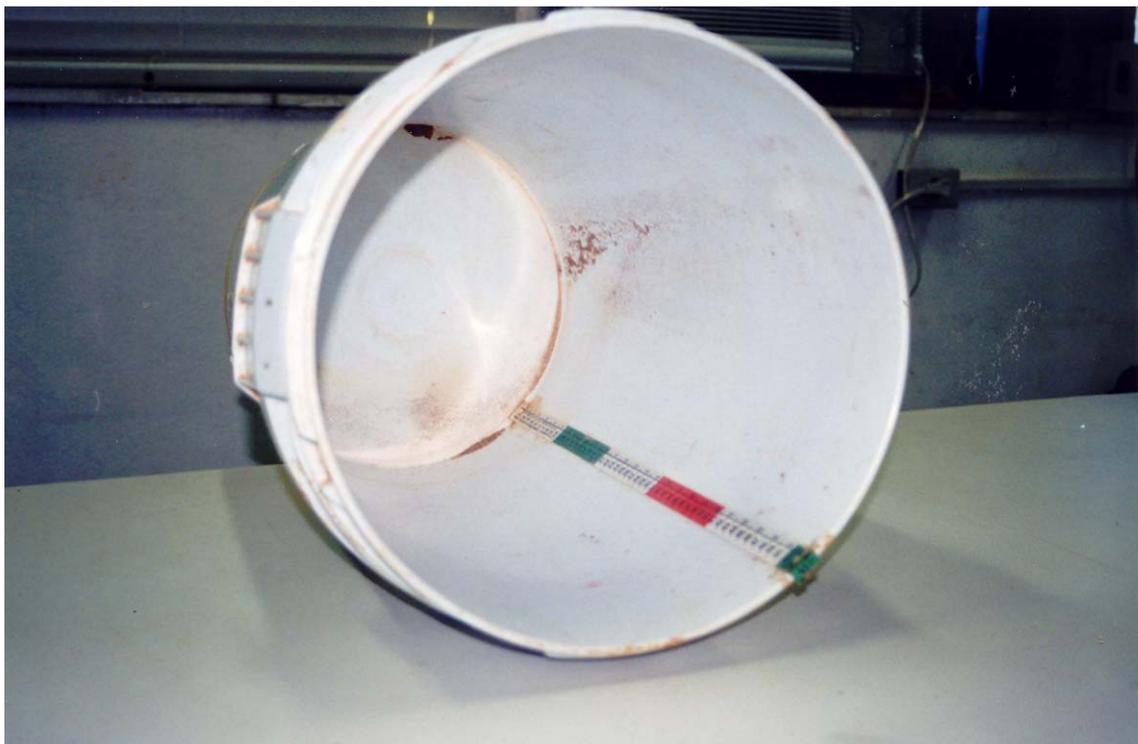


Figura 4.4. Balde de 35l utilizado para a coleta de material durante os eventos chuvosos. Nele, pode-se observar o detalhe de uma fita métrica colada em seu interior, utilizada para medir a altura do escoamento, que posteriormente foi utilizada para o cálculo do volume escoado.



Figura 4.5. Medição da perda de solos realizada diretamente nas caixas coletoras.



Figura 4.6. Detalhe dos potes utilizados para coleta dos sedimentos, onde eram registrados a parcela, data, horário e altura da caixa/balde durante as coletas de perda de solo.

Quando os pesquisadores não estavam presentes, a coleta ficava sob responsabilidade do Sr. Paulo César Cardoso, operário rural responsável pela Estação Experimental da Pesagro/RJ que coletava as amostras para cada parcela após o término da chuva. Ele também era responsável por fluxar diariamente os tensiômetros e por sua leitura às 7h e às 17h.

A determinação da quantidade de solo erodido foi feita no Laboratório de solos do IGEO/UFRJ, no Laboratório de Solos do IGEO/UERJ (Campus de São Gonçalo) e no Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG, de acordo com a metodologia recomendada pela EMBRAPA/CNPS (1997). A adoção desta metodologia visa manter uma padronização na coleta e secagem do solo.

4.2. Tratamento dos dados de perda de solo em laboratório

Foi utilizada a metodologia recomendada pela EMBRAPA/CNPS (1997) para o tratamento dos dados em laboratório. Assim, primeiro os beckeres foram pesados vazios em uma balança de precisão e numerados, de modo a poder ter seu peso subtraído do peso total das amostras. Em cada becker foi colocado o material escoado (sedimento + água) e o conjunto foi pesado (Figura 4.7) e colocado para secar na estufa a uma temperatura de 105°C (Figura 4.8). Após aproximadamente 72 horas na estufa (o suficiente para a secagem das amostras), procedeu-se uma nova pesagem.

Subtraiu-se então o peso do Becker vazio para se encontrar o peso do sedimento seco, ou seja, uma medida proporcional para a perda de solo em cada parcela, para cada evento chuvoso.

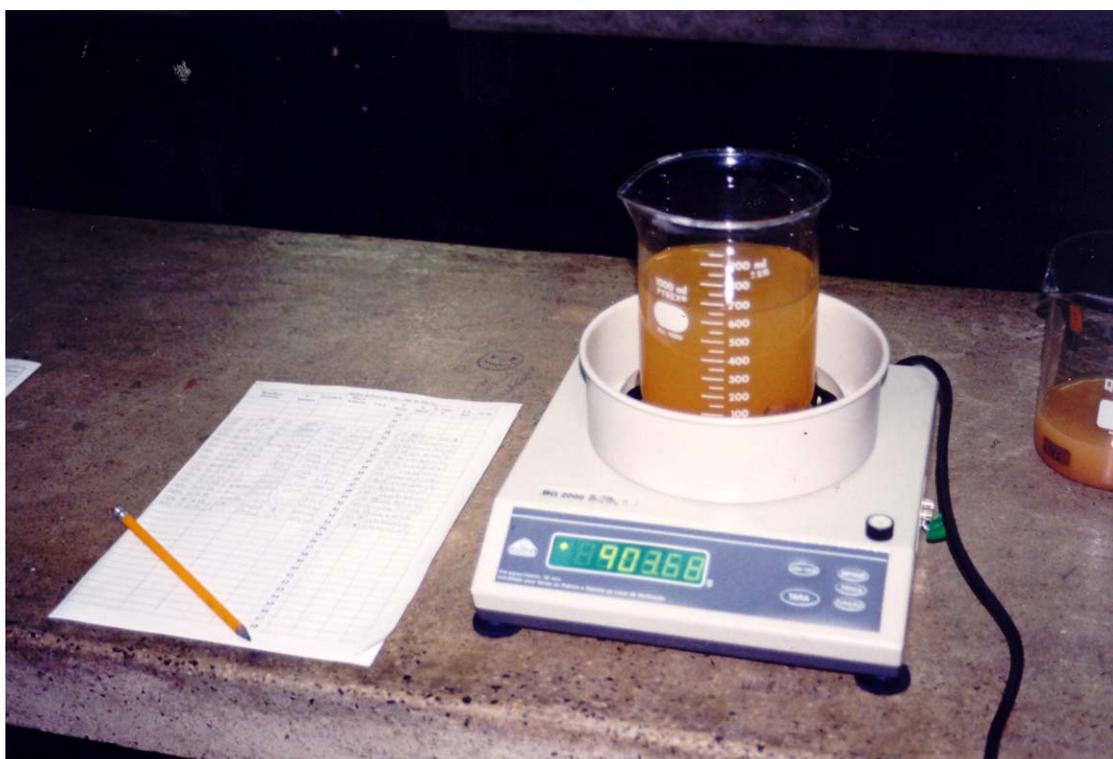


Figura 4.7. Pesagem das amostras em uma balança de precisão.



Figura 4.8. Detalhe dos beckeres dentro da estufa para o início do processo de secagem dos sedimentos.

4.3. Cálculo da perda de solo

Os volumes coletados tiveram a altura da amostra, anotada nos potes, convertida de centímetros em mililitros, utilizando-se uma tabela confeccionada por SOUZA (2004) (tabela 4.2).

Assim, foram coladas fitas métricas no interior dos baldes e calculado para cada centímetro, o volume em ml, sendo feita a calibração do volume do balde e sua correspondência em centímetros, conforme DEUS (1991).

A partir do peso das amostras já secas e pesadas, foi calculada a perda de solo através da equação 22:

$$PERDA = \left(\left(\frac{PA - PB}{VA} \right) * VE \right) / 1000 \quad (22)$$

onde PA é o peso da amostra seca; PB é o peso do Becker, VA é o volume total da amostra e VE é o volume do escoamento. Os valores foram calculados para cada parcela (SC, PC, PN e PD) e para cada evento chuvoso.

Tabela 4.1. Correspondência entre a altura do balde em centímetros com o seu volume em mililitros.

Altura no balde (cm)	Volume do balde (ml)	Altura no balde (cm)	Volume do balde (ml)
1,0	250	22,5	16.700
1,5	480	23,0	17.110
2,0	720	23,5	17.490
2,5	1.235	24,0	17.940
3,0	1.500	24,5	18.370
3,5	1.900	25,0	18.810
4,0	2.310	25,5	19.220
4,5	2.630	26,0	19.660
5,0	3.030	26,5	20.080
5,5	3.430	27,0	20.500
6,0	3.720	27,5	20.890
6,5	4.080	28,0	21.340
7,0	4.440	28,5	21.800
7,5	4.830	29,0	22.200
8,0	5.140	29,5	22.650
8,5	5.600	30,0	23.070
9,0	5.970	30,5	23.510
9,5	6.370	31,0	24.030
10,0	6.720	31,5	24.410
10,5	7.020	32,0	24.840
11,0	7.410	32,5	25.310
11,5	7.840	33,0	25.730
12,0	8.210	33,5	26.120
12,5	8.570	34,0	26.630
13,0	9.010	34,5	27.050
13,5	9.360	35,0	27.560
14,0	9.810	35,5	27.960
14,5	10.260	36,0	28.420
15,0	10.590	36,5	28.910
15,5	11.010	37,0	29.360
16,0	11.370	37,5	29.790
16,5	11.740	38,0	30.230
17,0	12.150	38,5	30.750
17,5	12.580	39,0	31.190
18,0	13.000	39,5	31.630
18,5	13.410	40,0	32.050
19,0	13.820	40,5	32.510
19,5	14.240	41,0	32.930
20,0	14.650	41,5	33.370
20,5	15.070	42,0	33.840
21,0	15.410	42,5	34.420
21,5	15.870	43,0	35.000
22,0	16.280		

4.4. Tipos de cultivos utilizados nas parcelas

No trabalho de monitoramento realizado na Pesagro em Paty do Alferes, foram monitorados principalmente os cultivos do pimentão e o feijão de vagem em 3 sistemas diferentes: o plantio convencional, o cultivo em nível e o cultivo mínimo.

O pimentão pertence à espécie *Capsicum annuum* e é uma solanácea perene, porém cultivada como cultura anual. A planta é arbustiva, com caule semilenhoso, que pode ultrapassar 1m de altura e as raízes atingem até 1m de profundidade, havendo pouco desenvolvimento. A planta é de origem tropical, desenvolvendo-se e produzindo melhor sob temperaturas relativamente elevadas ou amenas, sendo intolerante a baixas temperaturas e à geada. A termoperiodicidade diária – uma diferença em torno de 6°C entre as temperaturas diurnas e noturnas – beneficia a cultura. O fator climático limitante é a baixa temperatura, mormente durante a germinação, a emergência e o desenvolvimento das mudas, as quais são produzidas mais vantajosamente sob estufa. Já a planta adulta torna-se mais resistente ao frio. Baixas temperaturas no solo também afetam o desenvolvimento inicial da planta. Normalmente, o plantio é efetuado na primavera-verão; entretanto, pode se estender ao longo do ano em regiões de baixa altitude, com inverno ameno (FILGUEIRAS, 2000).

Da espécie *Phaseolus vulgaris*, o feijão de vagem é uma fabácea anual, que apresenta caule volúvel e sistema radicular superficial. Esta cultura apresenta uma ampla adaptação a temperaturas amenas e elevadas. É intolerante às baixas temperaturas e à geada, sendo o frio o fator limitante do cultivo durante o inverno, ocasionando baixa germinação e desenvolvimento retardado das plantas. É indiferente ao fotoperiodismo. Em regiões tropicais de baixa altitude, com inverno ameno, é viável a semeadura ao longo do ano. Em outras, de maior altitude, as

semeaduras de inverno devem ser evitadas (FILGUEIRAS, 2000), como é o caso de Paty do Alferes.

Nos monitoramentos foram utilizados tipos distintos de cultivos, mas que são comumente realizados na região de Paty do Alferes/RJ. Os principais produtos cultivados foram: Pimentão (*Capsicum annuum*) e Feijão de vagem (*Phaseolus vulgaris*).

O monitoramento dos cultivos foi realizado de janeiro de 2002 a fevereiro de 2004, sendo que durante este período procurou-se avaliar a perda de solo nas quatro parcelas de erosão instaladas na PESAGRO/Avelar, sendo possível coletar os dados sob diferentes condições nas parcelas, com e sem a presença de plantio e/ou irrigação por molhamento (quadros 4.2 e 4.3).

QUADRO 4.2: Culturas utilizadas nas parcelas experimentais no período de 2001 a 2004.

	Período	Cultura
	De 06 de novembro de 2000 a 23 de março de 2001	Pimentão
1	De 24 de março a 18 de junho de 2001	Solo com restos culturais
	De 19 de junho a 28 de setembro de 2001,	Solo sem restos culturais
	29 de agosto de 2001 a 22 de novembro de 2001	Feijão
2	De 23 de novembro de 2001 a 15 de dezembro	Solo com restos culturais
	De 16 a 19 de novembro de 2001	Solo sem restos culturais
	De 19 de dezembro de 2001 a 28 de maio de 2002	Pimentão
3	De 29 de maio a 15 de julho de 2002	Solo com restos culturais
	De 16 de julho a 16 de novembro	Solo sem restos culturais
	17 de novembro de 2002 a 09 de fevereiro de 2003	Feijão
4	De 10 de fevereiro a 19 de fevereiro de 2003	Solo com restos culturais
	De 20 de fevereiro a 03 de dezembro de 2003	Solo sem restos culturais
	04 de dezembro de 2003 a 27 de fevereiro de 2004	Feijão
5	De 27 de fevereiro a 02 de abril de 2004	Solo com restos culturais
	A partir de 03 de abril	Solo sem restos culturais

QUADRO 4.3: Cronograma dos cultivos utilizados

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2000												1. Pimentão...
2001											2. Feijão	
2002		3. Pimentão										4. Feijão
2003												5. Fei
2004	jão											
	Plantio											
	Colheita											
	Permanência dos restos culturais											
	Solo sem restos culturais											

A colheita dos vegetais plantados nas parcelas era feita em várias etapas e o produto pesado em cada dia de colheita para que se pudesse comparar a diferença de produtividade nas parcelas. Cabe lembrar que não há dados de produtividade para a parcela SC, pois, sendo uma parcela de referência, para a verificação da erosão na entressafra, nada foi plantado nela.

No caso do feijão de vagem (*Phaseolus vulgaris*) o período compreendido entre o plantio e a última data de colheita é de três meses (média de 83 dias para os experimentos testados). Após o plantio, a fase de emergência (quando ele alcança cerca de 10cm de altura) ocorreu em aproximadamente 15 dias. Nesta fase a proteção exercida sobre o solo era quase nula, com cerca de no máximo 10% de cobertura.

A fase da florada ocorreu cerca de 22 dias após a emergência (média de 49 dias após o plantio). Nesta fase, o crescimento da cultura é intenso e a proteção exercida por ela passa de 10% para 100%, tendo em vista que é na florada que a planta alcança seu pleno desenvolvimento.

Este desenvolvimento e proteção exercida sobre o solo permanecem até o final da última colheita, que tem a duração aproximada de três semanas após o seu início (média de 23 dias). Após a data da última colheita, quando são deixados sobre o solo os restos culturais, essa proteção vai diminuindo, pois, a cultura passa

a não ser mais irrigada, mas mesmo assim, a matéria seca ainda continua exercendo um ativo papel na proteção do solo. Quando há a retirada dos restos culturais, a proteção do solo cai automaticamente para 0%, com o agravante do preparo do uso do solo para a próxima colheita, quebrando os agregados superficiais e deixando-os expostos para serem carregados pela chuva. Normalmente, é nesta fase que se esperam as maiores taxas de erosão.

Já para cultura do pimentão (*Capsicum annuum*), o período entre o plantio e a última colheita dura entre seis e sete meses (média de 167 dias). Devido às características do feijão serem muito similares ao do pimentão, bem como a aparência e a cobertura do solo, adotaram-se os mesmos parâmetros de proteção do solo. A fase de emergência ocorreu, aproximadamente, um mês após o plantio. Assim como no feijão, nesta fase, a proteção exercida pela planta não excede os 10%.

A fase de florada para o pimentão ocorre, aproximadamente, dois meses e meio após o plantio (média de 90 dias para os dois experimentos com o pimentão). É nesta fase que a cultura atinge o máximo de proteção do solo (100%).

A proteção exercida sobre o solo permanece até o final da última colheita⁴, durando em média 62 dias. Esta fase é muito mais longa que a do feijão de vagem, o que favorece uma proteção mais duradoura sobre o solo, apesar do crescimento ser mais lento. Na fase pós-colheita, quando os restos culturais são deixados sobre o solo, estes continuam a exercer uma grande proteção ao solo, mesmo quando é transformado em matéria seca.

Vale aqui ressaltar que a irrigação das culturas era realizada dia sim, dia não, através de molhamento por mangueira (tipo de irrigação predominante no

⁴ - A fase de colheita do Pimentão dura em média 72 dias.

município de Paty do Alferes), diretamente sobre as covas e normalmente sem propiciar a formação do escoamento superficial. Entretanto, nos dias em que ocorriam eventos chuvosos, a irrigação era abortada.

4.4.1. Características do Pimentão (*Capsicum annuum*) e do Feijão de Vagem (*Phaseolus vulgaris*)

O pimentão pertence à espécie *Capsicum annuum* e é uma solanácea perene, porém cultivada como cultura anual. A planta é arbustiva, com caule semilenhoso, que pode ultrapassar 1m de altura e as raízes atingem até 1m de profundidade, havendo pouco desenvolvimento. A planta é de origem tropical, desenvolvendo-se e produzindo melhor sob temperaturas relativamente elevadas ou amenas, sendo intolerante a baixas temperaturas e à geada. A termoperiodicidade diária – uma diferença em torno de 6°C entre as temperaturas diurnas e noturnas – beneficia a cultura. O fator climático limitante é a baixa temperatura, mormente durante a germinação, a emergência e o desenvolvimento das mudas, as quais são produzidas mais vantajosamente sob estufa. Já a planta adulta torna-se mais resistente ao frio. Baixas temperaturas no solo também afetam o desenvolvimento inicial da planta. Normalmente, o plantio é efetuado na primavera-verão; entretanto, pode se estender ao longo do ano em regiões de baixa altitude, com inverno ameno (FILGUEIRAS, 2000).

Da espécie *Phaseolus vulgaris*, o feijão de vagem é uma fabácea anual, que apresenta caule volúvel e sistema radicular superficial. Esta cultura apresenta uma ampla adaptação a temperaturas amenas e elevadas. É intolerante às baixas temperaturas e à geada, sendo o frio o fator limitante do cultivo durante o inverno, ocasionando baixa germinação e desenvolvimento retardado das plantas. É

indiferente ao fotoperiodismo. Em regiões tropicais de baixa altitude, com inverno ameno, é viável a semeadura ao longo do ano. Em outras, de maior altitude, as semeaduras de inverno devem ser evitadas (FILGUEIRAS, 2000), como é o caso de Paty do Alferes.

4.5. Monitoramento dos dados climatológicos

Registros pluviométricos foram obtidos no Campo Experimental da Pesagro, em Avelar, com dados remontando ao ano de 1971. Estes registros são diários, através de pluviômetros e outros equipamentos e, auxiliaram no entendimento da distribuição e representatividade das chuvas no processo de erosão das parcelas. A partir de 1995, além dos dados da estação climática da PESAGRO/RIO, foi também instalado um pluviógrafo de registro contínuo próximo às parcelas. Os dados diários e contínuos foram utilizados na caracterização climática da área de estudo, bem como no estudo das relações entre chuva e perda de solo.

Os principais dados adquiridos através da estação meteorológica da Pesagro são: (i) temperatura máxima, mínima, amplitude e média compensada; (ii) umidade relativa; (iii) nebulosidade média; (iv) velocidade média do vento; (v) chuva recolhida – total em 24h e dias de chuva por mês; (vi) evaporação total e; (vii) horas de insolação. A duração e a intensidade da chuva são monitoradas pelo pluviógrafo (registro contínuo). Entretanto, nem toda a série de dados pôde ser utilizada. Em alguns casos, o pluviógrafo funcionou de maneira duvidosa ou estava no conserto, inviabilizando os cálculos de intensidade da chuva. Para o caso do pluviômetro, não há o registro dos totais mensais para alguns poucos meses.

4.5.1. Cálculo do índice de chuva e do EI_{30} :

A erosividade da chuva pode ser definida como o potencial da chuva em causar erosão do solo e é função exclusivamente das características físicas da própria chuva (diâmetro das gotas, velocidade terminal e energia cinética). Sua determinação define a melhor época para o estabelecimento das práticas de manejo e conservação do solo (VAL et al., 1986).

Apesar da existência de um pluviógrafo instalado ao lado das tabelas, o cálculo do EI_{30} não levou em consideração a análise dos dados dos pluviogramas, devido à existência de uma grande inconsistência entre os dados do pluviógrafo e do pluviômetro. Há dias de registro de aproximadamente 60mm de chuva no pluviógrafo, quando o pluviômetro não registrou nada e há dias em que o pluviógrafo não registra chuva e ela existe no pluviômetro. Esperavam-se apenas pequenas variações entre os dois instrumentos, devido à distância de aproximadamente 300m entre eles, mas não uma discrepância tão grande.

Assim, os totais mensais de chuva foram colocados em uma única tabela, onde foram calculadas as médias mensais e a média para os totais anuais para uma série de dados de 33 anos (1971 a 2003).

Para o cálculo do EI_{30} foi utilizada a série de dados do pluviômetro. Numa tentativa de se obter uma estimativa precisa do EI_{30} a partir das médias diárias e mensais, uma vez que para muitos locais não existem pluviógrafos, LOMBARDI NETO (1977) estimou o índice de erosividade EI_{30} médio mensal com um coeficiente de chuva dado pela seguinte expressão:

$$Rc = P_m^2 / P_a \quad (23)$$

onde R_c é o coeficiente de chuva em mm; P_m a precipitação média mensal em mm e; P_a a precipitação média anual. Assim, a equação obtida foi a seguinte:

$$EI_{30} = 67,414 * R_c^{0,850} \quad (r=0,991) \quad (24)$$

onde EI_{30} é a estimativa (através da equação de ajuste) do índice de erosividade médio mensal em MJ.mm/ha.h e r é o coeficiente de correlação.

4.6. Cruzamento dos dados de erosão, cobertura vegetal e manejo

Neste tópico, foi elaborado um quadro onde estão discriminadas as culturas monitoradas. O período de cada cultura foi subdividido de acordo com as fases do plantio, de modo a tentar estimar para cada fase, a proteção exercida pela cultura sobre o solo. Pelo quadro 4.4, pode-se observar que as culturas foram subdivididas em cinco fases: Plantio/Emergência, Maturação – Fase 1, Maturação – Fase 2, Colheita e Pós-colheita. Para cada um desses períodos, estabeleceu-se que a cobertura e proteção exercida pela planta sobre o solo podem sofrer uma variação de 10 a 100%, assumindo assim, valores proporcionais de 1 a 10, dependendo do período.

QUADRO 4.4. Cronograma e pesos atribuídos a cada fase de desenvolvimento das culturas.

Cultura	Ação	Período	Observações	Peso da Cobertura	Peso do Manejo	Manejo x Cobertura
1. Pimentão	Plantio /Emergência	6/11/2000 a 05/12/00	1 mês a partir do plantio	1	PC = 1	1
				1	PN = 2	2
				2	PD = 3	6
	Maturação: Fase 1	07/12/00 a 04/01/01	30 dias após o final da fase de emergência	4	PC = 1	4
				4	PN = 2	8
				6	PD = 3	18
	Maturação: Fase 2	04/02/01 a 05/03/01	Final da fase 1 até a florada	8	PC = 1	8
				8	PN = 2	16
				8	PD = 3	24
	Florada /Colheita	06/03 a 23/03/01	Do início da florada até o final da colheita	10	PC = 1	10
				10	PN = 2	20
				10	PD = 3	30
	Pós-colheita	24/03 a 18/06/01	Permanência dos restos culturais	9	PC = 1	9
				9	PN = 2	18
				9	PD = 3	27
2. Feijão	Plantio /Emergência	29/8/01 a 13/09/01	15 dias a partir do plantio	1	PC = 1	1
				1	PN = 2	2
				2	PD = 3	6
	Maturação: Fase 1	14/9/01 a 30/09/01	17 dias após o final da fase de emergência	4	PC = 1	4
				4	PN = 2	8
				6	PD = 3	18
	Maturação: Fase 2	01/10/01 a 29/10/01	Final da fase 1 até a florada	8	PC = 1	8
				8	PN = 2	16
				8	PD = 3	24
	Florada /Colheita	17/10 a 22/11/01	Do início da florada até o final da colheita	10	PC = 1	10
				10	PN = 2	20
				10	PD = 3	30
	Pós-colheita	23/11 a 15/12/01	Com permanência dos restos culturais	9	PC = 1	9
				9	PN = 2	18
				9	PD = 3	27
3. Pimentão	Plantio /Emergência	19/12/01 a 19/01/02	1 mês a partir do plantio	1	PC = 1	1
				1	PN = 2	2
				2	PD = 3	6
	Maturação: Fase 1	20/01/02 a 17/02/02	22 dias após o final da fase de emergência	4	PC = 1	4
				4	PN = 2	8
				6	PD = 3	18
	Maturação: Fase 2	21/02/02 a 03/03/02	23 dias após o final da Fase 1 até a florada	8	PC = 1	8
				8	PN = 2	16
				8	PD = 3	24
	Florada /Colheita	03/03 a 28/05/02	Do início da florada até o final da colheita	10	PC = 1	10
				10	PN = 2	20
				10	PD = 3	30
	Pós-colheita	29/05 a 15/07/02	Com permanência dos restos culturais	9	PC = 1	9
				9	PN = 2	18
				9	PD = 3	27

4. Feijão	Plantio /Emergência	17/11/02 a 02/12/02	15 dias a partir do plantio	1	PC = 1	1
				1	PN = 2	2
				2	PD = 3	6
	Maturação: Fase 1	03/12/02 a 20/12/02	De 17 dias após o final da fase de emergência	4	PC = 1	4
				4	PN = 2	8
				6	PD = 3	18
	Maturação: Fase 2	21/12/02 a 06/01/03	Do final da fase 1 até a florada	8	PC = 1	8
				8	PN = 2	16
				8	PD = 3	24
	Florada /Colheita	06/01/03 a 09/03/03	Do início da florada até o final da colheita	10	PC = 1	10
				10	PN = 2	20
				10	PD = 3	30
Pós-colheita	10/03 a 19/03/03	Permanência dos restos culturais	9	PC = 1	9	
			9	PN = 2	18	
			9	PD = 3	27	
5. Feijão	Plantio /Emergência	4/12/03 a 18/12/03	15 dias após o plantio	1	PC = 1	1
				1	PN = 2	2
				2	PD = 3	6
	Maturação: Fase 1	19/12/03 a 05/01/04	Até 18 dias após o final da fase de emergência	4	PC = 1	4
				4	PN = 2	8
				6	PD = 3	18
	Maturação: Fase 2	06/01/04 a 21/01/04	Final da fase 1 até a florada	8	PC = 1	8
				8	PN = 2	16
				8	PD = 3	24
	Florada/ Colheita	22/01/04 a 27/02/04	Da florada até a última colheita	10	PC = 1	10
				10	PN = 2	20
				10	PD = 3	30
Pós-colheita	28/02 a 02/04/04	Com permanência dos restos culturais	9	PC = 1	9	
			9	PN = 2	18	
			9	PD = 3	27	

A fase de Plantio/Emergência foi estabelecido em campo, cuja duração vai do plantio da semente nas covas até a planta atingir cerca de 15cm de caule. Este período foi medido em campo para a cultura do pimentão (3) e do feijão (4 e 5) e posteriormente transportados para o pimentão (1) e feijão (2). Neste período foi estabelecido um máximo de 10% de proteção sobre o solo e atribuído um peso correspondente a essa cobertura para as parcelas PC e PN = 1. Já para o plantio direto, como os restos culturais da cultura anterior permanecem na parcela, esse fator de proteção foi dobrado (=2).

Foi definida como fase de maturação, como o crescimento vegetativo que inicia na emergência e vai até o dia da florada. Essa fase dura em média 34 dias

para a cultura do feijão e cerca de 52 dias para a cultura do pimentão. Para simplificar a contribuição do fator de cobertura do solo, foi estabelecida que a primeira metade deste período fosse a fase de “*Maturação – Fase 1*” e que a segunda metade a “*Maturação – Fase 2*”. Na “*Maturação – Fase 1*” a parcela PD também foi beneficiada, devido à cobertura dos restos culturais que estão presentes nesta parcela e que estabelece uma maior proteção do solo do que nas outras parcelas. Assim, enquanto as outras parcelas nesta fase de crescimento tinham um peso igual a quatro, para o plantio direto, este peso foi estabelecido como seis. Como na fase seguinte (florada/colheita), a planta alcança seu pleno desenvolvimento e proteção sobre o solo (100%), estimou-se para a primeira fase um fator de proteção média de 40% e para a segunda, de 80% (pesos 4 e 8), para todas as parcelas plantadas.

Na fase de “*Florada/Colheita*” a planta atinge o seu pleno desenvolvimento, alcançando cerca de 100% de proteção sobre o solo, onde se estabeleceu um fator de ponderação igual a 10 para todas as parcelas plantadas.

Na fase de “*Pós-colheita*” este fator foi reduzido em 10%, assumindo assim um fator igual a 9, devido à permanência dos restos culturais sobre as parcelas.

Para o manejo, as notas foram estabelecidas a partir do tipo de manejo nas parcelas e sua eficiência na conservação da perda de solo e água. Assim, atribuiu-se o peso “3” para o plantio direto, por proteger mais o solo, o peso “2” para o plantio em nível e a nota “1” para o plantio convencional.

A parcela sem cobertura não foi avaliada, devido ao fato de que esta parcela não foi utilizada para o plantio, ficando “limpa” durante todo o monitoramento.

A partir de então, os fatores “*Peso da cobertura*” e “*Peso do manejo*” foram multiplicados de modo a estabelecer a correlação entre a perda de solo e os fatores de manejo e cobertura presentes em cada parcela. Posteriormente os dados de perda foram organizados, por fases, em uma tabela, através do *software* Kaleidagraph e posteriormente gerados os gráficos de correlação através do programa *Kaleidagraph*.

4.7. Confecção do Modelo Digital de Elevação das parcelas de erosão

Com ajuda do Eng^o Cartógrafo MSc. Marcos Antônio Timbó Elmiro, foi realizado um levantamento topográfico de detalhe nas parcelas de erosão (equidistância das curvas de 10cm) e em seu entorno (equidistância das curvas de 20cm). Este levantamento foi realizado durante a estação chuvosa, em janeiro de 2002.

Em janeiro de 2003 foi realizado um novo levantamento topográfico de detalhe, com uma mesma equidistância das curvas de nível do levantamento anterior. Este segundo levantamento teve por objetivo a verificação da alteração da topografia das parcelas e da identificação de possíveis zonas de erosão e de acumulação de sedimentos.

A malha de pontos tridimensionais oriundos do levantamento topográfico foi inserido no programa *Microstation* e, a partir dela, foi gerado o modelo em três dimensões da área de estudo com as parcelas. Posteriormente esta malha foi renderizada e gerou-se a imagem da topografia local com as parcelas em destaque.

A partir dos pontos tridimensionais acima descritos foram também gerados os perfis topográficos do primeiro e do segundo levantamento. Estes perfis

foram feitos no meio de cada uma das parcelas, paralelo ao declive e, posteriormente, o perfil do segundo levantamento foi subtraído do perfil do primeiro, gerando um perfil com as áreas de deposição e de retirada de sedimentos, de modo a se verificar o rebaixamento do perfil.

5. Resultados

Neste capítulo, primeiramente será analisado o regime pluviométrico de Paty do Alferes, de modo a verificar a ocorrência de excepcionalidades neste regime e suas possíveis consequências nas taxas de erosão. Posteriormente, será verificada a correlação entre as perdas de solo nas parcelas (SC, PC, PN e PD) em relação aos totais de chuva e suas intensidades.

Subsequentemente, será analisada a perda de solo em cada uma das parcelas e avaliada a eficiência das técnicas de plantio no controle da erosão. Será também verificada a correlação entre perda de solo, manejo e estágio do plantio.

5.1. Precipitação

Para se avaliar a erosão do solo nos diferentes tratamentos realizados nas parcelas da PESAGRO em Paty do Alferes, faz-se necessário a análise do regime pluviométrico no período de 1971 a 2003, de modo a verificar se o regime pluviométrico dos anos de monitoramento (2002 a 2004) não se encontra fora do padrão de chuvas esperadas.

A tabela 5.1 apresenta um resumo dos totais mensais de chuva para os anos de 2001 a janeiro de 2004. Nesta tabela, as médias mensais são baseadas nos totais pluviométricos calculados a partir dos anos de 1971 a 2004⁵.

A coleta dos dados de erosão foi realizada principalmente no período de maior pluviosidade e, conseqüentemente com os índices de chuva e o EI_{30} mais elevados, que vai de novembro a janeiro, tendo algumas coletas sido realizadas nos outros meses, como será visto posteriormente.

⁵ - Para visualizar a tabela completa com os dados pluviométricos, vide anexos

O coeficiente de chuva (R_c) para Paty do Alferes foi elaborado a partir das médias mensais, considerando o período de 1971 a 2003⁶. Pode-se perceber (tabela 5.1 e figura 5.1) que os meses de novembro, dezembro e janeiro (estação chuvosa) apresentam os maiores coeficientes de chuva alcançando, respectivamente, 16,98mm, 39,95mm e 40,71mm. Esta é normalmente a estação onde o solo é preparado, dando início aos cultivos na região e a estação mais propícia ao início das culturas devido à abundância de água e temperaturas amenas. Por outro lado, além das chuvas possuírem um maior poder erosivo nestes meses, novembro deve ser destacado, pois as chuvas ainda encontram o solo desprotegido, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Este fator é ainda agravado pelas altas declividades das encostas encontradas na região, em torno de 30%, o que potencializa ainda mais as taxas de erosão do solo, como será visto mais à frente, ao se analisar as taxas de erosão da parcela Sem Cobertura – SC. Já para o período mais seco, que vai de junho a agosto, o coeficiente de chuva é quase insignificante frente aos meses da estação chuvosa, refletindo as baixas taxas pluviométricas.

⁶. Período total dos dados da Estação Meteorológica da PESAGRO/Avelar.

TABELA 5.1. Chuva em Paty do Alferes – Totais mensais, anuais, índice de chuva (Rc) e EI_{30} .

	JAN (mm)	FEV (mm)	MAR (mm)	ABR (mm)	MAI (mm)	JUN (mm)	JUL (mm)	AGO (mm)	SET (mm)	OUT (mm)	NOV (mm)	DEZ (mm)	TOTAL ANUAL (mm)
2001	139,8	94,8	340,2	36,7	48,0	0,0	0,0	14,9	25,3	65,2	152,9	304,6	1222,4
2002	140,3	94,4	93,7	11,0	63,1	0,0	25,7	33,8	96,5	78,7	143,0	278,1	1058,3
2003	403,3	94,6	129,3	36,6	18,1	0,2	8,7	42,0	28,5	159,3	204,8	101,5	1226,9
2004	119,3												
Média	214,34	124,44	132,84	64,17	44,97	23,79	18,18	21,78	63,62	92,64	140,30	215,18	1159,13
Contrib. Média (%)	18,5	10,7	11,5	5,5	3,9	2,1	1,6	1,9	5,5	8,0	12,2	18,6	100,0
Rc (mm)	40,71	13,36	15,22	3,55	1,74	0,49	0,29	0,41	3,49	7,40	16,98	39,95	
EI_{30}	1573,97	610,50	682,03	197,90	107,95	36,76	23,54	31,59	195,05	369,49	748,51	1548,96	

Fonte: Adaptação dos dados meteorológicos da Estação Meteorológica de PESAGRO/Avelar – Paty do Alferes, RJ.

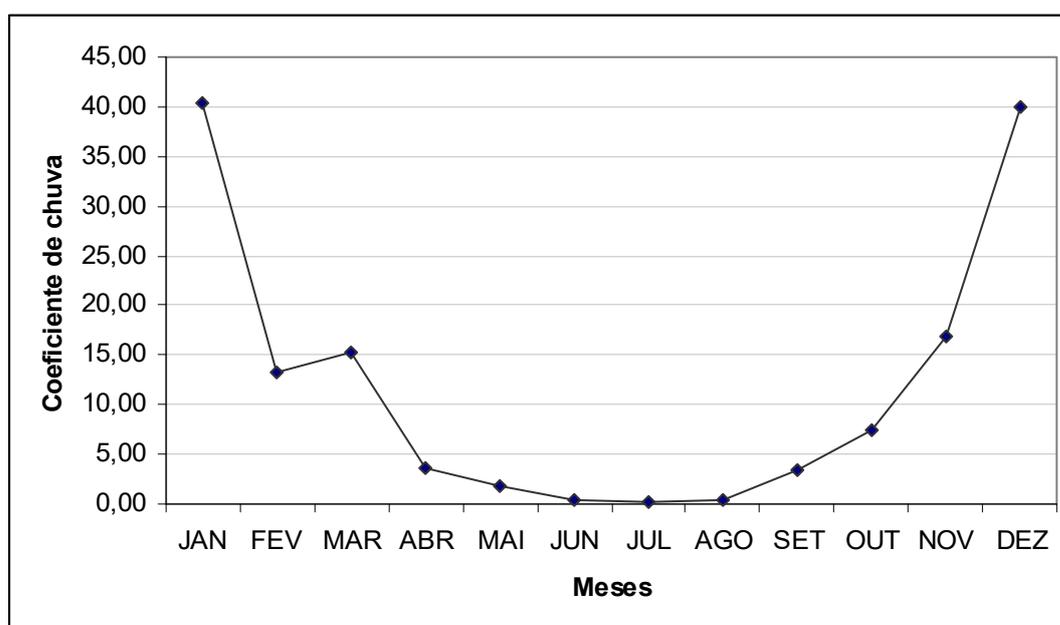


Figura 5.1. Coeficiente de chuva a partir das médias mensais para Paty do Alferes/RJ.

De modo geral, os totais anuais de chuva para os anos de 2002 e 2003 (anos de monitoramento – tabela 5.1) ficaram bem próximos à média anual (calculada levando em consideração toda a série disponível), não se caracterizando como anos extremamente secos ou chuvosos. Entretanto, quando se analisa os meses de novembro a janeiro de 2002 e 2003, percebe-se um comportamento

distinto dos totais anuais. As chuvas para o mês de novembro de 2001 e 2002 ficaram bem próximas à média. Já para o ano de 2003, a quantidade de chuva superou a média em aproximadamente 46%. No geral, o mês de novembro contribuiu com 12,1% da média anual e com 24,5% da chuva média da estação chuvosa. Novembro de 2003 contribuiu com 16,7% do total de chuva anual, enquanto que para 2001 e 2002 este percentual ficou em 12,5% e 14,4%, respectivamente. Com isso, espera-se para novembro de 2003 taxas de erosão maiores do que para os dois anos anteriores.

Ao contrário do comportamento de novembro, em dezembro percebe-se que para os anos de 2001 e 2002 os valores totais de chuva para este mês foram muito superiores à média. Este mês para os anos de 2001 e 2002 obteve totais pluviométricos de 42% e 29,2% acima da média, respectivamente. Quando se compara estes dados à média estimada para este mês (215,18mm), observa-se um declínio do total mensal de 2001 a 2003. Vale destacar que o mês de dezembro é responsável por 18,56% da chuva média anual e 37,57% da chuva média da estação chuvosa. Para o ano de 2003, dezembro apresentou-se extremamente seco, com 101,5mm, 42% abaixo da média para este mês. Quando confrontado agora com todo o período de dados disponíveis (1971 a 2003) só perde para o ano de 1978, que obteve 90,8mm, caracterizado como o mês de dezembro mais seco para toda a série de dados.

A contribuição deste mês para os totais anuais em 2001, 2002 e 2003 é, respectivamente, de 24,9%, 26,3% e de 8,2%. Deste modo, espera-se taxas de erosão inferiores para 2003 em relação aos outros anos de monitoramento.

Como pode ser observado pela tabela 5.1 e pelo coeficiente de chuva e pelos totais de chuva no período de 2001 a 2003 (figura 5.1 e 5.2), janeiro é o mês

que apresenta a maior concentração das chuvas do ano, contribuindo, na média, com 18,74% da chuva média anual e 41,16% da chuva média da estação chuvosa. Os anos de 2001, 2002 e 2004⁷ apresentaram um janeiro extremamente seco, ficando abaixo da média, enquanto que o ano de 2003 apresentou um valor quase duas vezes superior à média para este mês, configurando-se assim, como um mês extremamente chuvoso e erosivo.

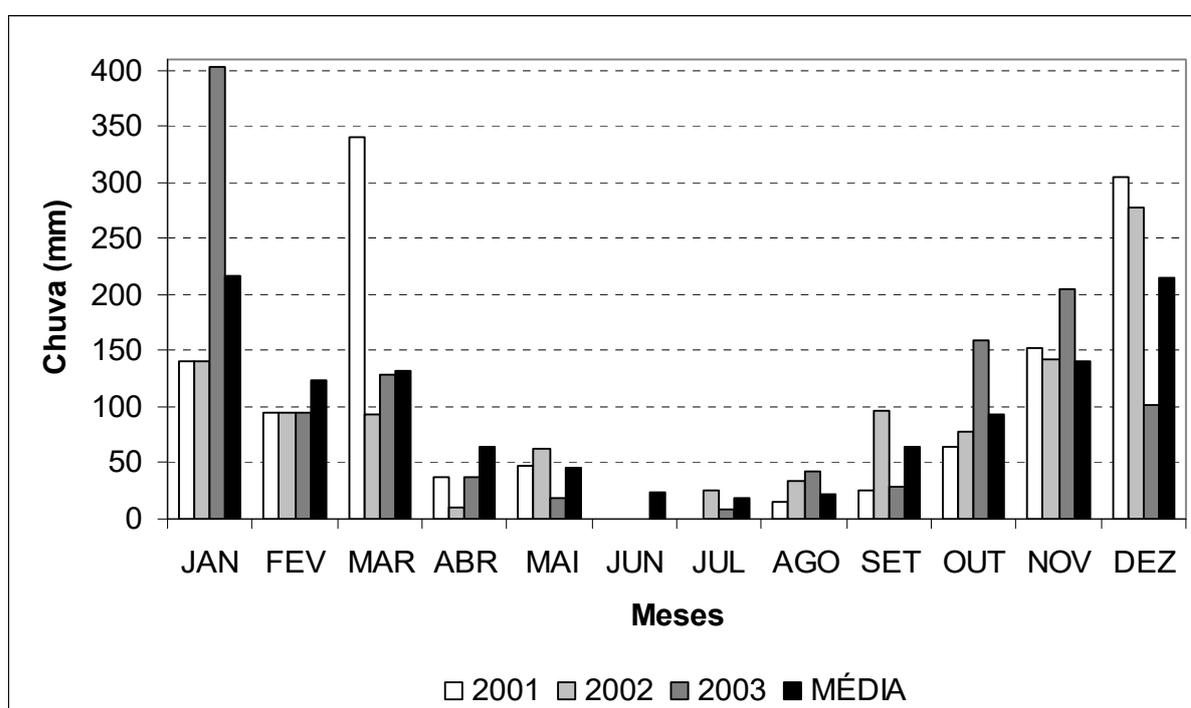


Figura 5.2: Totais mensais de chuva para os anos de 2001 a 2003 e pluviosidade média (1971 – 2003) para Paty do Alferes.

Quando se analisa agora a contribuição do mês de janeiro para os totais anuais de chuva, percebe-se que em 2001 e 2002 ela foi de 11,4% e 13,3%, respectivamente. Desta forma, pode-se esperar taxas de erosão baixas na parcela SC, tendo em vista que a chuva, para estes anos ficou aproximadamente 35%

⁷ - Em 2004 não foi analisada a contribuição do mês de janeiro, devido à falta de dados pluviométricos para os meses subsequentes.

abaixo da média para o mês de janeiro. Além disso, nas outras parcelas a cobertura do solo já exercia certa proteção contra a erosividade da chuva.

O trimestre mais seco, que vai de junho a agosto apresenta médias de chuva muito inferiores ao trimestre mais úmido, contribuindo com somente 1,19% da chuva média anual. Para os anos de coleta dos dados, o mês de junho apresentou-se como o mais seco, com valores nulos para os anos de 2001 e 2002 e somente 0,2mm para o ano de 2003, muito inferior à média (23,79mm) para este mês. Julho apresentou valores abaixo da sua média (tabela 5.1) para os anos de 2001 e 2003. Julho de 2002, entretanto, apresentou valores muito superiores à média. Entretanto, quando os dados do pluviógrafo são analisados, verifica-se que ocorreram apenas três eventos de chuva: o primeiro deles ocorrido em 12/07/02 com 11,6mm, outro ocorrido no dia 13/07/02 com 12,8mm e, por último, um ocorrido no dia 31/07/02 com 0,3mm.

Dentre os meses do período seco, o mês de agosto foi o que mostrou a maior variação dos dados. Em agosto de 2001 o total de chuva foi muito inferior à média e para os anos de 2002 e 2003 apresentaram-se extremamente chuvosos e fora do esperado para este mês.

A seguir, serão realizadas análises de correlação entre as perdas de solo e os totais de chuva, de modo a se verificar a influência direta da chuva no processo de erosão em Paty do Alferes/RJ.

5.2. Análise de correlação entre perda de solo e totais de chuva nas parcelas de erosão:

De modo geral, observa-se através da figura 5.3 uma nuvem bastante dispersa dos dados, indicando a baixa correlação entre a perda de solo e os totais diários de chuva, apesar da tendência ao aumento da erosão, quando se aumentam os totais pluviométricos, em todas as parcelas.

Pela tabela 5.2 percebe-se que na parcela Sem Cobertura (SC) ocorre a maior correlação entre perda de solo e os totais de chuva dentre as parcelas apresentadas, com um $r=0,60918$. Esta correlação está em parte relacionada à ausência da variação da proteção exercida pela cobertura vegetal nesta parcela, o que pode ser um dos fatores de aumento da dispersão dos dados. Através deles pode-se observar, de um modo geral, que há uma tendência maior de crescimento das perdas de solo com o aumento dos totais pluviométricos. Assim, nesta parcela, 60,918% da erosão, pode ser explicado pelos totais de chuva. Entretanto, outros fatores da chuva, tais como a intensidade e a duração, além da umidade antecedente e características do próprio solo (textura, estrutura, etc.) estão também relacionados a este fator, além da topografia e do manejo, que como se sabe, influencia nas características físico-químicas da camada superficial do solo

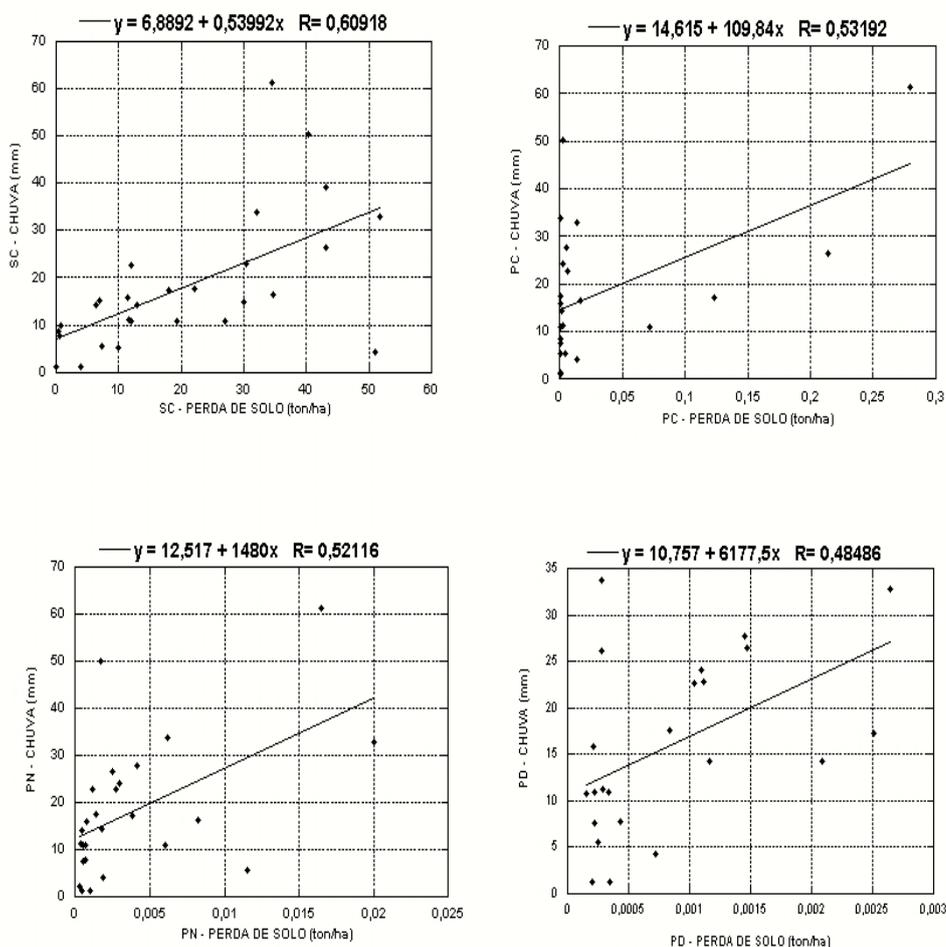


FIGURA 5.3. Correlação entre perda de solo e totais de chuva nas parcelas de erosão (SC, PC, PN e PD).

TABELA 5.2. Média, desvio padrão e correlação entre perda de solo e chuva nas parcelas SC, PC, PN e PD.

	PARCELA SC		PARCELA PC		PARCELA PN		PARCELA PD	
	Perda (ton/ha)	Chuva (mm)						
Média	20,76	20,9	0,00642	18,2	0,00543	18,5	0,00139	18,2
Desvio Padrão	16,35	15,84	0,00459	21,8	0,00329	20,9	0,00112	21,6
Correlação Perda x Totais de chuva	0,60918		0,53192		0,52116		0,48486	
Correlação Perda x Intensidade	0,26582		0,37671		0,26369		0,54728	

Para MORGAN (1982), a intensidade da erosão depende da quantidade de partículas primárias desagregadas e da capacidade da enxurrada em transportá-las. Na parcela SC, devido à ausência de cobertura vegetal torna-se muito relevante o papel do salpico como desencadeador do processo de erosão⁸, principalmente nos momentos iniciais da chuva. Devido à alta declividade (aproximadamente de 30%) das parcelas, o papel do escoamento superficial torna-se, em um segundo momento, muito mais preponderante para o processo de erosão nesta parcela.

DEDECEK (1989) verificou que o salpico foi responsável por 88% das perdas de solo em parcelas com coletores de enxurrada, em condições de campo, mas com baixa declividade. QUANSAH (1985), em condições de chuva simulada em laboratório, obteve resultados semelhantes, detectando que, em declividades de até 10%, o impacto das gotas de chuva era o principal agente de desagregação, contribuindo em mais de 85% das perdas totais de solo. Porém, em declividades maiores que 10% - como é o caso das parcelas instaladas em Paty do Alferes, que possuem uma declividade da ordem de 30% - a contribuição da enxurrada aumentava em relação ao salpico.

Devido à alta declividade das parcelas, o papel da enxurrada no processo de erosão é, possivelmente, mais preponderante que o salpico. A figura 5.4 mostra marcas (sulcos) resultantes do escoamento concentrado na parcela SC, mostrando a importância do processo de erosão concentrado na erosão do solo.

⁸ . Apesar de diversos autores reconhecerem o papel primordial do salpico no processo de erosão, não foi realizado nenhum monitoramento específico deste processo e nem foi separada a erosão ravinar (ou em sulcos) da erosão interravinar.



Figura 5.4. Visão de detalhe da parcela SC onde estão destacados os sulcos (setas pretas) oriundos do fluxo superficial concentrado.

A parcela com a segunda maior correlação foi a de Plantio Convencional (PC), apresentando um r de 0,53192 seguida pela parcela de Plantio em Nível (PN), com 0,52116 e, por último, a parcela de Plantio Direto (PD), com um r de 0,48486.

Quando se observa a dispersão dos dados no gráfico de correlação da parcela PC (figura 5.3) pode-se notar que grande parte destes se encontra concentrada no início do eixo de perda. Uma consequência disto é que uma grande variedade nos totais pluviométricos acabou gerando perdas de solo muito próximas. Um exemplo deste fato ocorreu nos dias 24 de setembro e 12 de dezembro de 2002. No primeiro dia, o solo da parcela encontrava-se desprotegido de qualquer cobertura vegetal e restos culturais. Assim, uma chuva de 22,8mm originou uma perda de solo de 0,00613 ton/ha. Já no segundo dia – aproximadamente após um mês da instalação do cultivo do feijão de vagem, próximo ao ápice da proteção que esta

cultura poderia estar exercendo sobre o solo – uma chuva de 50,2mm causou uma erosão bem menor que na primeira data, perfazendo 0,00258 ton/ha.

Quando se faz esta mesma correlação utilizando-se as datas das fases de maturação mais avançada da colheita, foi observado que a dispersão dos dados nos gráficos melhora muito e que a correlação para a parcela PC aumenta para 0,81471. Entretanto, quando se faz isto, o volume de dados a serem correlacionados diminui substancialmente e este fato, por si só, pode também ter sido o responsável pelo aumento da correlação.

A parcela PN possui uma correlação inferior ao do plantio convencional, mas mostra uma melhor dispersão dos dados para os pequenos eventos de erosão. Esta melhor dispersão dos dados pode ter sido ocasionada pelas faixas de capim colônio na parcela, que auxiliam na retenção dos sedimentos e do escoamento superficial e, conseqüentemente, distribuindo melhor os eventos de erosão em relação às chuvas.

Já a parcela PD, apesar de possuir a mais baixa correlação entre as parcelas, é a que possui os dados mais bem distribuídos no espaço amostral. A baixa correlação na parcela PD pode ter sido originada a partir da baixa variabilidade da proteção que a cobertura vegetal exerce sobre o solo, tendo em vista a permanência dos restos culturais após a colheita e também a preservação da cobertura vegetal nas entrelinhas. Este fato pode ser observado através do desvio padrão⁹ desta parcela ($s=0,00112$), o menor dentre as parcelas. É nesta parcela

⁹ - O desvio-padrão é a raiz da média dos quadrados dos desvios em relação à média do conjunto, sendo uma medida do desvio dos valores individuais em relação ao valor central do conjunto de dados ou à raiz quadrada da variância. Esta medida permite avaliar a variabilidade dos parâmetros analisados em relação à média. Assim, se os valores analisados estiverem bem próximos uns dos outros, a soma dos desvios quadrados é pequena e, desta forma, também será o desvio padrão. No caso dos valores estarem distantes uns dos outros, a soma dos quadrados é

também que estão os menores índices de erosão dentre os diferentes tipos de conservação do solo apresentados neste trabalho.

Este fato está de acordo com os resultados apresentados por HAROLD e EDWARDS (1972), que apresentaram dados obtidos na estação experimental de Coshocton, Ohio (EUA), com uma forte chuva de 120mm na cultura do milho. Enquanto, com preparo convencional em contorno perdeu-se, com essa única chuva, 7,2 ton/ha, as perdas de solo com plantio direto foram de 0,07 ton/ha, proporcionando um controle de 99% das perdas de solo.

Vários autores demonstraram, através de seus trabalhos, que a correlação entre perda de solo e chuva é muito maior quando analisada em termos de intensidade e principalmente da erosividade da chuva: DIAS e SILVA, 2003; CARVALHO et al., 1989; ALBUQUERQUE et al., 2002; ROQUE et al., 2001; BERTOL et al., 2002; CARVALHO et al., 1997; MOURA e MEDEIROS, 1987; MORETI et al., 2003, dentre outros. Entretanto, o índice EI_{30} só foi calculado a partir das médias mensais, devido a uma grande discrepância entre os dados do pluviógrafo (instalado junto às parcelas) e o pluviômetro (instalado a aproximadamente 300m das parcelas).

Apesar de HUDSON (1961), destacar que a correlação entre intensidade da chuva e a perda de solo é superior à correlação entre totais de chuva e perda, isto não foi constatado neste trabalho (tabela 5.2). As perdas de solo quando analisadas em relação à intensidade da chuva tiveram suas correlações bastante diminuídas.

grande, refletindo-se como um maior desvio-padrão, indicando uma alta variabilidade das amostras em relação à média.

5.3. Perda de solo nas parcelas de erosão:

Neste tópico serão analisadas as perdas de solo em cada uma das parcelas frente aos totais de chuva que as ocasionaram.

5.3.1. Parcela Sem Cobertura – SC:

Esta parcela é considerada a parcela de referência, permanecendo sem cultivo e sem irrigação durante todos os experimentos. O propósito principal desta parcela foi o de representar a condição mais favorável à ocorrência da máxima perda de solo por erosão hídrica na região estudada (WISCHMEIER e SMITH, 1978), simulando assim, as condições de entressafra.

Desta forma, dentre todas as parcelas (PC, PN E PD), esta foi a que apresentou os maiores índices de erosão, com uma perda média de 20,76 ton/ha por evento, enquanto que nas outras, a perda média de solo por evento é de 0,006 ton/ha para a parcela PC, de 0,005 ton/ha para a parcela PN e de 0,001 para a parcela PD (tabela 5.2). Este fato corrobora o trabalho de VOLK et al. (2004) onde, na parcela sem cultivo (testemunha), as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo que reduziram a perda de água nas outras parcelas estudadas pelos autores não foram igualmente eficientes na redução da desagregação e do transporte das partículas de solo, resultando também na maior perda de solo entre os cultivos analisados pelos autores.

A figura 5.5 apresenta os totais de chuva em 24h e a perda de solo na parcela SC para 24 eventos selecionados entre 03 de agosto de 2002 e 10 de dezembro de 2003. Através desta figura, pode-se observar que, nem sempre as maiores chuvas correspondem às maiores taxas de erosão, como é o caso dos

eventos dos dias 24/set/02, 26/nov/02 e 16/ago/03, por exemplo. Para estes dias, a umidade antecedente do solo, além da intensidade e duração da chuva são fatores que devem ser observados.

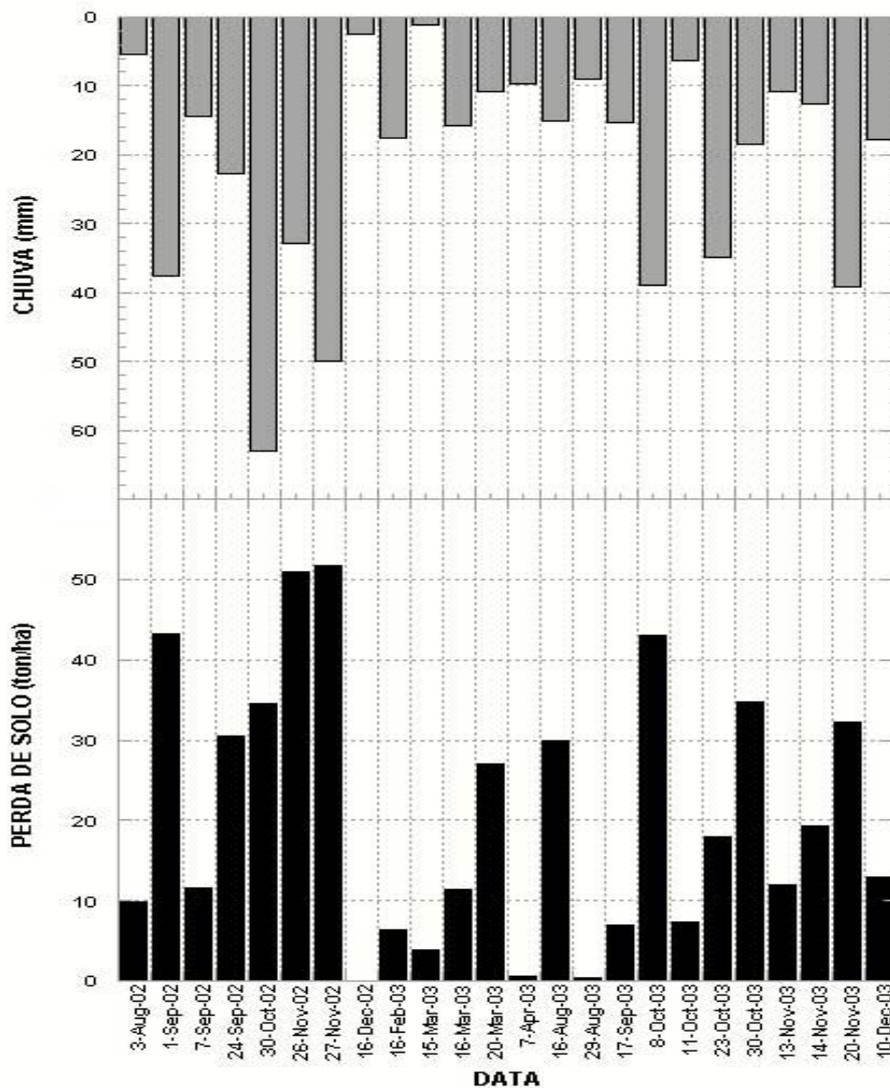


Figura 5.5. Totais de chuva e perda de solo na parcela SC apresentados em ordem cronológica.

A figura 5.6 apresenta os dados em ordem decrescente de perda e, dos 24 eventos analisados, dez superam as perdas médias de solo, sendo os eventos

mais representativos, os ocorridos nos dias 27/11/02, com 51,68 ton/ha, 26/11/02, com 50,94 ton/ha, 01/09/02, com 43,17 ton/ha e 08/10/03, com 43,07ton/ha.

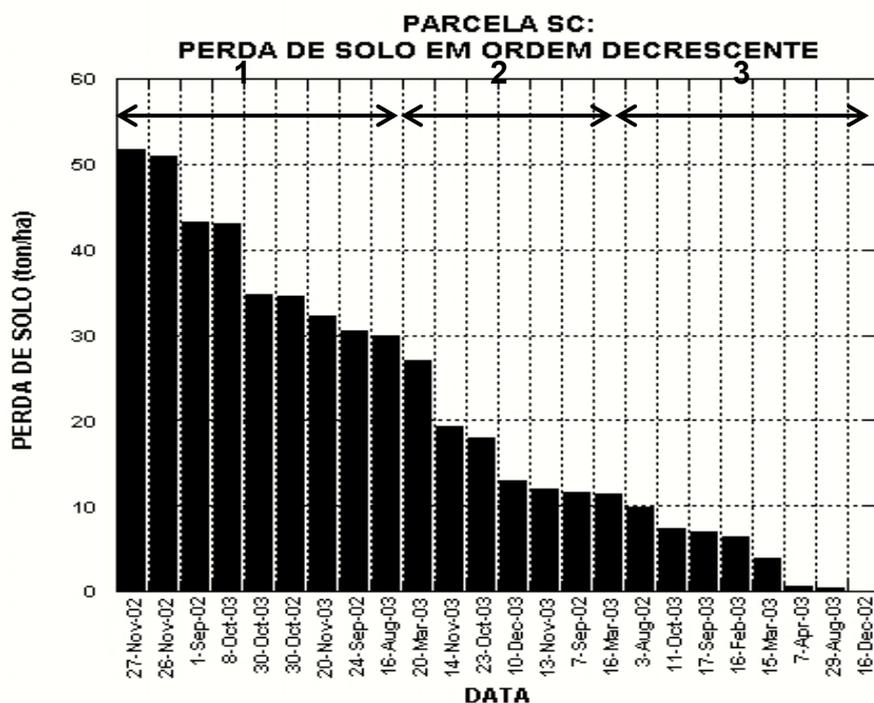


Figura 5.6. Perda de solo na parcela SC apresentados em ordem decrescente.

Para facilitar a análise da perda de solo, os eventos selecionados para esta parcela (e para as outras também) foram organizados em três grupos distintos. O primeiro deles composto por perdas superiores a 27,1 ton/ha, acima da média e do desvio padrão. No segundo grupo estão os valores em torno da média e dentro do intervalo do desvio padrão, ou seja, entre 11,92 e 27,1 ton/ha. No terceiro grupo corresponde às menores perdas, abaixo da média e do desvio padrão, ou seja, abaixo de 11,92 ton/ha.

Nos eventos do primeiro grupo, destaca-se o ocorrido no dia 27 de novembro de 2002 como o mais intenso da série. Este evento ocorreu próximo ao início do período chuvoso (meses com mais de 100mm de chuva) e o solo já se

apresentava com alto índice de saturação, pois havia chovido 85,4mm nos 15 dias anteriores. Neste dia a chuva teve um total de 32,9mm e destes, 23mm ocorreram na primeira meia-hora do evento. Na meia-hora seguinte, completou-se mais 7mm de chuva. Isto faz com que a intensidade na primeira meia-hora do evento fosse de 46mm/h e a intensidade média para todo o evento de 19,8mm/h, indicando o alto poder erosivo desta chuva. Com esta alta intensidade, o início do escoamento superficial foi antecipado, pois provavelmente excedia a capacidade de infiltração do solo, aumentando ainda mais o poder erosivo da chuva e da enxurrada.

Nos eventos do segundo grupo merecem destaque os dias 30 de outubro de 2003 e de 2002, com 34,67 ton/ha e 34,48 ton/ha, respectivamente. Um fato que merece ser explorado sobre estes dois eventos é que, para a primeira data, a erosão foi causada por uma chuva de 18,5mm, enquanto que no segundo, por uma chuva de 63mm. Para o primeiro caso, uma chuva de 18,5mm pode ser considerada uma chuva de grande intensidade e que foi agravada pela umidade antecedente do solo, tendo em vista que ocorreram eventos nos dias 8 a 12 de outubro de 2003 com um total de 96,8mm e nos dias 23 e 24 do mesmo mês com 42mm, indicando uma alta umidade antecedente do solo. Este fato provavelmente propiciou uma antecipação do escoamento superficial nesta parcela.

Já para a chuva ocorrida em 30 de outubro de 2002, houve uma perda um pouco menor (apesar do pluviograma descrever uma chuva de 63mm com nove horas de duração, perfazendo uma intensidade média para este evento de 7mm/h). Vale destacar também para este evento, que houve uma chuva antecedente, no dia 26 de 4,2mm e que esta foi a terceira chuva do mês de outubro de 2002, perfazendo 80% do total de chuva para este mês. Com isso, o solo apresentava uma baixa

saturação antecedente, o que propiciou uma elevada taxa de infiltração e o consequente retardo do início do processo de erosão pela chuva-enxurrada.

Para os eventos de erosão do terceiro grupo, destacam-se aqui o dia 03 de agosto de 2002, com uma perda de 9,87 ton/ha e uma chuva de 5,3mm e o dia 16 de dezembro de 2002, com 0,07 ton/ha, para uma chuva de 2,4mm. O evento do dia 03 de agosto ocorreu no auge da estação seca. Entretanto, houve uma chuva no dia anterior de 8,4mm, o que pode ter aumentado o poder erosivo da chuva-enxurrada, tendo em vista que o solo provavelmente já se encontrava com certo grau de saturação. O dia 16 de dezembro de 2002 representa a menor perda de solo para toda a amostragem realizada para esta parcela. Neste evento o solo já se encontrava bastante saturado, pois já havia ocorrido nove eventos chuvosos anteriores, totalizando 102,6mm até esta data.

Concomitantemente a este fato, a cultura do feijão de vagem encontrava-se após um mês do plantio, bem próximo da proteção máxima que esta cultura poderia exercer sobre o solo. Para BARBOSA (2004), as variações temporais da taxa de erosão e de deposição estão relacionadas à flutuação da área foliar da planta e a umidade antecedente do solo, que controlam as diferentes atividades mecânicas realizadas pelo fluxo de superfície durante o período chuvoso.

5.3.2. Parcela de Plantio Convencional – PC:

Esta parcela representa o plantio convencional praticado na região de Paty do Alferes (RJ), onde o solo é preparado com a utilização de queimada dos restos da cultura anterior, arado com trator morro abaixo com plantio em nível e irrigação por molhamento.

Classicamente, o preparo do solo objetiva: (i) alterar a estrutura de sua camada superficial para facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de ar e água no solo e, assim, criar condições físicas adequadas às sementes e raízes das plantas; (ii) erradicar ervas daninhas, para evitar a competição com a planta em termos de água, nutrientes e, algumas vezes, luz; (iii) manejar os resíduos culturais para permitir condições satisfatórias à semeadura das culturas (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999).

No entanto, na maioria das vezes, esse preparo provoca alterações tais na estrutura da camada arável, que facilita a erosão hídrica das terras agrícolas (BERTOL et al., 1987), como é o caso da aração morro-abaiixo, que não cria obstáculos ao escoamento superficial. Este fato aliado às altas declividades encontradas em Paty do Alferes/RJ e à grande disponibilidade de sedimentos oriundos da aração faz com que grande quantidade de sedimentos seja retirada do solo durante os eventos chuvosos.

Desta forma, de um modo geral, é nesta parcela que se encontram as maiores perdas de solo entre as parcelas que tiveram o solo preparado. Isto é agravado pela época de plantio, pois segundo BENATTI et al. (1977), logo após a aração, quando o solo está solto e desagregado e as plantas ainda não oferecem proteção ao solo é que normalmente ocorrem as chuvas mais intensas. Assim, nesta etapa, a pulverização indiscriminada do solo causada pelas arações sucessivas, deveria ser evitada, substituindo-a eventualmente por uma alternativa ou sistema de cultivo.

Este fato é um indicativo de que o plantio convencional difundido em Paty do Alferes (RJ), quando comparado a outros tipos de plantio, é o mais inadequado para a região, cuja geomorfologia, composta de mares de morro, com altas

declividades e pluviosidade elevada não favorecem esse tipo de plantio, traduzido em prejuízo aos agricultores, que perdem parte de suas lavouras nas chuvas mais intensas.

Entretanto, apesar do plantio convencional ser, dentre as técnicas de plantio aqui testadas, a que mais favoreceu a erosão do solo, ela proporcionou uma grande proteção a ele, quando comparado com a parcela de referência. Enquanto a média de perda de solo era de 20,76 ton/ha na parcela SC, nesta parcela ela é de 0,00642 ton/ha por evento de chuva, ou seja, houve uma redução média de 99,99% nas perdas de solo por erosão. A figura 5.7 apresenta 27 eventos de perda de solo nesta parcela (PC) em ordem cronológica e os totais de chuva diários que ocasionaram estas perdas.

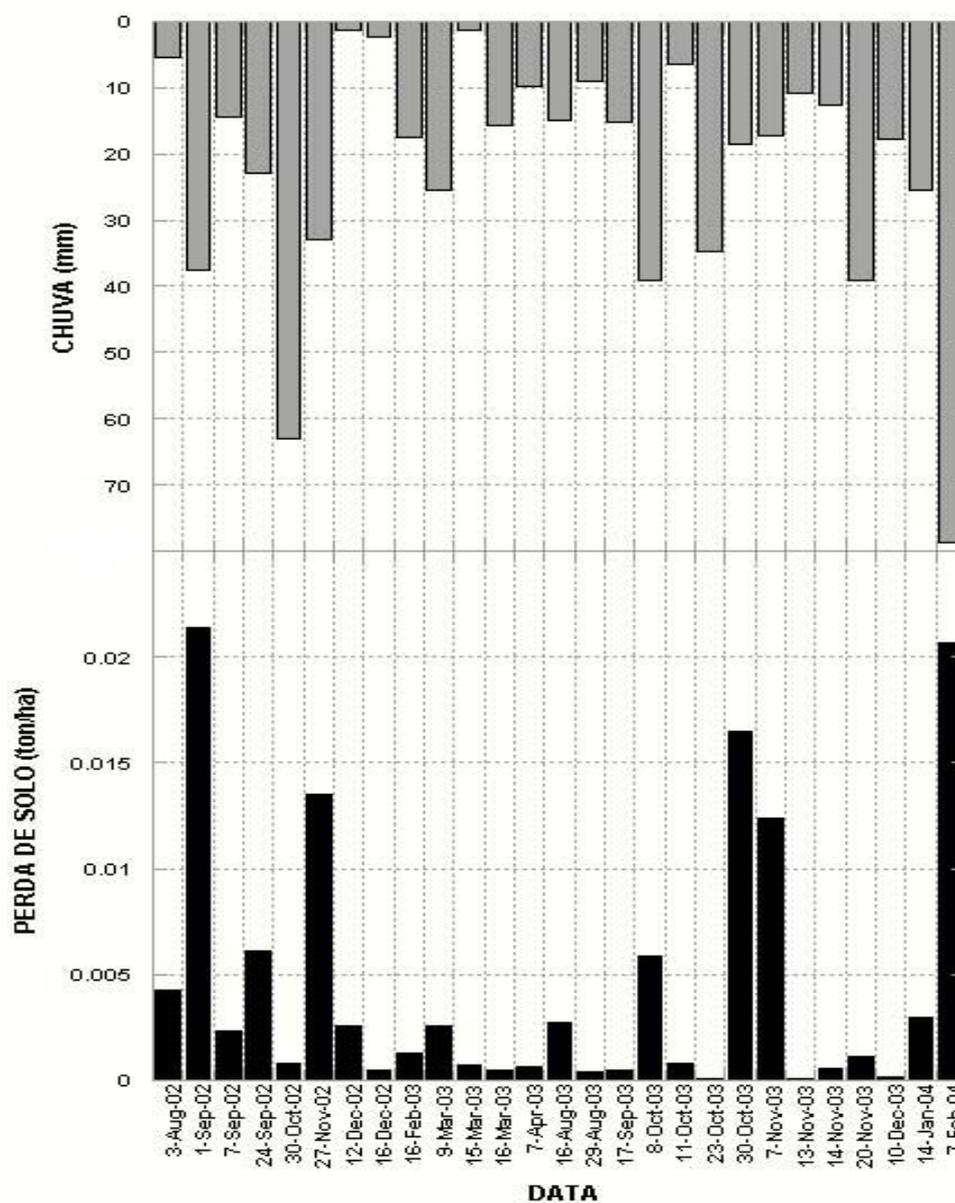


Figura 5.7. Chuva e perda de solo na parcela PC em ordem cronológica.

Assim como na parcela SC, fez-se uma ordenação decrescente dos totais de perda de solo (figura 5.8). Os dados de perda foram então subdivididos em três grupos. No primeiro grupo destacam-se dois eventos de maior magnitude: 01/09/2002 e 07/02/04.

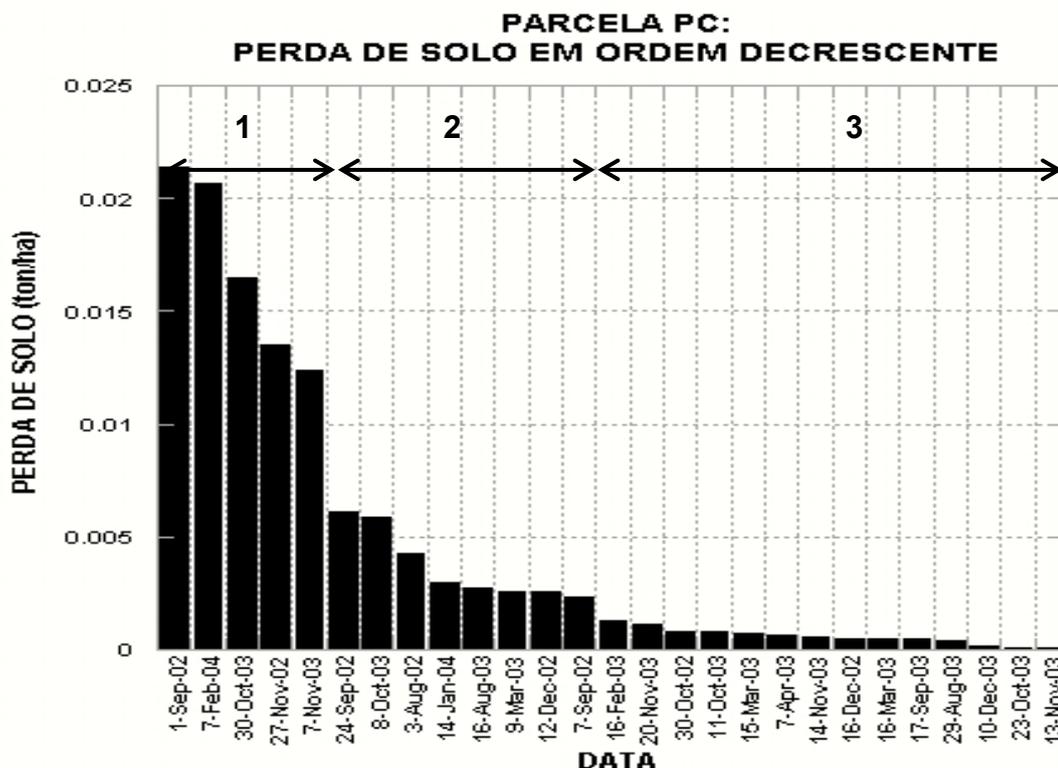


Figura 5.8. Perda de solo na parcela de Plantio Convencional em ordem decrescente de perda.

Na primeira data, final do período seco, o total de perda de solo foi de 0,0214 ton/ha, para uma chuva de 37,6mm. Esta chuva pode ser considerada elevada para este período. Se considerarmos que não houve chuva nos 24 dias que antecederam esta data, pode-se presumir que o solo se encontrava com pouca ou nenhuma umidade antecedente. Desta forma, a quebra e o transporte dos agregados presentes à superfície do solo foi realizada de maneira muito eficiente pela chuva, apesar da presença da cobertura vegetal (o solo ainda se encontrava coberto pela cobertura morta da cultura do feijão, colhido até o final de maio de 2002). Aqui a chuva foi bastante intensa nos primeiros 30 minutos, com intensidade de 28mm/h, aproximadamente, o que lhe confere um caráter bastante erosivo.

Já para o evento do dia 07/02/2004, houve uma perda de solo de 0,02065 ton/ha, para uma chuva de 78,8 mm. O evento ocorreu em plena estação chuvosa e

a chuva apresentou uma altíssima intensidade nos primeiros 30 minutos, perfazendo, cerca de 62mm/h. A chuva só não foi mais catastrófica nesta parcela, em função da cobertura vegetal nela presente, pois ocorreu dois dias antes do início da colheita do feijão de vagem e, portanto, a cobertura do solo pela lavoura era máxima.

Os eventos de perda de solo do grupo 02 são aqueles que se encontram ao redor da média e dentro do espaço do desvio padrão. Neste grupo, a perda de solo máxima ocorreu no dia 24/09/02, final da estação seca, com 0,00613 ton/ha, para uma chuva de 22,8mm. Esta chuva teve sua intensidade máxima próxima ao final do evento, perfazendo aproximadamente 10mm/h. Quando se analisa as chuvas antecedentes, observa-se que no dia anterior ocorreu uma chuva de 4,6mm estando o solo com uma relativa umidade antecedente, o que talvez possa explicar parcialmente a intensidade desta perda. Um outro fator agravante para esta data é que não havia nenhum plantio nas parcelas nesta data e os restos culturais que protegiam o solo haviam sido retirados em meados de setembro, aproximadamente uma semana antes deste evento, deixando o solo desta parcela completamente exposto às intempéries climáticas.

As mesmas condições edáficas e de superfície são aplicadas para o segundo maior evento de perda de solo, ocorrida no dia 08 de outubro de 2003, que teve uma perda de 0,00586 ton/ha. Para a perda de solo do dia 07 de setembro de 2002 (último evento deste grupo), o solo também se encontrava desprotegido. Entretanto, quando esta perda é comparada com a perda do dia 12 de dezembro de 2002 (penúltima deste grupo), é que pode ser observada o papel do preparo do solo para o plantio. Nesta data a perda de solo foi um pouco superior à do dia 07 de setembro, para uma chuva muito inferior (1,3mm). Para 12 de dezembro, o solo

havia sido preparado 15 dias antes do evento e encontrava-se ainda bastante desprotegido, pois o feijão ainda não havia crescido o bastante para fornecer uma proteção efetiva ao solo.

Já os eventos do grupo 03, são aqueles abaixo da média e do desvio padrão para esta parcela. O evento máximo para este grupo ocorreu no dia 16/02/03, com 0,00133 ton/ha, para uma chuva de 17,6mm. Nesta data, a cultura do pimentão já oferecia certa proteção ao solo, pois ele havia sido plantado no dia 19 de dezembro de 2001, e estava próxima ao auge de seu crescimento, o que pode explicar em parte a baixa perda de solo para esta data.

5.3.3. Parcela de Plantio em Nível - PN:

Esta parcela representa o plantio em nível, sem utilização de queimada, arado em nível com junta de boi e com a presença de uma faixa de Capim Colonião com espaçamento aproximado de 3 metros e irrigação por molhamento. De um modo geral, esta parcela encontra-se em níveis intermediários de perda de solo entre as outras duas parcelas com tratamento (PC e PD). O PN apresentou perdas médias de solo inferiores à parcela de plantio convencional, com 0,00543 ton/ha, para uma chuva média de 18,5 mm no período analisado (figura 5.9).

De um modo geral, a partir da figura 5.9, observa-se que na estação seca, que vai de abril a outubro, apesar da diminuição drástica da chuva em relação à estação úmida (novembro a março), acontecem chuvas relativamente intensas e normalmente o solo encontra-se com pouca ou nenhuma proteção exercida pelo cultivo. Esta não é uma época muito propícia ao plantio das holeráceas, devido principalmente à termoperiodicidade elevada. Nesta estação, a ausência de grandes

picos de perda de solo, pode ser atribuído em parte à permanência dos restos culturais nas parcelas após a colheita.

Como pode ser observado pela figura 5.9, o pico máximo de erosão nesta parcela ocorreu no dia 03 de fevereiro de 2004, com 0,01149 ton/ha com uma chuva de 15,6mm. A menor erosão ocorreu no dia 16 de fevereiro, com 0,00018 ton/ha para uma chuva de 17,6mm.

O solo, no auge da estação seca geralmente apresenta-se com baixa umidade e conseqüentemente possui uma grande susceptibilidade à quebra dos agregados superficiais o que, com a chegada das chuvas ocorre facilmente, favorecendo a selagem superficial do solo e conseqüentemente o início do escoamento superficial concentrado e a erosão.

Vale a pena destacar que, durante todo o período de seca, até o início da estação chuvosa, há um grande acúmulo de sedimentos e de matéria seca nas parcelas, carregados pelos ventos, o que pode ter aumentado significativamente as perdas de solo nas chuvas ocorridas após um grande intervalo de seca.

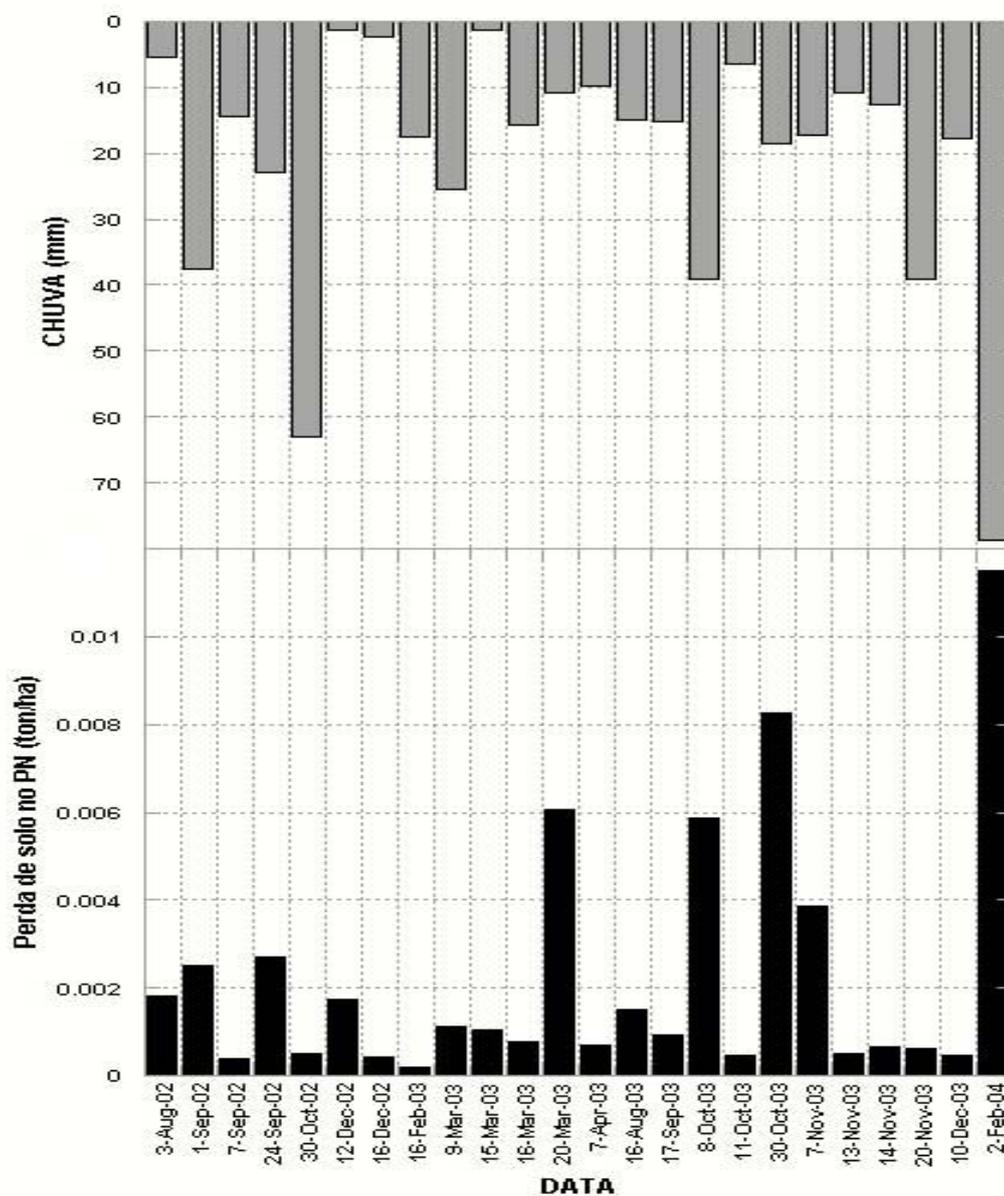


Figura 5.9. Totais de chuva e de perda de solo na parcela PN em ordem cronológica.

Quando se ordena decrescentemente a perda de solo para esta parcela (Figura 5.10), observa-se a presença de três grupos distintos. O primeiro deles é composto por cinco eventos de erosão, que apresentam uma perda de solo superior à média e acima do desvio padrão da série aqui analisada. Nenhum dos eventos de

perda para este grupo ocorreu na estação seca. Todos eles ocorreram na estação chuvosa ou bem próximo ao início ou ao final dela.

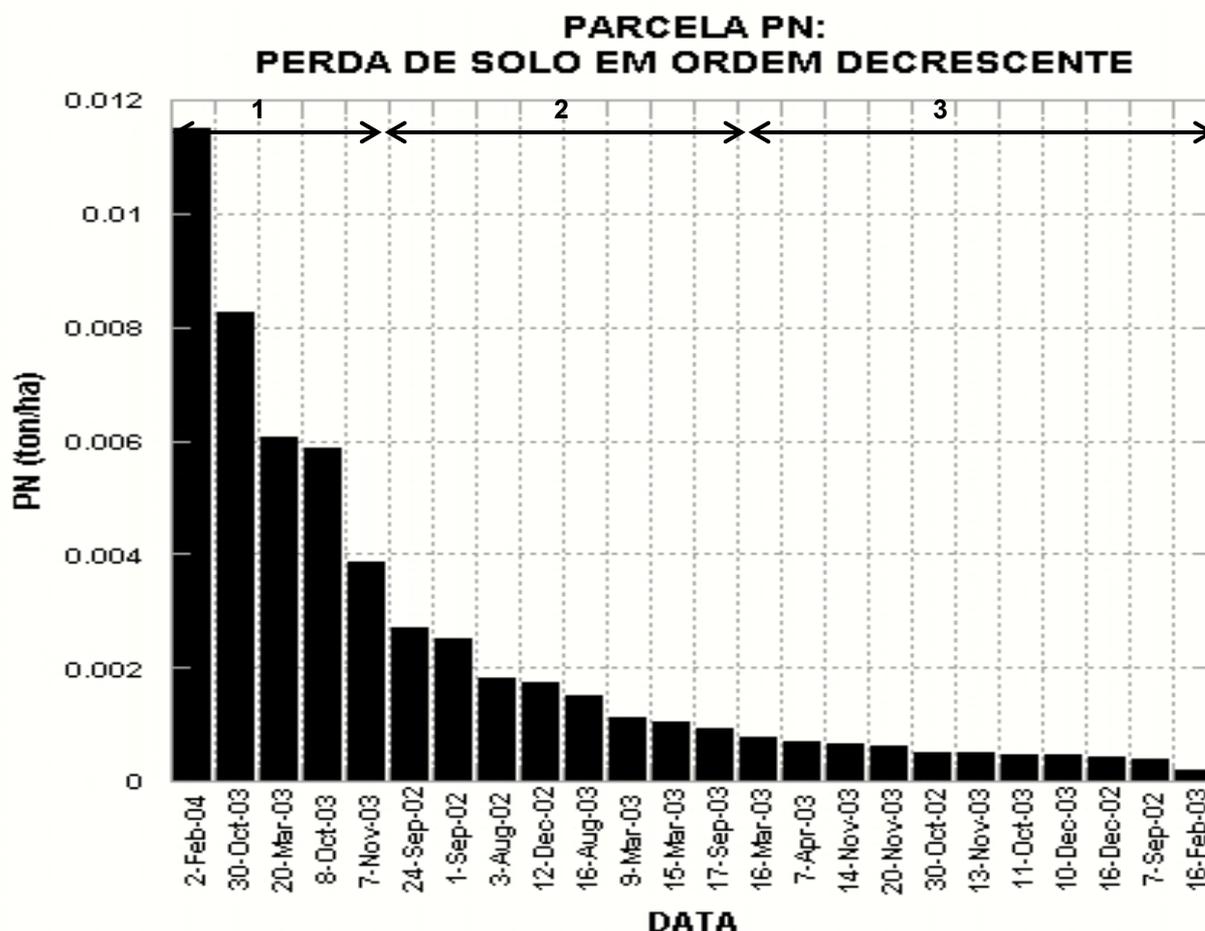


Figura 5.10. Perda de solo na parcela de plantio em nível, ordenada decrescentemente.

O pico máximo de perda de solo deste grupo ocorre em 2 de fevereiro de 2004, apresentando uma perda de solo de 0,01149 ton/ha, para um evento chuvoso de 15,6 mm. Nesta data não era esperado este pico máximo de erosão, pois se encontra próximo à colheita do feijão de vagem, que ocorreu no dia 04 de fevereiro de 2004. Com isso, a cultura exercia a proteção máxima contra o impacto das gotas de chuva sobre o solo. O que talvez possa explicar esta alta taxa de erosão seja a

umidade antecedente do solo e a alta intensidade da chuva (15,2mm nos 10 minutos iniciais, perfazendo uma intensidade de 91,2mm/h).

O evento de perda de solo ocorrido no dia 08 de outubro de 2003 (com uma perda de 0,00586 ton/ha), vale a pena ser mencionado devido ao alto índice pluviométrico para este dia: 39mm (pluviômetro) e de 27,8mm (pluviógrafo) e uma intensidade média de 3,3mm/h, com uma concentração da intensidade na primeira hora e meia da chuva.

O segundo grupo desta série é composto pelos eventos de perda de solo que estão localizados ao redor da média e dentro do intervalo do desvio padrão. Este grupo é formado pelos eventos entre 24 de setembro de 2002 e 17 de setembro de 2003 (figura 5.10). Neste grupo, destacam-se os dois primeiros eventos, com perdas de solo bem superiores ao do restante do grupo 02.

Estes dois eventos ocorreram devido aos altos índices pluviométricos para estes dois dias, de 22,8mm e 37,6mm, respectivamente. Para 24 de setembro de 2002, as parcelas tinham acabado de ser limpas, fazendo com que o solo perdesse toda a proteção sobre ele e, de certa forma, tivesse grande disponibilidade de sedimentos e de matéria seca, devido ao processo de retirada da cobertura morta. Esta chuva pode ser considerada de baixa intensidade (3,3mm) e de longa duração (6h50), mas com o pico de intensidade concentrado nas três últimas horas (de 6h às 9h do dia 25 de setembro de 2002)¹⁰, perfazendo uma intensidade média de 11,9mm.

Para a erosão ocorrida no dia 1º de setembro de 2002 a chuva possuiu uma intensidade concentrada nas duas primeiras horas (aproximadamente 10mm/h),

¹⁰ - Como o pluviômetro só era lido às 9h da manhã e o gráfico do pluviógrafo era trocado às 7h30 do mesmo dia, as chuvas neste intervalo de tempo eram contabilizadas como pertencentes ao dia anterior no pluviógrafo, para adaptá-los às quantidades registradas pelo pluviômetro.

mas encontrou o solo da parcela coberto pelos restos culturais do pimentão. Assim, apesar da chuva de 24 de setembro ter sido superior àquela do dia 1º de setembro, inclusive na intensidade, a perda de solo foi um pouco inferior (0,00269 ton/ha e 0,00251 ton/ha, respectivamente), o que demonstra a importância de se deixar os restos culturais sobre o solo até que um novo cultivo seja implementado.

O grupo 03 é composto pelos menores eventos da série, localizados abaixo da média e do desvio padrão. Neste grupo, vale a pena destacar dois eventos de erosão que aconteceram nos dias 30 de outubro de 2002 e o de 20 de novembro de 2003, devido aos altos índices pluviométricos de 63mm e 39,1mm respectivamente (pluviômetro) e de 50,6mm e de 34,2mm (pluviógrafo), respectivamente. Nestas duas datas o solo permanecia sem restos culturais. Só este fator já seria indicativo de altas taxas de erosão. Entretanto, ao se analisar o volume do escoamento nestes eventos, percebe-se que ele foi baixo (100l e 35l, respectivamente) o que é um indicativo da eficiência das faixas de Capim Colonião presentes nesta parcela e que servem de barreira para o escoamento superficial e sedimentos carregados por ele, quebrando a energia do escoamento superficial e, conseqüentemente, forçando a infiltração e a deposição de material próximo a estas faixas.

5.3.4. Parcela de Plantio Direto - PD:

Nesta parcela de erosão foi adotado o sistema de cultivo mínimo/plantio direto nas covas, sem queima dos resíduos e com preservação da cobertura vegetal nas entrelinhas da cultura e irrigação por molhamento. Segundo SHEAR (1968) o plantio direto consiste em: (i) eliminação da vegetação existente com um herbicida

de pré-emergência; (ii) plantio da semente e colocação de fertilizantes, movimentando o solo o mínimo possível; (iii) colheita.

O Plantio Direto apresentou uma perda média de 0,00139 ton/ha, para uma chuva média de 18,2 mm. O maior pico de erosão ocorreu no dia 02 de fevereiro de 2004, com uma perda de 0,00553 ton/ha, para uma chuva de 15,6mm. A figura 5.11 dispõe os 26 eventos de erosão ordenados cronologicamente e os totais de chuva para o mesmo período.

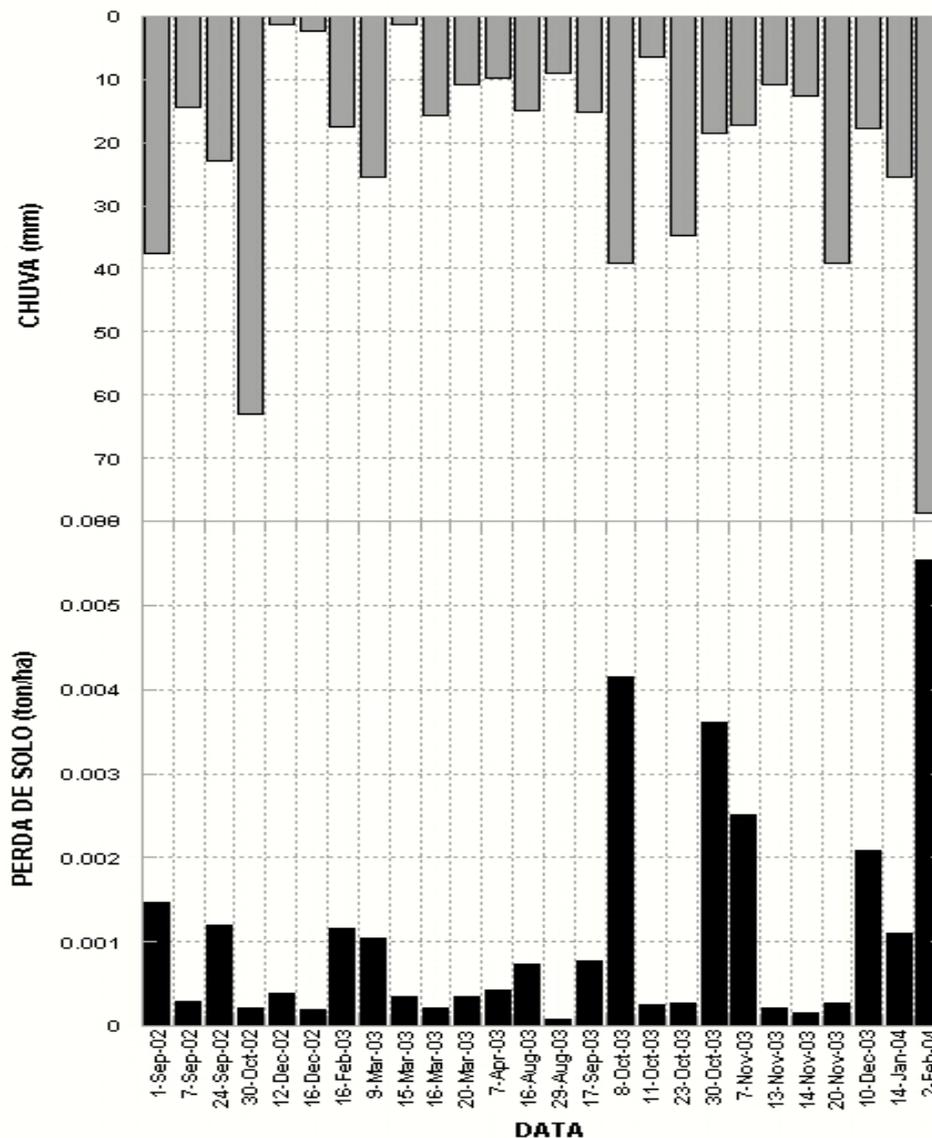


Figura 5.11. Perda de solo na parcela PD ordenada cronologicamente

Quando se dispõe os dados de perda de solo nesta parcela de forma decrescente (figura 5.12), observa-se a existência de três grupos distintos de perda de solo. O grupo 1 são os eventos que estão localizados acima da média de perda de solo e acima do desvio padrão para o período em análise. O grupo dois, formado pelos eventos de erosão ao redor da média e dentro do espaço do desvio padrão e, o grupo 3, formado pelos eventos de erosão que estão localizados abaixo da média de erosão para esta parcela e fora do espaço do desvio padrão.

O primeiro grupo é composto por 3 eventos. Aqui se destacam as perdas de solo ocorridas nos dias 02 de fevereiro de 2004 e 08 de outubro de 2003, com 0,00553 ton/ha, para uma chuva de 78,8mm e 0,00414 ton/ha, para uma chuva de 39mm, respectivamente. Para 02 de fevereiro de 2004 a cobertura vegetal da parcela (plantio do feijão de vagem) exercia a proteção máxima, pois o cultivo encontra-se há 2 dias do início da colheita.

PARCELA PD: PERDA DE SOLO EM ORDEM DECRESCENTE

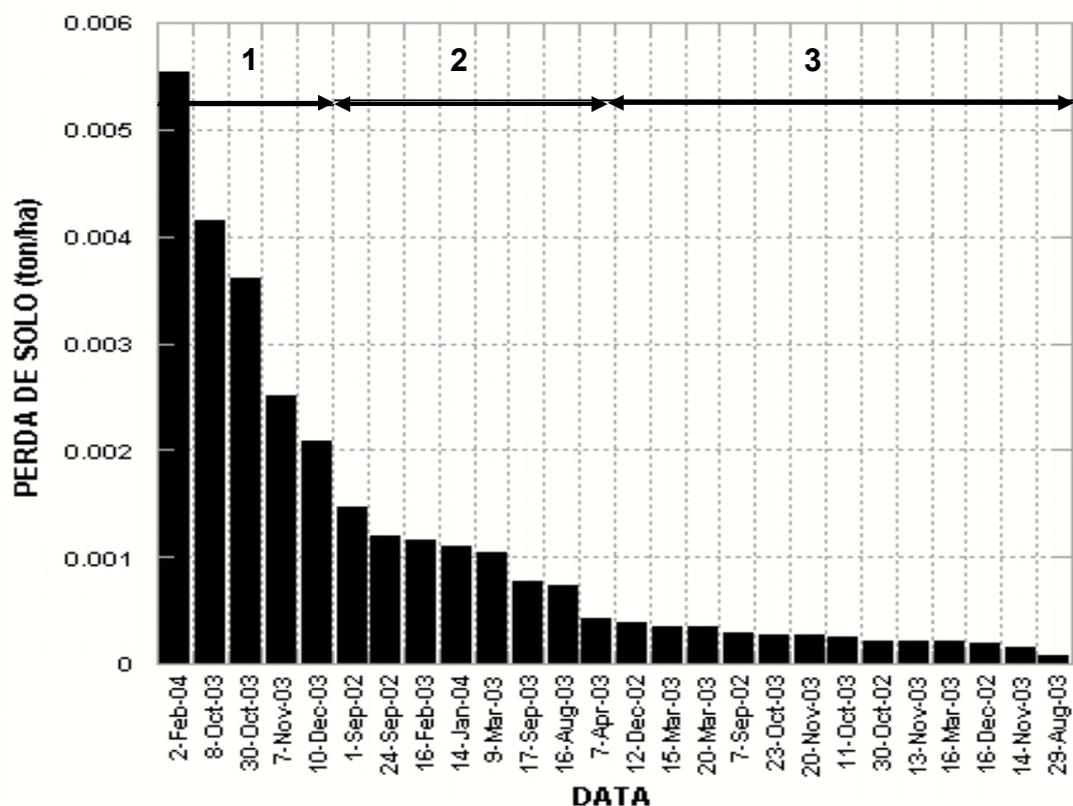


Figura 5.12. Perda de solo na Parcela PD organizados de forma decrescente

Para este evento, o volume do escoamento superficial foi de apenas 22,2l, 32,6% inferior ao escoamento da parcela PN. Cabe aqui destacar que esta parcela, além de ter sido a que apresentou as menores perdas de solo, foi a que obteve, de modo geral, as menores taxas de escoamento superficial. Este fato é um sinal que, após aproximadamente dez anos de cultivo, a cobertura vegetal pode ter melhorado as características físicas do solo, tais como o aumento da porosidade total, como atesta BERTOLINO (2004). Para a autora, a profundidade de 0-11cm apresenta uma estrutura granular e uma porosidade elevada, com macroporos conectados e de vários tamanhos. Na profundidade de 11-22cm o plantio direto apresenta a maior porosidade entre todos os sistemas, com uma estrutura em blocos de fraca a moderada. Na profundidade de 25-36cm, apresenta uma estrutura

mista de blocos e granular, com cavidades interconectadas. Os sistemas de plantio direto e convencional apresentam também estruturas distintas, o que irá refletir no comportamento hidrológico.

Além disso, segundo BERTOL et al. (1987), as perdas de água foram, em geral, mais afetadas pelos métodos de preparo do solo do que pela cobertura vegetal morta, sendo, de qualquer forma, bem menos influenciados pelos tratamentos do que as perdas de solo. Ainda segundo esses mesmos autores, na média geral, de todos os tratamentos, a cobertura do solo de 60% reduziu em 80% as perdas de solo e 20% as perdas de água.

O grupo 2 é formado por 3 eventos de perda de solo, com destaque para o dia 10 de dezembro de 2003, com uma perda de 0,00208 ton/ha para uma chuva de 17,8mm. Entretanto, apesar deste dia possuir a maior perda de solo para este grupo, este apresentou o menor evento de chuva para o grupo. Para esta data, o cultivo do feijão de vagem já começava a exercer uma proteção mais efetiva do solo, tendo em vista que já se passava aproximadamente um mês da data do plantio. A chuva máxima deste grupo ocorreu no dia 01 de setembro de 2002, com 26,2mm e obteve uma perda de 0,00147 ton/ha, seguido pela chuva do dia 24 de setembro de 2002, com 22,8mm para uma perda de solo de 0,00120 ton/ha.

Já para primeiro de setembro de 2002, apesar de não haver nenhum cultivo nas parcelas, os restos culturais do pimentão ainda se encontravam sobre o solo, o que não aconteceu para o dia 24 de setembro de 2002. As chuvas para estes dias tinham desenhos semelhantes (intensidade e duração), não tendo havido também grandes variações nas perdas de solo, devido ao papel preponderante da incorporação dos restos culturais, característico desta técnica de manejo.

O terceiro grupo é composto pelas menores perdas de solo, abaixo da variação esperada dos dados da série. Dentro deste grupo, as maiores perdas foram contabilizadas para os dias 12 de dezembro de 2002 e 15 de março de 2003, com 0,00039 ton/ha e 0,00035 ton/ha, respectivamente. As chuvas para estes dias foram de 49,9mm para 12 de dezembro de 2002 e de 1,2mm para 14 de março de 2003. Para a primeira data, o plantio do feijão de vagem encontrava-se bem próximo à máxima proteção, pois já haviam se passado mais de um mês da época do plantio. Este fato é um demonstrativo da eficiência da cobertura vegetal, bem como desta técnica de cultivo na proteção do solo contra os processos de erosão.

Já para a segunda data, 15 de março de 2003, uma chuva fraca, de 1,2mm foi capaz de provocar a segunda maior erosão para este grupo (0,00035 ton/ha). Nesta data os restos da cultura do feijão já haviam sido retirados e o solo encontrava-se com alto grau de saturação, pois havia chovido 43,7mm nos seis dias que antecederam esta data, o que pode explicar esta taxa de erosão.

5.4. Eficiência das técnicas de manejo (PC, PN e PD) na redução das perdas de solo.

Neste tópico serão comparados os grupos 1, 2 e 3 de perda do solo elaborados no item anterior, entre as quatro parcelas de erosão, de modo a se medir a eficiência da proteção do solo que as técnicas de manejo testadas oferecem, independente do estágio do cultivo.

Pode-se observar através da tabela 5.3 uma diminuição das perdas médias pela erosão da parcela SC em direção à PD para todos os três grupos. De forma geral, a parcela SC apresenta em todos os três grupos, as mais altas taxas de

erosão (tabela 5.3). Esta parcela obteve uma média de perda de solo muito superior às outras parcelas, mesmo não possuindo a maior média de chuva.

A parcela PC apresentou a maior média de perda de solo em relação às outras parcelas que receberam tratamento, ocasionada também pelas maiores médias de chuva para o grupo 1. Este fato pode ser creditado a dois fatores principais: (i) ao tipo de aração, realizado com trator morro abaixo, que além de disponibilizar uma grande quantidade de sedimento a ser erodido na direção do declive (e do escoamento) provoca certo grau de compactação das camadas superficiais do solo, diminuindo sua porosidade total e ampliando a energia e o volume do escoamento superficial e; (ii) ausência de algum tipo de tratamento que pudesse reduzir a força do escoamento superficial, aumentando o tempo para que o escoamento pudesse infiltrar no solo e que filtrasse os sedimentos carregados, tal como algumas faixas de capim colonião, como no tratamento PN. Nos outros grupos a diferença entre médias de chuva entre os tratamentos não foi tão significativo para que, somente este fator explicasse sua supremacia nas taxas médias de erosão para a parcela PC.

MACEDO et al. (1998) afirmam que os valores de densidade encontrados nos latossolos de Paty do Alferes podem ser considerados elevados para esta classe de solo. Para os autores, isto pode estar relacionado ao manejo e à posição geográfica, pois os latossolos desta área estão localizados em região de relevo movimentado, com altas precipitações e intensamente cultivados com preparo do solo morro abaixo. SOUZA (2004) também encontrou resultados semelhantes na mesma área da estação experimental.

TABELA 5.3. Comparação da perda de solo entre as parcelas de erosão, por grupo.

		Perda de Solo Média (ton/ha)	Média de Chuva (mm)¹¹
Grupo 1	SC	38,96	35,3
	PC	0,01689	37,0
	PN	0,01017	21,1
	PD	0,00357	34,3
Grupo 2	SC	16,2	16,7
	PC	0,00369	16,6
	PN	0,00167	15,5
	PD	0,00099	21,1
Grupo 3	SC	4,43	8,4
	PC	0,00058	18,3
	PN	0,00051	19,1
	PD	0,00025	17,1

Este fato pode estar relacionado à ausência de cobertura vegetal que pode acarretar uma compactação e selamento superficial do solo. BERTOLINO (2004) constatou que a porção superficial da parcela SC apresentou a maior densidade aparente entre as diferentes parcelas na profundidade de 0-5 cm ($1,25\text{g/cm}^3$) e as menores em subsuperfície ($1,9$ e $1,32\text{g/cm}^3$).

Vale a pena destacar no grupo 1 a perda média de solo para o PD, foi 64,9% inferior ao PN, para uma chuva média 47,4% superior. Este comportamento também pode ser observado em relação ao PN e PD no grupo 2. Isto pode estar relacionado à menor densidade, dentre as parcelas, na profundidade de 0-5 cm encontrada no PD e que pode estar relacionada às características deste sistema, ou seja, uma maior atividade biológica, raízes e à maior presença de carbono orgânico (TURETTA, 2000; PINHEIRO, 2002; BERTOLINO, 2004).

¹¹ - A média de chuva para cada parcela foi calculada em razão dos eventos de perda de solo e, conseqüentemente suas chuvas, serem diferentes para cada parcela.

Já no grupo 3, uma média de chuva inferior a 50% em relação à chuva das outras parcelas ocasionou uma perda de solo para a parcela SC muito superior à soma da média de perda para as parcelas PC, PN e PD. O PN também apresentou uma perda de solo ligeiramente inferior ao PC, mesmo com uma chuva superior.

A tabela 5.4 apresenta o percentual de eficiência entre os tratamentos dado às parcelas. Assim, os tratamentos foram comparados entre si e em relação a SC para todos os grupos 1, 2 e 3 em relação às perdas médias por erosão. Por ela, pode-se observar que as parcelas PC, PN e PD, em todos os grupos reduziram a erosão em mais de 99,9% em relação à parcela de referência (SC), que permaneceu todo o tempo descoberta e sem irrigação. Disto se conclui que deve se evitar ao máximo deixar a terra descoberta no período de entressafra, optando-se sempre pela permanência dos restos culturais em qualquer manejo adotado. O preparo do solo deve ser feito também sempre de forma a reduzir o tempo de exposição do solo às intempéries climáticas.

TABELA 5.4. Percentual de eficiência entre os tratamentos, por grupos.

		SC	PC	PN
GRUPO 1	PC	99,9570	---	---
	PN	99,9740	94,00	---
	PD	99,9908	97,89	64,90
GRUPO 2	PC	99,9770	---	---
	PN	99,9880	54,74	---
	PD	99,9939	73,19	40,72
GRUPO 3	PC	99,9870	---	---
	PN	99,9880	12,07	---
	PD	99,9944	56,90	50,98

Em relação ao PC, os tratamentos PN e PD, em todos os grupos, também apresentaram uma grande redução da perda de solo. No grupo 1, o PN e o PD reduziram as perdas em 94% e 97,89%, respectivamente, em relação à média de perda para o PC. No grupo 2, esta diferença foi reduzida para 54,74% (PN) e 73,19% (PD). Já no grupo 3, que representa as menores taxas médias de erosão, o PN não apresentou uma eficiência muito significativa em relação ao PC (12,07% de redução). O PD, apesar de ter reduzido sua eficiência, ainda conseguiu reduzir significativamente as perdas, quando comparado ao PC (56,9%).

Isto indica que o plantio convencional praticado (aração com trator morro abaixo com plantio em nível) é o menos adequado para os latossolos da região, normalmente associados a altas declividades (MACEDO et al., 1998). Mesmo com a redução do escoamento superficial ocasionado pelo plantio em nível, a aração morro abaixo predispõe uma perda de sedimentos muito superior às perdas registradas em PN e PD.

O PD, dentre os manejos monitorados, foi o que se apresentou mais eficiente, tendo reduzido as perdas em relação ao PC em 97,89%, 73,19% e 56,9%

nos grupos 1, 2 e 3, respectivamente. Ele também se mostrou bem superior ao PN, tendo reduzido as perdas em 64,0%, 40,72% e 50,98% nos grupos 1, 2 e 3, respectivamente.

5.5. A produtividade das parcelas PC, PN e PD

Para o cálculo da produtividade das parcelas, após cada colheita, em cada uma das parcelas (PC, PN e PD), o produto colhido era pesado. Após todos os dias de colheita os pesos totais eram somados, resultando na produtividade total por parcela.

A tabela 5.5 apresenta os dados de produtividade das culturas da couve-flor, pimentão e feijão de vagem em todas as parcelas plantadas. Foi também calculada a porcentagem da produção das parcelas em relação à que alcançou o maior valor bruto¹².

TABELA 5.5. Produtividade das culturas da couve-flor, pimentão e feijão de vagem nas parcelas PC, PN e PD.

PRODUTO ¹³	PRODUÇÃO NAS PARCELAS DE EROÇÃO					
	PC		PN		PD	
	(kg)	%	(kg)	%	(kg)	%
Couve-Flor¹⁴	171	100	113,8	66,5	105	61,4
Pimentão 1¹⁵	50	100	31,4	62,8	22,4	44,8
Feijão 1¹⁶	86,8	100	80,4	92,63	75,7	87,21
Pimentão 2¹⁷	123,2	100	117,5	95,37	94,2	76,46

¹² - A cultura da couve-flor (Silver Streak) presente nesta tabela não foi incluída entre os cultivos monitorados neste trabalho, mas de posse destes dados, resolveu-se inserí-los somente neste item para a comparação de produtividade das parcelas.

¹³ - Não foi calculada a produtividade para os dois últimos cultivos do feijão de vagem.

¹⁴ - Colheita iniciada em 09 de setembro de 2000 e finalizada em 11 de outubro de 2000.

¹⁵ - Colheita iniciada em 06 de março de 2001 e finalizada em 23 de março de 2001.

¹⁶ - Colheita iniciada em 29 de outubro de 2001 e finalizada em 22 de novembro de 2001.

¹⁷ - Colheita iniciada em 19 de março de 2002 e finalizada em 28 de maio de 2002.

Pela tabela 5.5 pode-se observar que em todos os produtos presentes nela, o PC foi o que apresentou a maior produtividade ao final dos períodos de colheita, seguido pelo PN e depois pelo PD. A maior produtividade da parcela PC em relação ao PD vem se verificando ao longo dos anos e está de acordo com os dados de TURETTA (2000) e SOUZA (2002).

O fato da produtividade ser maior na parcela de plantio convencional pode ser oriundo do modo como a adubação é realizada. Esta é feita conjuntamente com o preparo da terra, sendo revolvido junto com ela. Assim, a incorporação dos adubos nas camadas mais superficiais do solo é realizada de maneira mais eficiente.

Vários fatores interferem diretamente (água, oxigênio, temperatura e a resistência mecânica do solo) ou indiretamente (densidade do solo, textura, agregação, estabilidade do agregado e distribuição do tamanho dos poros) na produtividade do cultivo (LETEY, 1985). Entretanto, vale destacar que o plantio convencional é o tipo de cultivo que gera o maior problema entre as parcelas, através da destruição da estrutura do solo, devido às técnicas empregadas e também por ser realizado morro abaixo, em uma declividade média de 30%, disponibilizando altas taxas de sedimentos e de nutrientes nos cursos d'água.

HERNANI et al (1999) ressaltam que o uso de sistemas convencionais pode elevar as perdas de nutrientes e de matéria orgânica por erosão hídrica, os custos financeiros e os riscos ambientais. Isso se comprova em Paty do Alferes, pois apesar de se obter de imediato uma produtividade mais elevada que os outros sistemas de plantio, o PC tem causado muitas perdas em médio prazo, onde muitos produtores perdem a produtividade das terras em poucos anos de cultivo através da utilização deste sistema.

VIEIRA et al. (1978), trabalhando num solo Laterítico Bruno-Avermelhado distrófico, verificaram que nos sistemas de manejo que envolveram a aração, as perdas de P e matéria orgânica foram, respectivamente, de três a cinco vezes maiores e as de K^+ foram duas vezes menores que o sistema sem preparo. Entretanto, tais tratamentos não diferiram entre si em relação às perdas de Ca^{2+} e de Mg^{2+} .

A baixa produtividade da parcela de Plantio Direto pode ter sido ocasionada pelo próprio tipo de manejo utilizado, devido ao fato da adubação ser jogada sobre as covas, sem revolvimento, o que melhoraria a sua incorporação às camadas superficiais do solo. VIEIRA et al. (1978) ressaltam que nas camadas mais superficiais do solo no plantio direto, os teores de nutrientes e de matéria orgânica tendem a ser, ao longo do tempo, mais elevados do que nos demais sistemas de manejo. Com isso, a enxurrada nas parcelas com plantio direto foi em média mais rica em nutrientes (P, em especial) e em matéria orgânica.

No PD, o fertilizante fosfatado permanece imóvel e concentrado onde é depositado, diminuindo a possibilidade de adsorção específica pelas partículas do solo, mas aumentando a possibilidade de ser carregado enquanto partícula de fertilizante. Segundo VIEIRA et al (1978), embora o plantio direto tenha apresentado, em relação aos demais tratamentos, as maiores concentrações de nutrientes e de matéria orgânica na enxurrada, as suas perdas totais foram, cerca de seis e sete vezes menores que as verificadas no sistema convencional, sem cobertura vegetal. Este carregamento dos nutrientes pelo escoamento superficial pode ser um dos causadores da menor produtividade no PD.

Cabe destacar também que a diferença de produtividade entre o PC e o PD tem diminuído ao longo do tempo. Enquanto que o plantio da couve-flor alcançou

produção de 48,6% a mais no PC em relação ao PN, no último cultivo analisado (Pimentão 2), esta diferença foi de 12,79%. Este aumento de produtividade no PD pode ser oriundo do tempo em que este tipo de plantio foi estabelecido (cerca de 8 anos).

BERTOLINO (2004) verificou uma maior retenção de umidade na parcela PC, como para os cultivos, o teor de umidade presente no solo é de fundamental importância para o desenvolvimento da cultura, este fator pode estar contribuindo para um melhor desenvolvimento das plantas nesta parcela, resultando em uma melhor produtividade. Entretanto, o fato do PC apresentar um maior tempo de saturação e/ou próximo da saturação, resulta em maior frequência dos processos de erosão. O PC também apresentou uma maior compactação, refletido em um menor peso de macro agregados e maior de micro agregados na profundidade de 10-20cm.

Assim, talvez seja interessante questionar se uma maior compactação nos solos desta região poderia vir a trazer um benefício para o desenvolvimento das culturas. Entretanto, BERTOLINO (2004) ressalta que esta análise requer ainda estudos mais aprimorados, pois se torna primordial avaliar com cuidado o limite de compactação que resulte num aumento na retenção de umidade para o cultivo, sem que resulte em aumento dos processos erosivos.

Houve baixa produção para o Pimentão 1 em todas as parcelas e nesse cultivo é que foi detectada a maior diferença de produtividade entre as parcelas. Enquanto este cultivo na parcela PC ficou em 50kg, a parcela PN obteve somente 62,8% (31,4kg) e a parcela PD apenas 44,8% (22,4kg) do obtido em PC. Esta foi a segunda menor produtividade da parcela PD em relação às outras em todos os

experimentos, só sendo superada pelo cultivo do Pimentão 2, com uma diferença de 18,91% em relação ao PN.

A menor diferença de produtividade entre as parcelas ocorreu na cultura do feijão, com a produção de PN apenas 7,33% inferior ao PC e PD com uma produtividade 5,42% abaixo do PN. O cultivo do feijão deu ao PD a melhor produtividade em relação às outras parcelas dentre os cultivos experimentados.

Quando se compara a produtividade nas parcelas com as taxas de perda de solo, observa-se uma correlação inversa destes dois fatores. A parcela PC obteve as maiores taxas de erosão e também a maior produção, enquanto que a parcela PD, que obteve as menores taxas de erosão, também obteve a menor produtividade.

Cabe aqui destacar que a utilização do plantio convencional no município de Paty do Alferes resultou em curto prazo em uma maior produtividade. Entretanto, em conversa com os agricultores locais, observou-se que nos últimos anos as encostas cultivadas com olerícolas vêm perdendo sua produtividade e os processos de erosão vêm aumentando na mesma proporção. Disto se conclui que a utilização de um manejo mais conservacionista, mesmo com uma menor produtividade pode, em longo prazo, trazer maiores benefícios à região.

5.6. Correlação entre perda de solo e o fator de cobertura x manejo

Elaborou-se uma correlação entre o fator de cobertura x manejo e a perda de solo nas parcelas de Plantio Convencional, Plantio em Nível e Plantio Direto, nas diversas fases de crescimento vegetativo:

- ***Plantio/Emergência:*** a duração é de cerca de 15 dias para o feijão e de aproximadamente um mês para o Pimentão. Cabe destacar que a

emergência corresponde ao período entre o plantio da semente até o caule da planta atingir aproximadamente 15cm. A

- cobertura do solo não ultrapassa os 10%, peso igual a 1. Entretanto, como no PD, pelas próprias características deste plantio, optou-se por aumentar o peso da cobertura nesta parcela de 10% para 20%, assumindo um peso 2;
- **Maturação – Fase 1 e Fase 2:** A duração destas fases vai da emergência até o primeiro dia da florada e o período é muito variável, dependendo do tipo de cultura, da quantidade de chuva, insolação e temperatura, dentre outros fatores. Como na florada, a planta atinge o seu crescimento, isto é, uma variação da cobertura de 10 a 100%, atribuiu-se o peso 4 para a *Fase 1* (com exceção do PD, que teve o peso 6 devido aos mesmos fatores da fase anterior), correspondendo a 40% de cobertura e o peso 8, 80% de cobertura para a *Fase 2*;
- **Florada/Colheita:** Estende-se do primeiro dia de florada ao último dia de colheita. O período também depende dos vários fatores supracitados nas fases anteriores. Nesta fase, a planta está no auge do seu crescimento e considerou-se uma cobertura do solo de 100%, atribuindo-se assim o peso 10;
- **Pós-Colheita:** Nesta fase a irrigação do solo é interrompida e a planta começa a murchar e secar. Desta forma, a eficiência da cobertura diminui. Portanto, estipulou-se uma cobertura do solo inferior à fase da *Florada/Colheita*, de 90%, sendo atribuído, conseqüentemente, o peso 9.

Posteriormente à elaboração das fases, estas foram correlacionadas às datas dos eventos de erosão e confeccionados gráficos de correlação entre o fator de Cobertura/Manejo e a perda de solo, como pode ser visto na figura 5.13.

Pelos gráficos (fig 5.13), pode-se observar que a perda de solo nas parcelas PD, PN e PC apresentam correlações inversas entre o fator *Cobertura x Manejo* e a *Perda de solo*. Isto é, demonstram uma tendência à diminuição das perdas de solo por erosão hídrica com o aumento do valor do peso de cobertura e manejo.

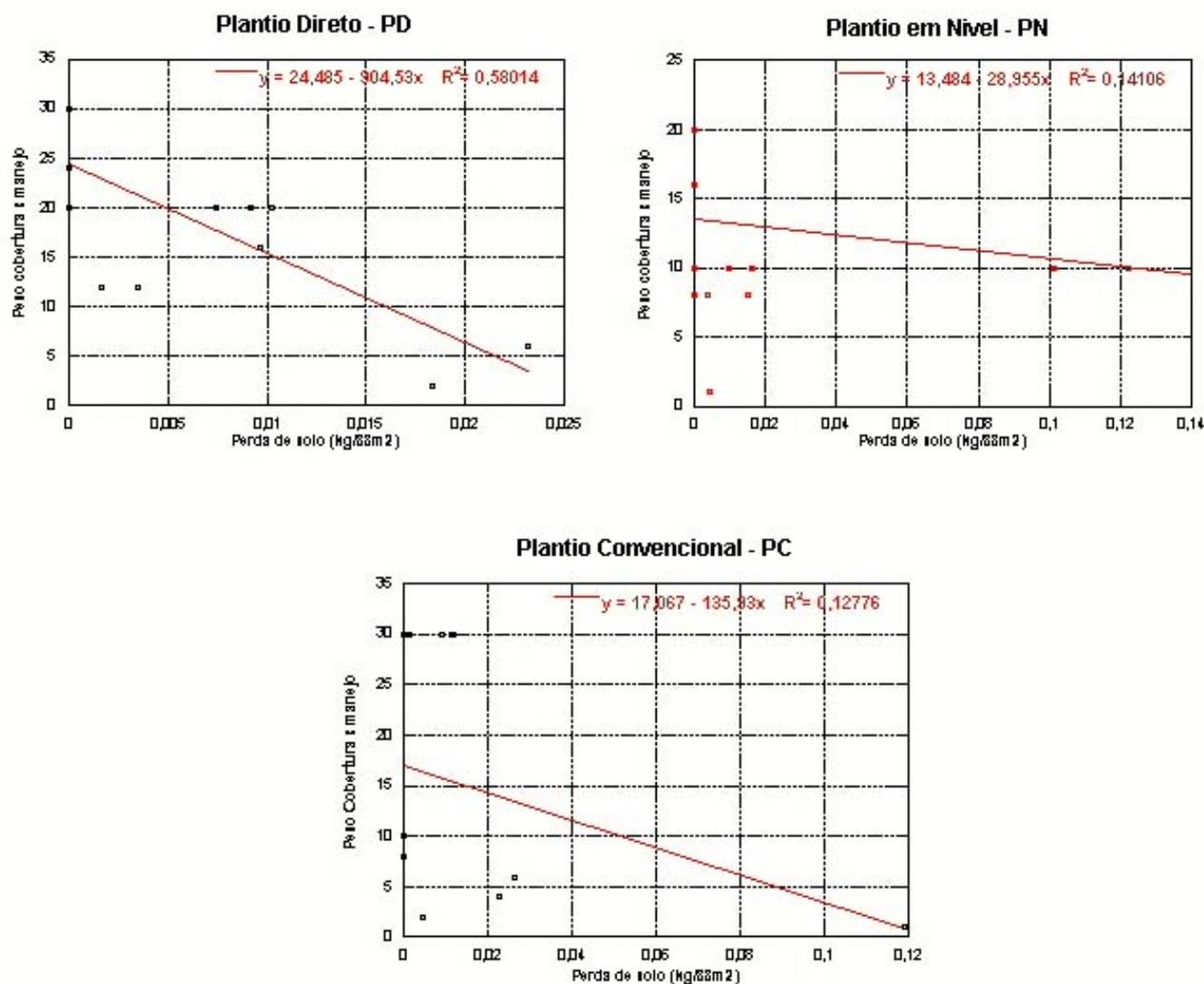


Fig. 5.13. Correlação entre perda do solo e o fator de cobertura e manejo para as parcelas de Plantio Direto (PD), Plantio em Nível (PN) e Plantio Convencional (PC).

Dentre as parcelas analisadas, o PD foi o que apresentou a maior correlação, com um $R^2=0,58014$. Esta pode ser considerada uma correlação muito elevada, tendendo este tipo de plantio a ter aproximadamente 58% de suas perdas explicadas pela cobertura do solo e o manejo agrícola aplicado. Pode-se observar pelo gráfico, que os dados se encontram relativamente bem distribuídos ao longo do eixo de correlação, com uma pequena concentração nas perdas de solo médias (de 0,007 a 0,011kg/88m²) para esta parcela.

VOLK et al. (2000) atribuem a eficácia deste sistema de manejo na redução da erosão à cobertura do solo pelos resíduos culturais, os quais dissiparam a energia cinética da chuva e da enxurrada, reduzindo sua capacidade de desagregação e transporte. É nesta parcela onde se encontra a menor variação da cobertura do solo, devido à permanência dos restos culturais nos cultivos posteriores, tendendo a ser uma explicação para essa alta correlação.

O plantio em nível foi o que apresentou a segunda melhor correlação, mas muito abaixo da do plantio direto, com um $R^2=0,14106$. A tendência aqui é que somente 14,1% da erosão possa ser explicada pelo fator de cobertura x manejo. Na figura 5.13 observa-se que a maior parte dos dados está concentrada nas pequenas perdas de solo. Isto significa que as pequenas taxas de erosão são menos influenciadas pela cobertura do solo, pois há eventos de erosão similares tanto para grandes quanto para pequenos pesos.

Esta parcela é a que possui a segunda maior variação na cobertura vegetal, podendo ser considerada um pouco mais homogênea neste aspecto que a parcela de plantio convencional devido à presença das faixas de capim Colonião a cada 6 ou 7 metros. Estas faixas servem como anteparo à erosão hídrica, diminuindo a energia do escoamento superficial e forçando grande parte do

sedimento a se depositar próximo a elas. De modo geral, estas técnicas de plantio fazem com que durante um determinado tempo, parte do solo fique exposto, o que devido às características do solo, do relevo e do próprio cultivo, podem intensificar o processo de erosão.

A parcela de plantio convencional foi a que apresentou a menor correlação entre a cobertura e manejo e a perda de solo na parcela, com um $R^2=0,12776$. Aqui há uma distribuição dos dados semelhante à parcela de plantio em nível, ou seja, concentrados no começo do eixo de perda de solo. Esta concentração dos dados de perda e cobertura também está presente nos gráficos de correlação entre a perda de solo e os totais de chuva e podem ser oriundas da grande variabilidade da cobertura vegetal.

5.7. Análise do modelo digital do terreno nas parcelas de erosão

O modelo digital do terreno foi confeccionado em dois anos consecutivos (janeiro de 2002 e 2003) e tinha como objetivo verificar o rebaixamento do perfil devido à erosão hídrica. Na figura 5.14 pode-se observar a topografia da vertente através das curvas de nível, dentro e no entorno das parcelas. Nesta figura, estão localizadas também o limite das parcelas, os instrumentos, as faixas de capim Colonião, o pluviógrafo e o ponto do teodolito. A densidade dos pontos no interior das parcelas é muito superior ao do entorno, fazendo com que a topografia do interior das parcelas seja mais detalhada.

A figura 5.15 apresenta estas mesmas áreas renderizadas também para os dois anos. Através delas pode-se observar melhor o maior detalhamento no

interior das parcelas¹⁸. Através desta figura pode-se observar que a parcela de plantio direto apresenta a maior rugosidade superficial. Esta rugosidade pode estar sendo responsável pela maior retenção do fluxo superficial, resultando em uma menor perda de sedimentos nesta parcela.

As parcelas com a segunda e a terceira maiores rugosidades são, respectivamente a PN que apresentou taxas médias de erosão intermediárias entre a PD e a PC (que obteve a menor rugosidade dentre as parcelas que foram cultivadas).

A parcela SC não apresentou rugosidade superficial e alcançou as maiores taxas de erosão entre todas as parcelas.

¹⁸ - Os limites das parcelas nas imagens renderizadas estão suspensos sobre as mesmas, não se encaixando perfeitamente a elas. Isto foi proposital, de modo a permitir uma melhor visualização do interior das mesmas

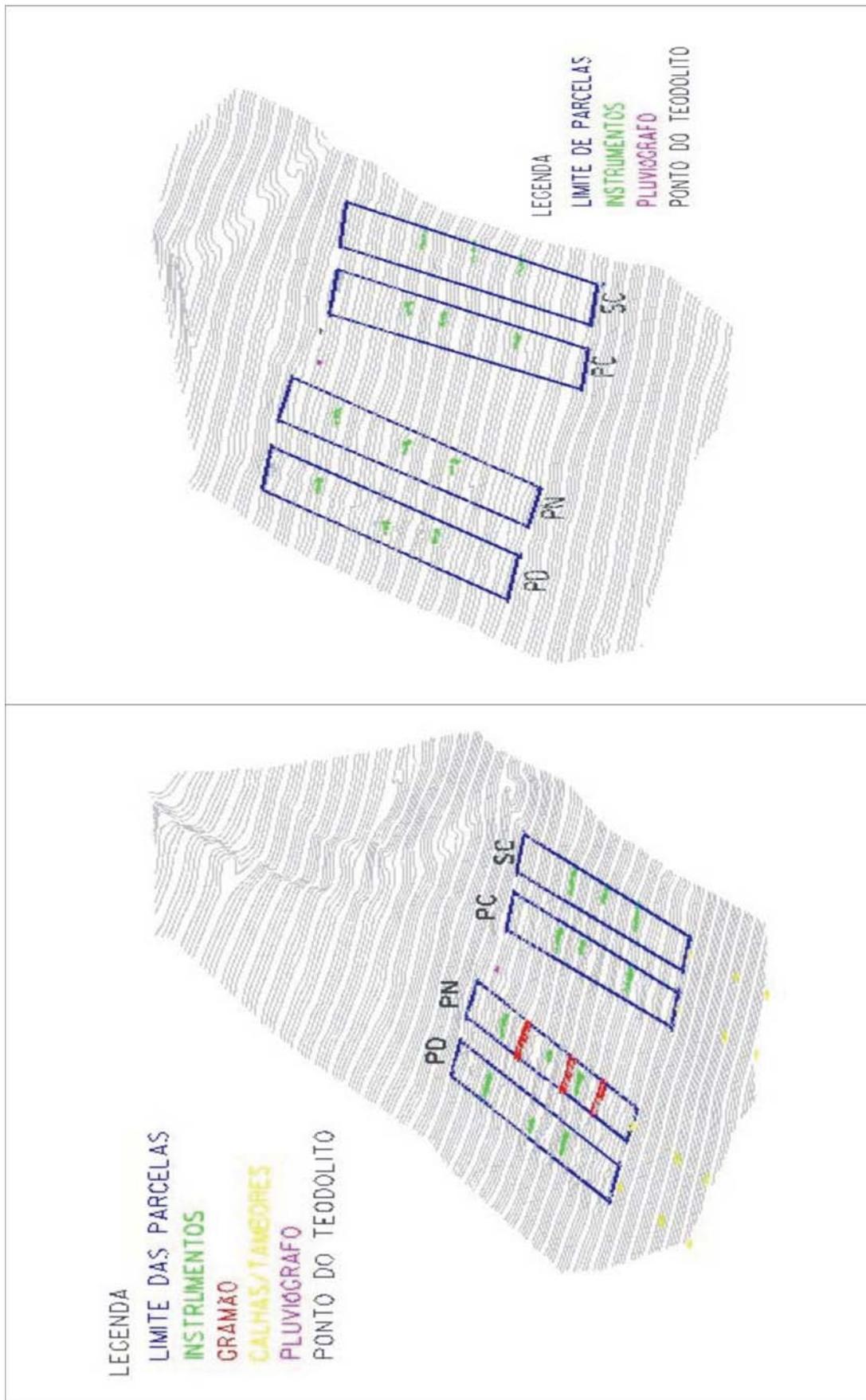
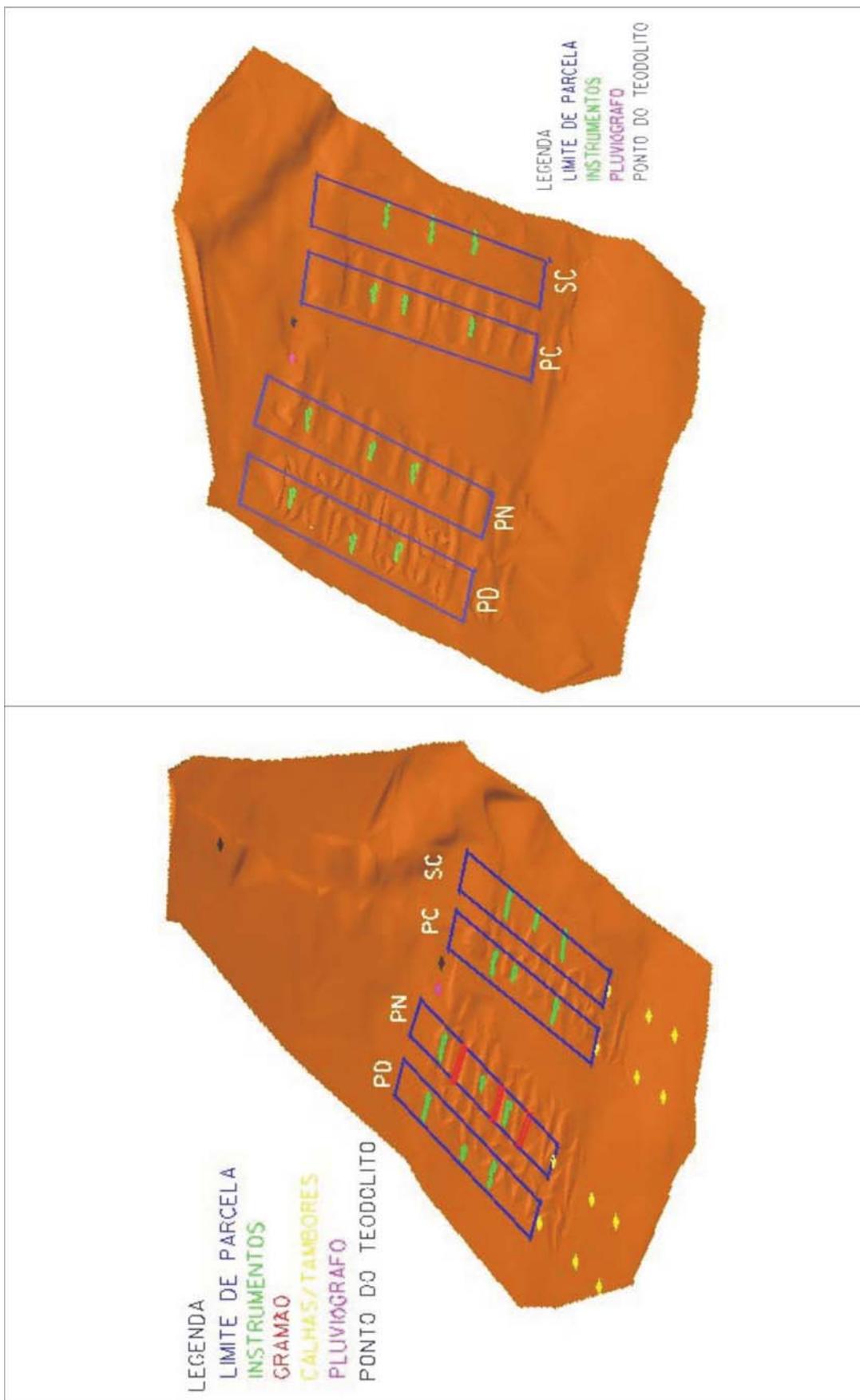


Fig. 5.14. Geração das curvas de linha nas parcelas de erosão e seu entorno a partir do levantamento topográfico realizado nos anos de 2002 (esquerda) e 2003(direita).



A figura 5.16 mostra a alteração do perfil da encosta entre os anos de 2002 e de 2003 para a parcela SC. Pode-se observar que na parcela Sem Cobertura, não

Fig. 5.15. Imagem das parcelas renderizadas. À esquerda o primeiro ano (2002) e à direita, o segundo (2003).

ocorreram áreas de deposição ao longo de todo o perfil. Assim, a perda de solo deu-se por todo o perfil da encosta.

Observando-se mais atentamente o perfil, nota-se uma maior retirada de sedimentos na alta encosta, justamente onde a declividade apresenta-se mais elevada e, na baixa encosta, onde a declividade foi menor, a menor alteração do perfil.

Esta relativa homogeneidade no rebaixamento do perfil para a parcela SC reflete a falta dos morrotes ou camalhões entre as linhas de covas de plantio, que servem para diminuir a força do escoamento superficial, criando zonas de deposição ao longo do perfil e diminuindo assim a erosão do solo e, conseqüentemente, o rebaixamento do perfil.

As figuras 5.17 a 5.19 mostram as áreas de deposição (em azul) e de retirada (em vermelho) para as parcelas que receberam tratamento. No plantio convencional - PC e no plantio em nível - PN (figuras 5.17 e 5.18) pode-se observar que houve uma intercalação entre as áreas de deposição e de retirada de sedimentos, fato esse devido ao tipo de tratamento dado às parcelas, criando morrotes entre as linhas de cultivo.

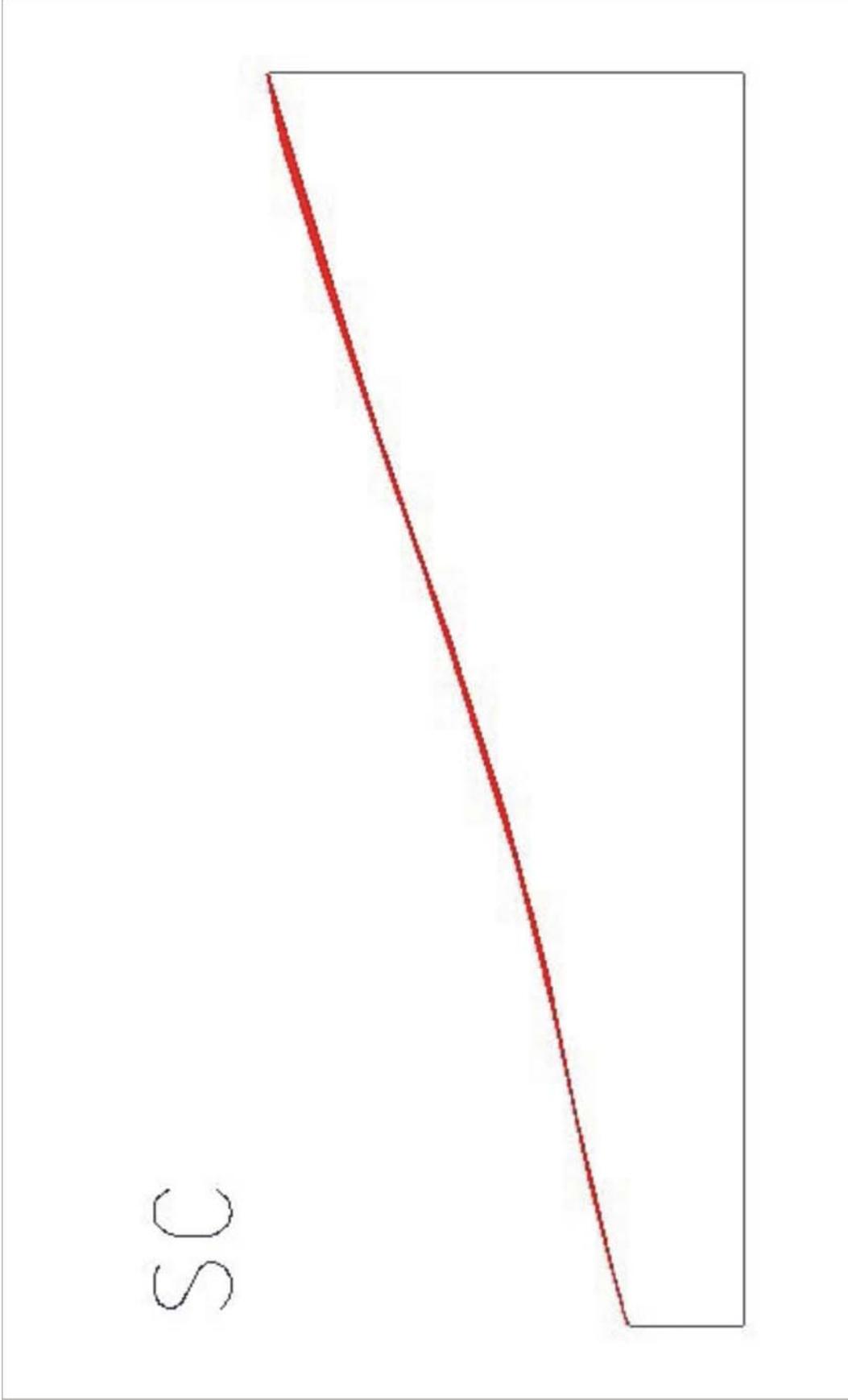


Fig. 5.16. Subtração do perfil do primeiro pelo do segundo levantamento para a Parcela Sem cobertura. A cor vermelha indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003).

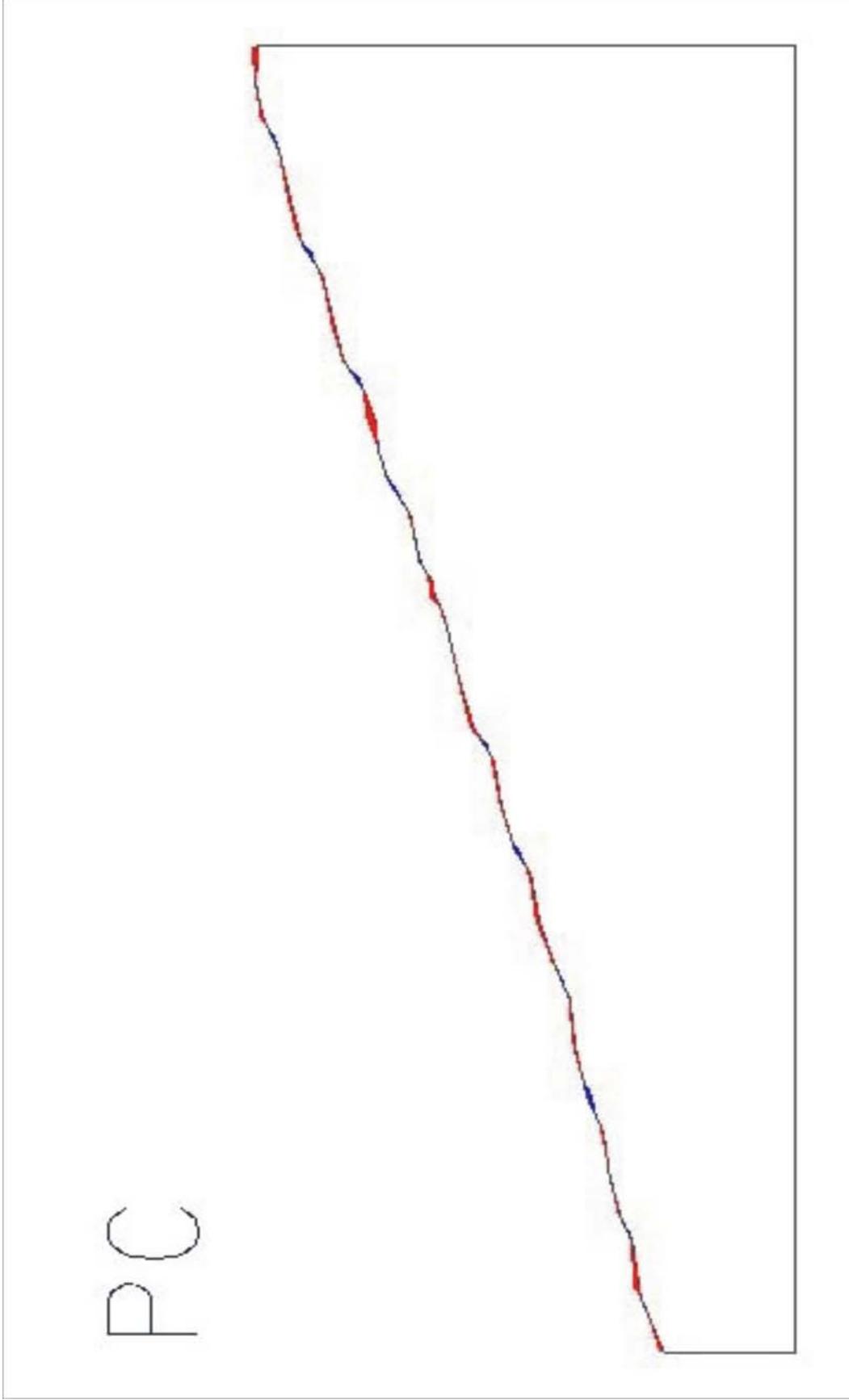


Fig. 5.17. Subtração do perfil do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela de Plantio Convencional. O vermelho indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003) e o azul indica as áreas de deposição.

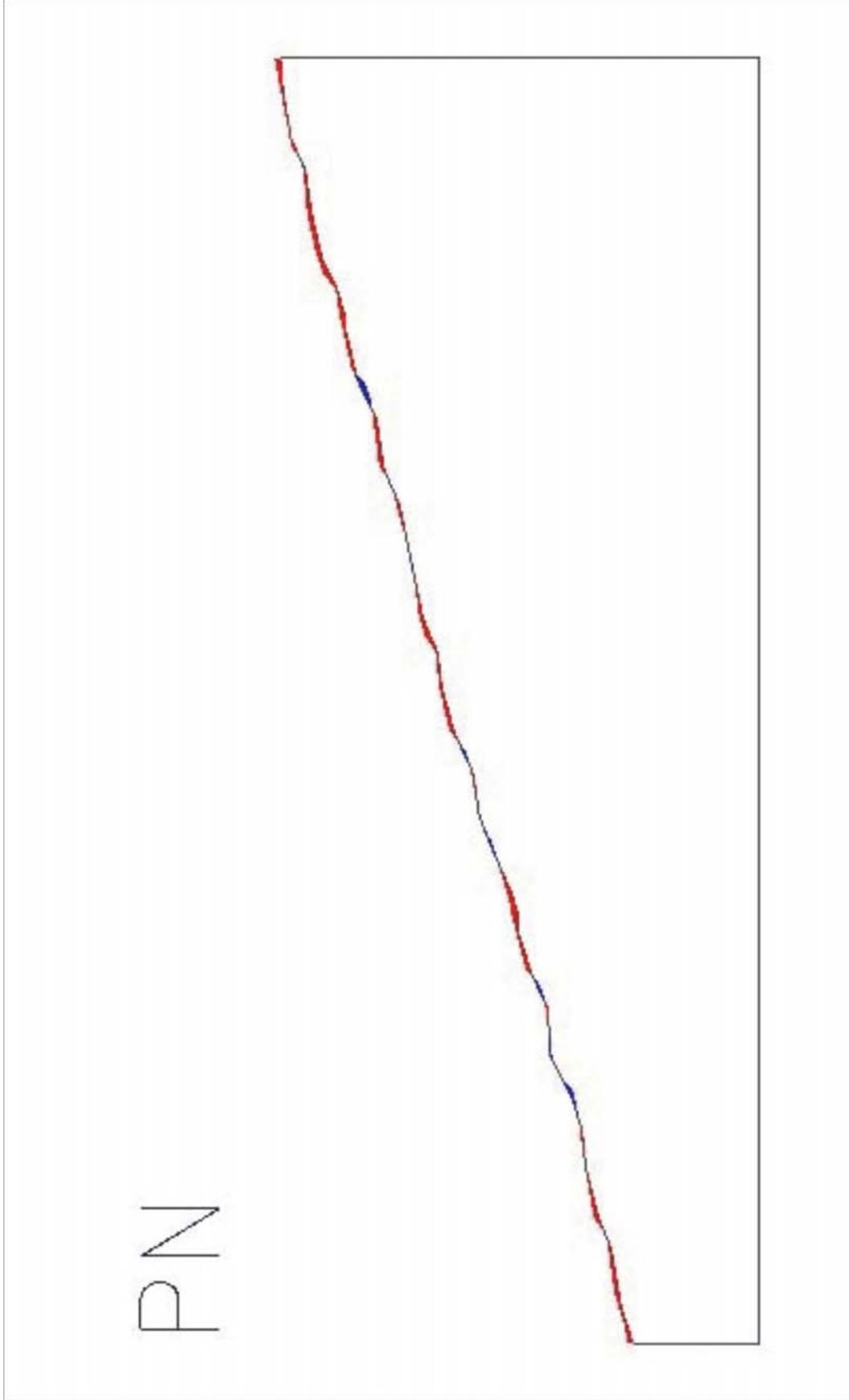


Fig. 5.18. Subtração do perfil do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela de Plantio em Nível. O vermelho indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003) e o azul indica as áreas de deposição.

Já no plantio direto – PD (figura 5.19) há uma predominância das áreas de retirada de sedimentos. Este fato se deve ao não revolvimento da terra entre um plantio e outro. Apesar do menor número de áreas de deposição, o plantio direto foi o que obteve os menores índices de perda de solo e, aparentemente, o maior índice de retirada de sedimentos deu-se prioritariamente nas porções convexas do perfil de encosta.

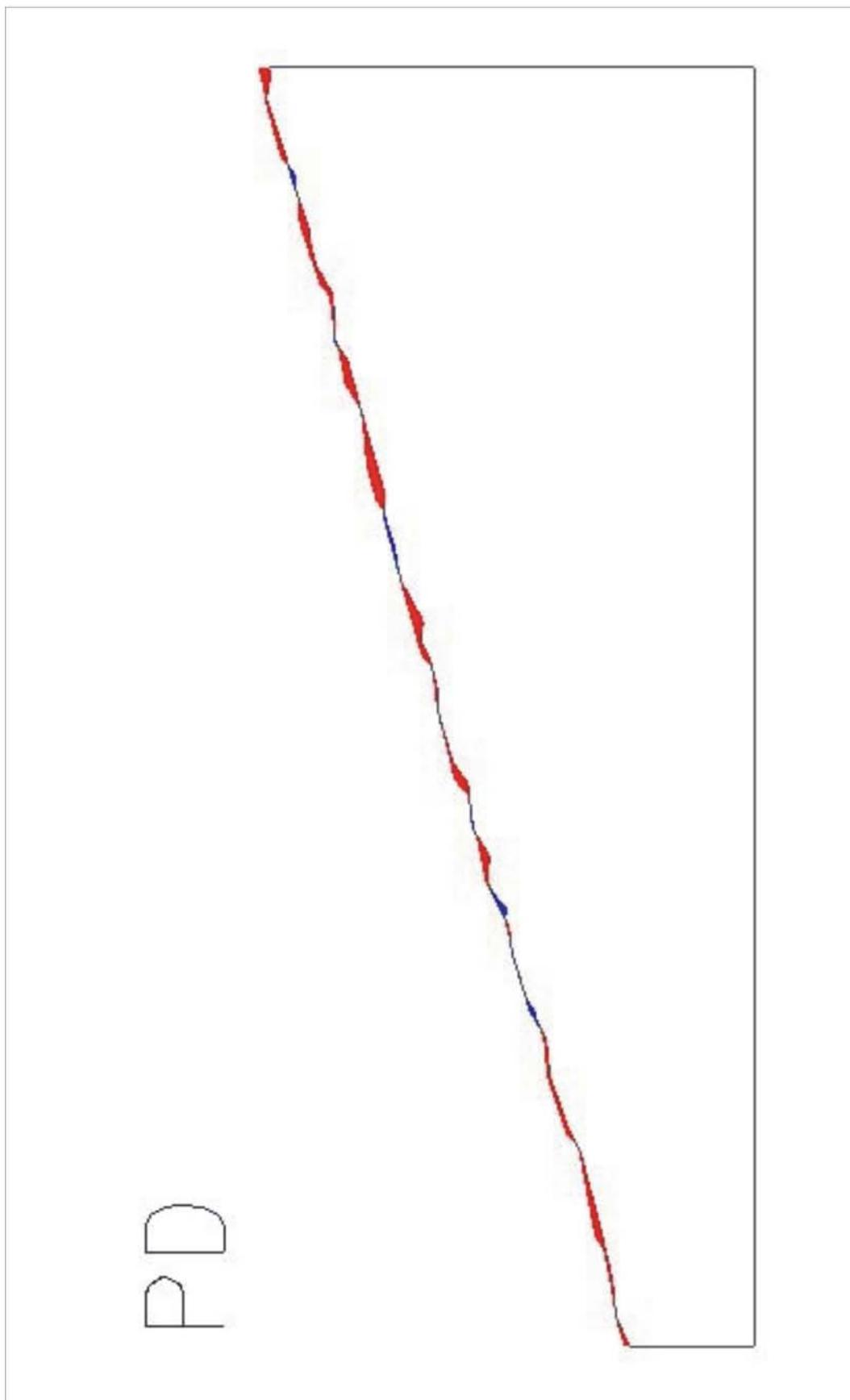


Fig. 5.19. Subtração do perfil de encosta do primeiro pelo segundo levantamento para a parcela de Plantio Direto. O vermelho indica as áreas de retirada de solo entre os dois anos analisados (2002 e 2003) e o azul indicam as áreas de deposição.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da perda de solo em áreas agrícolas através de parcelas de erosão do tipo Wischmeier na Estação Experimental da PESAGRO, em Paty do Alferes, tem revelado aspectos importantes sobre as técnicas agrícolas praticadas na região e o papel do relevo nas taxas de erosão locais bem como a dinâmica destes processos.

Os plantios analisados foram, de um modo geral, cultivados entre os meses de setembro a março, onde tanto a média pluviométrica, quanto o índice de chuva são mais elevados, contribuindo com cerca de 85% de toda a chuva média anual.

É neste período que o solo se encontra parcialmente desprotegido, com os agregados superficiais quebrados e soltos, disponibilizando uma maior quantidade de material a ser carregado pelo escoamento superficial.

Os principais anos monitorados (2001 a 2003) neste trabalho não tiveram médias anuais muito discrepantes. Entretanto, ao se analisar individualmente os meses da estação chuvosa, percebeu-se o mês de novembro/2003 como excepcionalmente chuvoso, o que ocorreu com dezembro de 2001 e 2002.

O mês de dezembro também apresentou os maiores picos de chuva diários, como em 12/dez/02, com 50,2mm e o dia 26/dez/02, com 115mm. Estas chuvas, com potencial erosivo elevado, aliado às altas taxas de declividade da região (aproximadamente 30%), dependendo do estágio em que a cultura se encontra, podem produzir estragos irreparáveis aos cultivos, resultando em graves prejuízos financeiros ao agricultor.

Quando se analisou a correlação entre os totais de chuva e a perda de solo, obteve-se índices muito variáveis (parcela: SC = 0,60918; PC = 0,53192; PN = 0,52116 e; PD = 0,48486). A alta correlação da parcela SC pode ser, em parte, creditada à não variação da cobertura do solo, tendo somente os outros aspectos, tais como a declividade, forma da vertente, etc., como fatores que possam explicar o elevado índice de erosão.

Já para as parcelas PC e PN, as menores correlações podem ser oriundas da grande variação da proteção exercida pela cobertura vegetal durante a fase de crescimento desta. A parcela PD apresentou o menor índice de correlação devido à baixa variabilidade da cobertura vegetal na fase de crescimento¹⁹. O resultado desta correlação discorda com os dados de HUDSON (1961), para o qual, apesar da chuva representar a maior entrada de energia dentro do sistema hidrológico, a correlação direta entre a perda de solo e o total de chuva é baixa, mesmo havendo uma tendência ao aumento da erosão à medida que os totais de chuva aumentam.

Foi verificado que os processos de erosão nas parcelas são extremamente dependente do regime pluviométrico, da proteção exercida pela cobertura vegetal, como foi visto quando se correlacionou o peso da cobertura/manejo e as taxas de erosão. As altas declividades presentes na região também são um fator preponderante no processo de erosão regional. Sendo assim, apesar do salpico possuir um papel primordial no início do processo de erosão nas parcelas, é o escoamento superficial o grande desencadeador da perda de solo, devido não somente aos altos índices pluviométricos, mas também às altas declividades. Isto está de acordo com QUANSAH (1985), que sob condições de

¹⁹ - Os restos culturais dos cultivos anteriores eram incorporados ao novo cultivo.

chuva simulada em declividades de até 10%, observou que o salpico era o principal agente de desagregação, sendo responsável por cerca de 85% das perdas totais de solo. Para ele, ao se aumentar a declividade o salpico vai perdendo importância para o escoamento superficial, como é o caso de Paty do Alferes.

Com relação à perda de solo, observou-se que as quantidades perdidas na parcela SC foram inúmeras vezes superiores às outras parcelas. Este fato demonstra que, devido às altas declividades presentes na área (média de 30%), aliadas à friabilidade dos latossolos e à concentração das chuvas nos meses de novembro a janeiro são desencadeados grandes processos de erosão. Estes sedimentos que deixam as encostas dirigem-se para o leito dos rios da região, assoreando-os e podendo a vir provocar enchentes nos centros urbanos por onde passam. Cabe destacar também que os agrotóxicos presentes nas áreas agrícolas também são levados junto com os sedimentos, poluindo os cursos d' água, agravando ainda mais a degradação do meio ambiente.

Nas parcelas que tiveram o cultivo implantado (PC, PN e PD), observou-se uma eficiência média de 99% no controle da erosão em relação à parcela SC. Este fato é determinante inclusive no plantio convencional, que é arado no sentido do declive, mas com o plantio realizado em curvas de nível. De um modo geral, os camalhões entre as fileiras das covas são responsáveis pelo empoçamento da água, o que diminui sua energia, criando zonas de deposição dos sedimentos, como foi visto nas figuras 5.16 a 5.19, na subtração dos perfis do modelo numérico do terreno.

Enquanto que para a parcela sem cobertura (fig. 5.16) não existem zonas de deposição, só de retirada de sedimentos, nas outras parcelas, estas áreas são

intercaladas, o que pode, dentre outros aspectos, ter sido um dos fatores de diminuição da perda de solo.

O plantio direto, dentre os tratamentos testados, foi o que apresentou a maior eficiência no controle da perda de solo. Este fato pode ser creditado a diversos fatores, como o não revolvimento da terra, à maior cobertura do solo pela vegetação e pela cobertura morta durante todo o ano.

Entretanto, dentre os tratamentos testados, foi o que apresentou a menor produtividade agrícola em todos os cultivos testados. Observou-se também que desde a sua implantação, esta produtividade vem aumentando (era 48,6% inferior ao Plantio Convencional em 2000 e passou para 33,54% em 2002).

A maior produtividade entre os cultivos sempre foi o do plantio convencional. Entretanto, cabe aqui alertar que as elevadas taxas de erosão presentes neste cultivo podem, em médio/longo prazo não somente diminuir a produtividade do cultivo de oleráceas da região (como já vem acontecendo em Paty do Alferes), como inviabilizar financeiramente o seu cultivo. Desta forma, o plantio direto, apesar dos altos custos de implantação e da produtividade inicial inferior ao plantio convencional, deve ser incentivado junto aos agricultores locais, junto com outras técnicas de conservação do solo tais como o consorciamento de culturas, culturas em faixas, manutenção de cobertura morta e quando possível, o terraceamento, de modo a diminuir o efeito do salpico e a energia do escoamento.

O efeito da cobertura foi também empiricamente testado (quadro 4.4 e figura 5.13), apresentando uma relação inversa entre o peso da cobertura/manejo e a perda de solo. Entretanto, somente o plantio direto apresentou uma alta correlação ($r^2 = 0,58014$). Para os outros cultivos, essa correlação foi excessivamente baixa, necessitando de uma reformulação deste índice e de um melhor acompanhamento

do monitoramento passo-a-passo de modo a distribuir melhor os dados nos vários estágios de crescimento da cultura.

Cabe destacar que tanto o trabalho de monitoramento da perda de solo através de parcelas de erosão, bem como o monitoramento climático realizado na estação experimental da PESAGRO, em Avelar (distrito de Paty do Alferes) vêm sendo realizados por 10 e 35 anos respectivamente. Isto gerou e tem gerado diversos trabalhos, teses e dissertações ao longo destes anos e têm se tornado de suma importância na compreensão da dinâmica dos processos de erosão em climas tropicais de relevo acidentado.

Esta longa série de dados também favorece são peças fundamentais à aplicação da modelagem matemática da perda de solo (que exige longos dados históricos) o que ampliaria em muito a compreensão da dinâmica de erosão de encostas de áreas agrícolas, permitindo também fazer previsões de curto e médio prazo.

A longa série de dados levantados neste trabalho também tem servido de base para trabalhos de modelagem que já começaram a ser elaborados por este autor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁDAMO, R. Caracterização hidrológica da zona não saturada do solo em três vertentes localizadas na bacia do ribeirão do Chiqueiro, Gouveia, MG, Serra do Espinhaço Meridional. **Dissertação de mestrado**, IGC/UFMG, Belo Horizonte. 2001. 152p.
- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, JR. Parâmetros erosividade da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada correlacionados com a perda de solo de um luvisolo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 26:695-703, 2002
- ANGULO, R.J.; ROLLOF, G. & SOUZA. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **R. Bras. Ci. Solo**. 8(1):133-138. 1984.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, LP. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 29:425-435. 2005.
- BEASLEY, D.B.; HIGGINS, L.F. ANSWERS (Aerial Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation). User's Manual. **Environmental Protection Agency Report**, nº 905/9-82-001, Chicago, Ill. 1982.
- BEASLEY, D.B.; HUGGINS, L.F.; MONKE, E.J. ANSWERS: a model for watershed planning. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, 1980. 23(4):938-944.
- BENATTI JR, R., J. BERTONI, et al. Perdas por erosão em plantio direto e convencional de milho em dois solos de São Paulo. **Rev. Bras. Ci. Solo**. 1: 121-123. 1977.
- BERTOL, I; SCHICK, J.; BATISTELA, O; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Rev. Bras. Ci. Solo**. 26:455-464, 2002

- BERTOL, I., N. P. COGO, et al. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural do trigo. **Rev. Bras. Ci. Solo.** **11**: 187-192. 1987.
- BERTOLINO, A.V.F.B. Monitoramento dos fluxos de água no solo sob diferentes tipos de manejo e uso – Estação experimental de Avelar (Paty do Alferes). (**Tese de Doutorado em Geografia Física**), UFRJ, Rio de Janeiro. 2004.
- BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico. Campinas, SP, Instituto Agronômico, 1972. 56p. (**Circular, 20**).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Ed. Ícone, São Paulo, 1999. 355p.
- BRADFORD, J. M.; FOSTER, G. R. Interrill soil erosion and slope steepness factors. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **60**:909-915, 1996.
- BRAGAGNOLO, N. and J. MIELNICZUK Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **R. Bras. Ci. Solo.** **14**: 91-98. 1990.
- BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos de um podzólico vermelho-escuro franco-arenoso. Campinas. **R. Bras. Ci. Solo**, **20**:127-134, 1996.
- BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações da erosão entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal. Campinas. **R. Bras. Ci. Solo.** **23**:711-721, 1999.
- BRYAN, R.B.S.; GOVERS, G.; POESEN, J.L. The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application. **Catena**, **16**:393-412. 1989
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP):

primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 13:237-242, 1989

CARVALHO JÚNIOR, W. Modelos de planejamento agrícola conservacionista com suporte de geoprocessamento – estudo de caso nos municípios de Paty do Alferes e Miguel Pereira – RJ, *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1996.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: Alvarez, V. H.; Fontes, L. E. F.; Fontes, M. P. F. (eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. SBCS, *Anais*, 1996. p.732-750.

CIDE. *Estado do Rio de Janeiro: Território*. 2ª ed., Rio de Janeiro, 1998, 80p.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. B. Brasil. Rio de Janeiro, Guerra, A. J. T., Cunha, S. B.: 93-148. 1994.

CUNHA, J.E.; CASTRO, S.S.; SILVEIRA, H.; MACEDO, S.F.; AZEVEDO, L.C. Determination of soil-water matrix potential in two different soils (LE and PE) through tensiometers of mercury nanometer at the northwest area of Paraná State-Brazil. *Proceedings*. Regional Conference on Geomorphology, IAG/UGB, Rio de Janeiro, 54p. 1999.

DE PLOEY, J. Runoff and rill generation on sandy and loamy topsoils. *Zeitschrift Für Geomorphologie, Supplement Band, 46:15-23. 1983*

DE ROO, A. P. J.; HAZELHOFF, L.; BURROUGH, P. A. Soil erosion modeling using ANSWERS and Geographical Information Systems. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 14:517-532, 1989.

DEDECEK, R. A. Coberturas permanentes do solo na erosão sob condições de cerrados. *Pesquisa Agropecuária*. 24: 483-488. 1989

DESUSMO. Development of sustainable farming systems on mountainous low fertility grazing land in South America. *Commition of the Europe communities*,

- R&D Programme "Life sciences and technologies for developing countries".**
1997. 165p.
- DEUS, C.E. O papel da formiga saúva (Gênero ATTA) na hidrologia e erosão dos solos em ambiente de pastagem, Bananal, SP. **Tese de Mestrado** IGEO-UFRJ, 236p. 1991
- DIAS, A.S.; SILVA, J.R.C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): I - distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Abr 2003, vol.27, no.2, p.335-345. ISSN 0100-0683
- DUNNE, T.; DIETRICH, W.E. Formation and controls of channel networks. In: DUNNE, T. **Progress in physical geography**. New York, Cambridge University Press, 1980
- EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EVANS, R. Erosion laminar, arroyuelos e carvacas. In: **Erosion de suelos**. Ed. Limusa S.A. México, DF, 1984. p.141-164
- FAVIS-MORTLOCK, D.T.; GUERRA, J.T. The implications of general circulation model estimates of rainfall for future erosion: a case study from Brazil. **Catena**, 37:329-354. 1999.
- FERNANDES, N. F. Modelagem matemática em geomorfologia: potencialidades e limitações. **Sociedade e Natureza**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1996. p.222-227
- FIGUEIREDO, L. H. A., M. S. DIAS JÚNIOR, et al. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo de um Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**. 24: 487-493. 2000.
- FILGUEIRAS, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.
- FONSECA, O.O.M.; PALMIERI, F.; MACEDO, J. R.; CAPECHE, C.L.; LEMOS, L.A.; SILVA, E.F.; FILHO, C.B.; LUMBREIRAS, J.F.; CALDERANO, S.B.; CUNHA,

- T.J.; LARACH, J.O. Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do córrego da Cachoeira em Paty do Alferes, RJ. Workshop Nacional de Agricultura Sustentável em Regiões Tropicais de Relevo Acidentado, 3, Paty do alferes, **Anais**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. **Hydrological modeling of small watersheds**. A. S. o. A. Engeeniring. St. Joseph: 297-300. 1982.
- FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: Haan, Johnson & Brakensiek (eds.). **Hydrology modeling of small watersheds**. Monograph #5, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1982
- FOSTER, G.R.; LANE, L.J. Beyond the USLE: advancements in soil erosion prediction. In: Boersma (ed.) **Future developments in soil science research**, Madison, Soil Sci. Am. Soc., 1987. p.315-326
- FOSTER, G.R.; LANE, L.J.; NOWLIN, J.D.; LAFLEN, J.M.; YOUNG, R.A. Estimating erosion and sediment yeld on field-sized areas. American Society of Agricultural Engineers, **Am. Soc. Agric. Eng. Trans.** **24**:1253-1262. 1981.
- GOMES, J.B.V., LUMBRERAS, J.F., CUNHA, T.J.F., LARACH, J.O.& PALMIERI, F. Avaliação preliminar da aptidão agrícola das terras para culturas perenes no município de Paty do Alferes e sub-bacias dos afluentes do córrego do sacco-rio Ubá, estado do Rio de Janeiro. *Workshop nacional de agricultura sustentável em regiões tropicais de relevo acidentado*, 3, Paty do Alferes, RJ: **Anais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. . Bertran Brasil, Rio de Janeiro, 1994. 472p.
- HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments**. Academic Press, San Diego, 1994. 588p.
- HAROLD, L.L.; EDWARDS, W.M. A severe rainstorm test of no till corn. **J.Soil and Water Cons.**, Washington, D.C., 20:30-31,1972 (1972)

- HERNANI, L. C., C. H. KURIHARA, et al. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **R. Bras. Ci. Solo**: 145-154. 1999.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainagens basins: hydrophisical approach to quantitative morph. **Geol. Soc. Am. Bufl.**, 56:275-370, 1945.
- HUDSON, N.W. Raindrop size distribution in high intensity storms. **Rhod. J. Agric. Res.**, 1:5-16, 1961
- KNISEL, W.G. (ed.) CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. US Dep. Of Agric. Cons. **Research Report**, 26. USDA-Science and Education Administration, Washington, 1980.
- KRONEN, M. A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná. (**Boletim Técnico**). Londrina, IAPAR, 53p. 1990.
- KUNZMANN, M., PRINZ, D., PALMIERI, F., COELHO, R.G., GOUVEIA, R.F., NÚÑEZ, J.E., EIRA, P.A., LEMOS, A.L., PAULA, J.L. Avaliação da perda de solo para diferentes manejos do solo no município de Paty do Alferes, RJ: um aspecto do projeto Desusmo. *Workshop nacional de agricultura sustentável em regiões tropicais de relevo acidentado*, 3, Paty do Alferes, RJ. **Anais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- LE BISSONNAIS, Y.; SINGER, M.J.; BRADFORD, J.M. Assessment of soil erodibility: the relationship between soil properties, erosion processes and susceptibility to erosion. In: **Temperate plains environment and hills**. Elsevier, 1993.
- LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de Textos. São Paulo, 2002, 178p.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p.277-294, 1985.
- LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas**, Brasil. West Lafayette, Purdue University. 1977.
- LUMBRERAS, J.F., CUNHA, T.J., MARTINS, J.S., PEREIRA, N.S., LARACH, J.I.,

- PALMIERI, F. & CALDERANO, S.B. Levantamento semidetalhado de solos do município de Paty de Alferes e sub-bacias dos afluentes do córrego do saco-rio Ubá, estado do Rio de Janeiro. *Workshop nacional de agricultura sustentável em regiões tropicais de relevo acidentado*, 3, Paty do Alferes, RJ: **Anais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- MACEDO, J.R., PALMIERI, F., PAULA, J.L., FONSECA, O.O.M., CAPECHE, C.L. & SILVA, E.F. Caracterização físico-hídrica dos solos da microbacia córrego da cachoeira, Paty do Alferes, RJ. *Workshop nacional de agricultura sustentável em regiões tropicais de relevo acidentado*, 3, Paty do Alferes, RJ: **Anais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.
- MACHADO, J. A. and A. C. R. BRUM. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 2: 81-84. 1978.
- MARQUES, J.; PINHEIRO, F.M.A. Estudos hidrometeorológicos de Paty do Alferes, RJ: resultados preliminares. *Workshop nacional de agricultura sustentável em regiões tropicais de relevo acidentado*, 3, Paty do Alferes, RJ: **Anais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- MEIN, R.G.; LARSON, C.L. Modeling infiltration during a steady rain. *Water Resources Research*. 9:384-394. 1973
- MORETI, D., A. R. MANNIGEL, et al. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista (SP). *Acta Scientiarum: Agronomy*. 25: 137-145. 2003.
- MORETI, D., M. P. CARVALHO, et al. Importantes características de chuva para conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). *R. Bras. Ci. Solo*. 27: 713-725. 2003.
- MORGAN, R.P.C. *Soil erosion and its control*. New York, VNH Company. 1977
- MORGAN, R.P.C. Establishment of plant cover parameters for modelling splash detachment. In: El Swaify, S.A.; Moulden Hauer, W.C.; Lo, A. (eds.). *Soil erosion and conservation*, Soil Cons. Soc. Am., Iowa. 1986. p.377-383.

- MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK, 198p. 1995.
- MORGAN, R.P.C. The European soil erosion model: an update on its structure and research base. In: Rickson, R.J. (ed.) **Conserving soil resources: European perspectives**. CAB, Wallingford, 1994. p.286-299.
- MOURA, A. R. B. and J. F. D. MEDEIROS. Determinação inicial da erosividade da chuva (fator R) em 1985, em Mossoró (RN). **R. Bras. Ci. Solo**. 11: 229-231. 1987.
- NUÑEZ, J.E.U.; SOBRINHO, N.M.B.; KUNZMANN, M.; PALMIERI, F. Perdas de metais pesados por erosão, influenciado pelo sistema de preparo do solo na micro bacia de Caetés, Paty do Alferes. Workshop Nacional de Agricultura Sustentável em Regiões Tropicais de Relevo Acidentado, 3, Paty do alferes, **Anais**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- ONSTAD, C.A.; FOSTER, G.R. Erosion modeling on a watershed. **Trans. Of the ASAE**, St. Joseph, 18(2):288-292,1975.
- PALMIERI, F. Interações ambientais tendo em vista o desenvolvimento sustentável das micro bacias dos afluentes do córrego do Saco-Rio Ubá nos municípios de Paty do Alferes e Miguel Pereira-RJ. Rio de Janeiro. Embrapa-CNPS- 1998. Tomo I, II e III. 614p. Consórcio Embrapa Solo/UFRJ/UFRRJ/UERJ/UFF/Fiocruz/INT/EMATER-RIO/PMPA. **Relatório Final** ref. Convênio: 66.96.0078.00. Rel. contratação: 312161096. 1988
- PINHEIRO, E. Frações orgânicas e agregação em Latossolo Vermelho em função de sistemas de oleráceas em Paty do Alferes, RJ. **Dissertação de Mestrado em Agronomia**. Instituto de Agronomia. UFRRJ. Seropédica, 2002. 77p
- PORTILHO, S. Perda de solo por escoamento superficial e os padrões de infiltração e percolação da água no solo, micro bacia do córrego Quebra, Gouveia, Espinhaço Meridional, MG. **Dissertação de mestrado**. IGC/UFMG, 2003. 117p.
- QUANSAH, C. Rate of soil detachment by overland flow, with and without rain, and its relationship with discharge, slope steepness and soil type. **Soil erosion and**

- conservation.** S. A. M. El-Swaify, W.C. & LO, A. Iowa, Soil Conservation Society of America: 406-423. 1985.
- RAAP, A. Soil erosion and sedimentation in Tanzania and Lesotho. **Royal Swedish Academy of Sciences**, *Ambio* 4:154-163, 1975.
- RAMALHO, J.F.G.P., SOBRINHO, N.M.B.A., SILVA, F.C. & VELLOSO, A.C.X. Enriquecimento de metais pesados pelo uso de insumos agrícolas na micro bacia de Caetés, Paty do Alferes, RJ. *Workshop nacional de agricultura sustentável em regiões tropicais de relevo acidentado*, 3, Paty do Alferes, RJ: **Anais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-ROM.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIS, G.A.; PORTER, J.P. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, **Journal of Soil and Water Conservation**, 46:30-36. 1991
- REZENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, 11 (128):3-18, 1985
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: CASSIMIRO VAZ COSTA; LUIZ CARLOS VALADARES BORGES. (Org.). *Simpósio sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado* **Anais** 1 ed. Campinas, SP: Fundação Cargil, 1992, p. 32-67.
- RESENDE, M., N. CURTI, et al. **Pedologia: uma base para distinção de ambientes**. Viçosa. 1999
- RHOTON, F.E.; LINDBO, D.L.; ROMKENS, M.J.M. Iron oxides erodibility interations for soils of the Memphis catena. Soil Sci. Soc. of Am. **Proceedings**. 62:1693-1703. 1998
- RICKSON, R.J. Small plot field studies of soil erodibility using a rain fall simulator. In: Sentis (ed.) **Soil Conservation and Productivity**. Maracay, Sociedad Venezolana de la ciencia del suelo:339-348. 1987.

- ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P.; PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 25:147-156, 2001
- SANCHES, G. and J. PUIDEFABREGAS. Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. **Geomorphology**. 9: 243-260. 1994.
- SCHMIDT, J. A mathematical model to simulate rainfall erosion. **Catena Supplement**. 19:145-165. 1991.
- SCHRÖDER, A. WEPP, EUROSEM e E-2D: results of applications at the plot scale. In: Schimidt, J. **Soil Erosion: application of physically based models**. Springer, Berlin, 2000, p.199-250.
- SHEAR, G.M. The development of the no-tillage concept in the United States. **Outlook on Agriculture**. Bracknell, Berks, 5(6):247-251, 1968
- SILVA, R. B., M. S. DIAS JÚNIOR, et al. Influência do tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**. 27: 973-983. 2003.
- SILVA, V. R., D. J. REINERT, et al. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**. 24: 239-249. 2000.
- SOUZA, J.M.P.F. DE. Perdas por erosão e características físico-hídricas de latossolos em função do preparo do solo em oleráceas no ambiente de mar de morros, Paty do Alferes, RJ. **Dissertação de Mestrado**. UFRRJ – Instituto de Agronomia, março de 2004, 92p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. **Conservacion de suelos**. 3. ed. San Jose, Costa Rica: IICA, 1980. 315P.
- THORNES, J.B. Processos erosivos de las corrientes de agua. In: **Erosion de suelos**. Ed. Limusa S.A. México, DF, 1984. p.165-226

- TSEGAYE, T. and R. L. HILL. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. **Soil Sci.** 163: 143-154. 1998.
- TURETTA, A.P.D. Alterações edáficas em função do manejo agrícola de oleráceas em Latossolo vermelho no bioma mata atlântica – Paty do Alferes, RJ. **Tese de Doutorado**. UFRRJ – Instituto de Agronomia, março de 2000, 122p.
- VAL, L. A. et al. Erosividade das chuvas em Lavras (MG). **Ciência e prática.** 10:187-198. 1986.
- VALLEJO, L.R.; VALLEJO, M.S. Aspectos da dinâmica hidrológica em áreas florestadas e suas relações com os processos erosivos: primeiros resultados. **Anais.** IV Simp. Quaternário do Brasil, 1981
- VIEIRA, L.S.; VIEIRA, M DE N.F. **Manual de morfologia e classificação dos solos**. Ed. Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, 1983. 313p.
- VIEIRA, M. J., N. P. COGO, et al. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr) em condições de chuva simulada. **R. Bras. Ci. Solo.** 2: 209-214. 1978.
- VOLK, L. B. S., N. P. COGO, et al. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Rev. Bras. Ci. Solo.** 28: 763-774. 2004.
- WALKER, P.H.; HALL, G.F.; PROTZ, R. Relation between landform parameters and soil properties. Soil Sci. Soc. of Am. **Proceedings.** 32(1):101-104. 1968
- WILLIAMS, J.R. The physical components of the EPIC model. In: El-Swaify, S. A.; Mouldenhauer, W. C.; Lo, A. (eds.) **Soil erosion and conservation**. Soil Cons. Soc. Am. Iowa, p, 272-284, 1985.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. Washington, D.C., **USDA**, 1978, 58p. (Handbook, 537)
- WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. of Am. **Proceedings**, 32(1):131-137. 1969

ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff.
Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich., 21:59-64. 1940.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALBERTS, E.E.; NEARING, M.A.; WELTZ, M.A. RISSE, L.M.; PIERSON, F.B; ZHANG, X.C.; LAFLEN, J.M.; SIMANTON, J.R. Soil component. In: USDA **Technical Documentation**. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.
- ARNOLD, J.G.; WELTZ, M.A.; ALBERTS, E.E.; FLANAGAN, D.C. Plant growth component. In: USDA **Technical Documentation**. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.
- ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R. Stochastic generation of internal storm structure. **Trans. ASAE**, 32(1):161-166.
- ASCOUGH II, J.C.; BAFFAUT, C.; NEARING, M.A.; LIU, B.Y. The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion. **Assae**, 40(4):921-933, Jul.-Aug, 1997.
- BAFFAUT, C.; NEARING, M.A.; GOVERS, G. Statistical distributions of soil los from runoff plots and WEPP model simulations. **Soil Soc. Am. J.** 62:756-763.1998.
- BOARDMAN, J. Soil Erosion by water. **Advances in hill erosion**, John Wiley & Sons, London, (1):489-505, 1996
- CARVALHO, F. L. C., N. P. COGO, et al. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**. 13: 251-257. 1990.
- CHAVES, H. M. L. Adaptação do modelo WEPP para as condições brasileiras. In: Pereira, V.P.; Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. da (eds.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, UNESP/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 1999.
- CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 15:345-350, 1991.
- CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). Campinas, **R. Bras. Ci. Solo**. 15:345-350. 1991.

- CHAVES, H. M. L. Novidades sobre o Water Erosion Prediction Project – WEPP. In: Pereira, V.P.; Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. da (eds.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, UNESP/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 1994a.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo, Edgard Blücher Ltda., 1999. 236p
- D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Editora da UFSC, Florianópolis, 1999, 131p.
- DE ROO, A. P. J.; WESSELING, C. G.; CREMERS, N. H. D. T.; VERZANDVOORT, M. A.; RITSIMA, C. J.; OOSTENDEE, K. LISEM – a physically based model to simulate runoff and soil erosion in catchments: model structure. In: Slaymaker, O. (Ed.). **Geomorphic Hazards**. John Wiley & Sons, p.139-151, 1996
- DUNE, T.; LEOPOLD, L. **Water in environmental planning**. W. H. Freeman, New York, 1978. 818p.
- ELLIOT, W.J.; LIEBENOW, A.M.; LAFLEN, J.M.; KOHL, K.D. **A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments: 1987 and 1988**. W. Lafayette, USDA-ARS, p.422-450, 1989.
- EMBRAPA/SOLOS. Workshop Nacional de Agricultura Sustentável em Regiões Tropicais de Relevo Acidentado. Paty do Alferes, RJ, 1997. **Resumos**. Rio de Janeiro. EMBRAPA/CNPQ, 1998. Cd-rom.
- FLANAGAN, D.C.; ASCOUGH II, J.C.; NICKS, A.D.; NEARING, M.A.; LAFLEN, J.M. Overview of the WEPP Erosion Prediction Model. In: USDA **Technical Documentation**. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.
- FOLLY, A.; QUINTON, J. N.; SMITH, R. E. Evaluation of the EUROSEM model using data from the Catsop watershed, The Netherlands. **Catena**. 37:509-519, Elsevier. 1999
- FOSTER, G.R.; FLANAGAN, D.C.; NEARING, M.A.; LANE, L.J.; RISSE, L.M.; FINKNER, S.C. Hillslope erosion component. In: USDA **Technical Documentation**. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.

- HAAN, C.T. Parametric uncertainty in hydrologic modeling. *Trans. of the ASAE*, St. Joseph, 32(1):137-146, 1989.
- KOTTWITZ, E.R. Irrigation component. In: USDA *Technical Documentation*. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.
- LANE, L.J.; RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; LAFLEN, J.M. Development and application of modern Soil Erosion Prediction Technology: the USDA experience. *Eurasian Soil Science*. 30(5):606-615, 1997.
- MEYER, I.D.; WISCHMEIER, W.H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. of the ASAE*, St. Joseph, 12:754-758.
- MORGAN, R.P.C.; MORGAN, D.D.V.; FINNEY, H.J. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. *Jour. Agric. Eng. Research*. 30:245-253. 1984
- MORGAN, R. P. C. Splash detachment under pant covers: results and implications of a field study. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 25: 987-981. 1982.
- MORGAN, R.P.C. Soil erosion and conservation in Britain. In: Morgan, R.P.C. (ed). *Soil erosion and its control*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, 1986. p160-184
- NEARING, M. A.; FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; FINKNER, S. C. A process-based soil erosion model for USDA – Water Erosion Prediction Project Technology. *Trans. of the ASSAE*, St. Joseph, 32(5): 1587-1593, 1989a.
- NEARING, M.A. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. *Catena*, 32:15-22, 1998
- NEARING, M.A.; PAGE, D.I.; SIMANTON, J.R.; LANE, L.J. Determining erodibility parameters from rangeland field data for a process-based erosion model. *Trans. of the ASAE*, St. Joseph, 32(3):919-924, 1989b.
- RANAIVOSON, A.Z.H.; GUPTA, S.C.; MONCRIEF, J.F. WEPP simulated tillage effects on runoff and sediment losses in a corn-soybean rotation. In: Stott, D.E.; Mohtar, R.H.; Steinhardt, G.C. (eds), sustaining the global farm. *Proceedings*. Purdue University/USDA-ARS, Purdue, 1999, p.877-881

- SAVABI, M.R.; WILLIAMS, J.R. Water balance and percolation. In: USDA **Technical Documentation**. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.
- SMITH, D.D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, Mich., 1941. 22:173-175
- STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. Scope and objective of monograph. In: Stewart, B.A.; Nielsen, D.R. (eds). **Irrigation of Agricultural Crops**. Agronomy Monograph, 30, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 1990
- STONE, J.J.; LANE, L.J.; SHIREY, E.D.; HERNANDEZ, M. Hillslope surface hydrology. In: USDA **Technical Documentation**. NSERL Report, 10, West Lafayette, 1995.
- STROO, H.F.; BRISTOW, K.L.; ELLIOTT, L.F.; Papendick, R.I.; Campbell, G.S. Predicting rates of wheat residue decomposition. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 53:91-99.
- USDA, **WEPP user summary**. Flanagan, D. C.; Livingstone, S. J. (eds.), West Lafayette, 1995.
- WILLIAMS, J.R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. **USDA-ARS Handbook S-40**, p.244-252. 1975.
- WILLIAMS, J.R.; JONES, C.A; KINIRY, J.R.; SPANEL, D.A. The EPIC crop growth model. **Trans. ASAE**. 32(2):497-511. 1989.
- ZELEKE, G. Application and adaptation of WEPP to the traditional farming systems of the ethiopian highlands. In: Stott, D.E.; Mohtar, R.H.; Steinhardt, G.C. (eds), sustaining the global farm. **Proceedings**. Purdue University/USDA-ARS, Purdue, 1999, p.903-912

ANEXO 01:
**Tabelas de totais pluviométricos, perda de
solo, intensidade e duração dos eventos
chuvosos**

TABELA DE TOTAIS DE CHUVA, INTENSIDADE, DURAÇÃO E PERDA DE SOLO NAS PARCELAS							
DATA	Volume Pluviógrafo (mm)	Intensidade Pluviógrafo (mm/h)	Duração da chuva (min)	PARCELAS (ton/ha)			
				SC	PC	PN	PD
3-ago-02	4,8	1,80	160	9,87998	0,00430	0,00183	0,00072
1-set-02	26,5	6,55	240	43,16585	0,02139	0,00251	0,00147
7-set-02	12,0	6,00	120	11,54881	0,00237	0,00039	0,00029
24-set-02	20,6	2,90	420	30,43585	0,00613	0,00269	0,00112
30-out-02	60,2	8,00	450	34,75717	0,01648	0,00826	0,00360
13-nov-02	7,5	1,90	240	11,92250	0,00079	0,00050	0,00022
27-nov-02	32,8	21,90	90	51,68351	0,01354	0,02005	0,00264
12-dez-02	50,2	4,00	760	40,41403	0,00258	0,00172	0,00039
16-dez-02	1,3	0,40	220	0,06837	0,00052	0,00042	0,00020
18/jan/03	19,7	2,40	500	2,36953	0,00383	0,00348	0,00267
23-jan-03	2,2	13,20	10			0,00029	
15/fev/03	17,6	1,5	690	22,12187	0,00102	0,00139	0,00084
16-fev-03	14,3	17,16	50	6,32519	0,00133	0,00181	0,00116
9-mar-03	22,7	2,40	570	11,92024	0,00126	0,00113	0,00104
15-mar-03	1,2	0,60	120	3,86665	0,00076	0,00103	0,00035
16-mar-03	15,8	1,30	720	11,43064	0,00046	0,00077	0,00021
20-mar-03	10,9	3,00	220	27,05210	0,07181	0,00606	0,00034
5-abr-03	10,0	12,00	50	0,70795			
7-abr-03	7,7	1,70	280	0,56075	0,00063	0,00069	0,00043
16-ago-03				30,01388	0,00270	0,00149	0,00073
29-ago-03	8,6	0,80	660	0,45365	0,00037		0,00008
17-set-03	13,0	3,40	230	6,92377	0,00046	0,00094	0,00078
8-out-03	27,8	3,00	560	43,54196	0,00586	0,00414	0,00145
11-out-03	5,5	2,40	140	7,36107	0,00078	0,00047	0,00025
23-out-03	28,2	2,40	700	18,03482	0,00011		0,00028
30-out-03	16,4	2,20	450	34,67048	0,01648	0,00826	0,00360
7/out/03	26,2	5,07	310		0,12370	0,00386	0,00251
13-nov-03	10,9	5,90	110	11,92250	0,00079	0,00050	0,00022
14/nov/03	10,6	7,95	80	19,33238	0,00056	0,00064	0,00016
20-nov-03	34,2	5,10	400	32,14976	0,00109	0,00062	0,00028
26-nov-03	4,2	1,00	250	50,93726	0,01354	0,02005	0,00264
10-dez-03	14,2	14,20	60	12,86225	0,00013	0,00046	0,00208
14-jan-04	24,8	1,70	870	3,30704	0,00298	0,02550	0,00110
2-fev-04	15,6	13,40	70			0,01149	0,00553
7-fev-04	78,8	10,70	440	0,17898	0,02065		

TABELA DE PERDA DE SOLO E ALTURA DO PLUVIÔMETRO E DO PLUVIÓGRAFO

DATA	ALTURA PLUVIÔMETRO (mm)	ALTURA PLUVIÓGRAFO (mm)	PERDA DE SOLO NAS PARCELAS (Ton/ha)			
			SC	PC	PN	PD
4-jan		10,4				
9-jan	0.4	0.6				
13-jan	0.2	0,3				
14-jan	27.3	24,0				
15-jan	3.4	3,0				
16-jan	2.6	1,1				
17-jan	0.8	0,4				
18-jan	0.4	0,2				
19-jan	23.2	15,4				
20-jan	1.5	1,5				
23-jan	1.8	0,8				
24-jan	19.7	28,3				
25-jan	5.0	5,0				
26-jan	18.4	19,2				
28-jan		0,2				
30-jan	35.6					
2-fev	5.8	5,8				
3-fev	6.7	6,1				
4-fev	0.7	0,4				
9-fev	1.0	1,1				
10-fev	17.3	15,6				
11-fev	5.1	4,8				
15-fev	2.3	2,0				
16-fev	1.0	0,8				
17-fev	8.5	7,9				
18-fev	0.2					
19-fev		0,4				
20-fev	7.8	7,4				
21-fev	22.7	22,7				
22-fev	0.5	0,5				
24-fev	14.2	12,5				
26-fev	0.6	0,3				
3-mar	0.6	0,6				
15-mar	3.7	3,0				
16-mar	4.0	3,9				

19-mar	1.6	3,0				
21-mar	15.7	12,7				
25-mar	27.1	23,0				
26-mar	36.7	35,4				
27-mar	4.3	4,3				
4-abr	9.8	11,5				
28-abr	1.2	1,2				
2-mai	18,8	16,4				
3-mai	32,1	29,6				
4-mai	1,1					
10-mai	2,6	2,4				
20-mai	7,4	6,8				
22-mai	1,1	0,8				
12-jul		11,6				
13-jul		12,8				
31-jul		0,4				
2-ago	8,4	7,9				
3-ago	5,3	4,2	9,78998	0,00430	0,00183	0,00072
4-ago	17,1	15,8				
7-ago	3,0	1,8				
1-set	37,6	26,5	43,16585	0,02139	0,00251	0,00147
2-set	3,5	4,0				
7-set	14,4	11,2	11,54881	0,00237	0,00039	0,00029
8-set	0,6	0,8				
9-set	0,2					
10-set	8,1	8,4				
15-set	0,6	0,3				
21-set	1,8	1,6				
23-set	4,6	4,0				
24-set	22,8	22,8	30,43585	0,00613	0,00269	0,00112
25-set	2,3	2,2				
2-out	9,2	8,9				
22-out		0,6				
26-out	4,2	4,1				
30-out	63,0	61,2	34,77105	0,27932	0,01648	0,00360
31-out	1,0	1,0				
1-nov	0,5	0,4				
5-nov	8,4	8,4				
6-nov	9,0	8,0				
7-nov	0,5	0,1				
12-nov	2,5	2,4				
13-nov	6,6	7,5	11,92250	0,00079	0,00050	0,00022
14-nov	17,1	16,8				

	16-nov	34,8	34,6				
	17-nov	2,2	2,2				
	18-nov	3,8	3,8				
	19-nov	1,0	1,0				
	22-nov	0,6	0,4				
	23-nov	0,6	0,6				
	24-nov	16,2	14,4	0,03490	0,00607	0,00479	0,00101
	27-nov	39,2	32,8	51,68351	0,01354	0,02005	0,00264
	3-dez	11,2	10,0				
	4-dez	0,2	0,2				
	6-dez	1,5	1,4				
	9-dez	5,4	2,4				
	10-dez	4,5	7,5				
	12-dez	49,9	50,2	40,33861	0,00258	0,00172	0,00039
	13-dez	19,4	19,9				
	14-dez	0,6	0,4				
	15-dez	9,9	10,0				
	16-dez	1,3	1,3	0,06837	0,00052	0,00042	0,00020
	17-dez	27,2	28,8				
	21-dez	10,1	10,2				
	25-dez	9,0	10,0				
	26-dez	127,9	115,0				
2003	4-jan	12,0	10,7				
	5-jan	7,8	7,8				
	6-jan	5,3	4,1				
	7-jan	12,4	13,2	0,02229	0,00019	0,00015	0,00000
	11-jan	63,5	66,4				
	12-jan	0,3	0,3				
	13-jan	2,9	2,3				
	14-jan	20,8	4,2				
	17-jan	23,6	24,6				
	18-jan	19,7	20,02	2,36953	0,00383	0,00348	0,00267
	19-jan	67,5	68,1				
	20-jan	1,0	0,8				
	22-jan	29,8	29,8				
	23-jan	2,4	2,2			0,00029	
	25-jan	10,8	9,6				
	27-jan	33,9	28,1				
	28-jan	31,0	29,9				
	29-jan	23,6	23,5				
30-jan	30,2	27,5					
31-jan	4,8	3,0					
	6-fev		3,1				

15-fev		17,6	22,12187	0,00102	0,00139	0,00084
16-fev		14,3	6,32519	0,00133	0,00181	0,00116
18-fev		14,3				
19-fev		2,5				
20-fev		0,6				
4-mar	6.3	2,6				
9-mar	25.4	22,7	11,92024	0,00126	0,00113	0,00104
10-mar	1.9	1,2				
11-mar	9.7	10,8				
13-mar	5.5	4,2				
14-mar	1.2	1,0				
15-mar	0.7	1,2	3,86665	0,00076	0,00103	0,00035
16-mar	15.0	15,8	11,43064	0,00046	0,00077	0,00021
17-mar	15.8	14,4				
18-mar	1.6	1,1				
19-mar	2.3	1,4				
20-mar	10.9	10,9	27,00260	0,07181	0,00606	0,00034
21-mar	1.4					
22-mar	30.6					
23-mar	1.0					
5-abr	8.4	10,0	0,70795			
7-abr	9.7	7,7	0,56075	0,00063	0,00069	0,00043
11-abr	18.5	15,5				
3-mai	2.7	1,4				
6-mai	11.0	10,4				
7-mai	3.5	2,8				
24-mai	0.9					
9-jun	0.2					
12-jul	2.8					
13-jul	5.9					
3-ago			9,87998	0,00430	0,00183	0,07228
10-ago	1.8					
16-ago	15.0		30,01388	0,00270	0,00149	0,00073
17-ago	0.8	13,0				
26-ago	14.8	11,8				
27-ago	0.5	0,4				
29-ago	9.1	8,6	0,45365	0,00037		0,00008
1-set			43,16585	0,00146	0,00015	0,00009
4-set	0.2					
7-set			11,54881	0,00237	0,00039	0,00029
14-set	4.6	4,2				
17-set	15.3		6,92377	0,00046	0,00094	0,00078
24-set			30,43585	0,00038	0,00269	0,00112

	30-set	8.4	26,2				
	8-out	39.0	27,8	43,54196	0,00586	0,00414	0,00145
	9-out	20.6	18,8				
	10-out	3.3	3,2				
	11-out	6.4	5,5	7,36107	0,00078	0,00047	0,00025
	12-out	27.5	26,4				
	23-out	34.8	26,2	18,03482	0,00011		0,00028
	24-out	9.2	11,9				
	30-out	18.5	16,4	34,67048	0,01648	0,00826	0,00360
	2-nov	10.3	9,4				
	4-nov	1.3	1,6				
	7-nov	17.3	17,2	0,09893	0,01237	0,00386	0,00251
	8-nov	47.6	45,8				
	13-nov		10,9	11,92250	0,00079	0,00050	0,00022
	14-nov	12.6	10,8	19,33238	0,00056	0,00064	0,00016
	18-nov	5.9	5,3				
	20-nov	39.1	33,8	32,14976	0,00109	0,00620	0,00028
	21-nov	16.0	16,0				
	26-nov	5.0	4,2				
	27-nov	7.5	5,9				
	28-nov	1.5	1,4				
	29-nov	37.5	35,0				
	30-nov	3.2	4,0				
	1-dez	8.2	7,0				
	2-dez	11.2	12,3				
	3-dez	4.0	1,3				
	4-dez	17.2	15,8				
	5-dez	10.0	10,0				
	6-dez	1.2	1,2				
	7-dez	3.7	5,3				
	8-dez	2.6	2,2				
	10-dez	17.8	14,2	12,86225	0,00013	0,00046	0,00208
	11-dez	1.4	1,6				
	22-dez	4.3	4,0				
	24-dez	0.8	0,6				
	26-dez	0.4	0,4				
	27-dez	7.0	7,0				
	31-dez	11.7	12,8				
204	1-jan	4.8	6,1				
	2-jan	17.3	14,8				
	3-jan	0.6					
	4-jan	3.5	3,4				
	5-jan	3.0	3,0				

8-jan	5.2	5,7				
9-jan	18.5	18,6				
10-jan	20.5	17,0				
14-jan	25.4	24,1	3,30704	0,00298	0,02550	0,00110
15-jan	8.5	9,6				
16-jan	10.0	10,0				
17-jan	1.0	1,0				
2-fev		5,6			0,01149	0,00553
7-fev		78,8	0,17898	0,02065		

TABELA DE PESAGEM DAS AMOSTRAS E CÁLCULO DA PERDA DE SOLO

DATA	PARCELA	ALTURA DA AMOSTRA	VOLUME TOTAL AMOSTRA (l)	VOLUME DO ESCOAMENTO (l)	CONCENTRAÇÃO (g/1000ml)	# BECKER	PESO BECKER	PESO TOTAL AMOSTRA	PESO AMOSTRA SECA	PESO AMOSTRA - BECKER (g)	PERDA (Kg/88m2)	PERDA (ton/ha)
3-ago-02	SC	cx. 37cx.m	1,200	370,00	0.282	4	286,98	1447,19	568,96	281,98	86,94383333	9,8799811
	PC	b 39 cm	1,195	31,19	0.001	5	280,58	1250,23	282,03	1,45	0,03784561	0,0043006
	PN	b 31cm	1,268	24,03	0.001	6	235,90	1209,64	236,75	0,85	0,01610844	0,0018305
	PD	b 39cm	1,275	31,19	0.000	10	265,04	1247,22	265,30	0,26	0,00636031	0,0007228
1-set-02	SC	c 36cm	1,150	360,00	1,21300	11	268,35	2011,25	1481,79	1.213,44	379,85947826	43,1658498
	PC	cx. 11,5cm	1,228	115,00	0,00200	12	272,48	1265,43	274,49	2,01	0,18823290	0,0213901
	C	cx. 4,5cm	1,200	45,00	0,00100	13	272,31	1267,88	272,90	0,59	0,02212500	0,0025142
	PD	cx. 5,5cm	1,150	55,00	0,00000	14	275,58	1263,19	275,85	0,27	0,01291304	0,0014674
7-set-02	SC	cx. 37cm	1,198	370,00	0,32900	15	278,49	1456,34	607,55	329,06	101,62954925	11,5488124
	PC	b. 33,5cm	1,241	26,12	0,00100	16	270,53	1268,52	271,52	0,99	0,02083707	0,0023678
	PN	b. 25cm	1,261	18,81	0,00000	17	275,34	1263,92	275,57	0,23	0,00343085	0,0003899
	PD	b. 25,5cm	1,288	19,22	0,00000	18	268,70	1251,65	268,87	0,17	0,00253680	0,0002883
24-set-02	SC	cx. 36cm	1,274	360,00	0,94800	19	275,11	1852,83	1222,95	947,84	267,83547881	30,4358499
	PC	cx. 6,5cm	1,290	65,00	0,00100	20	273,02	1260,59	274,09	1,07	0,05391473	0,0061267
	PN	b. 40cm	1,284	32,05	0,00100	1	270,04	1252,36	270,99	0,95	0,02371301	0,0026947
	PD	b. 40cm	1,267	32,05	0,00000	2	270,84	1254,48	271,23	0,39	0,00986543	0,0011211
30-out-02	SC	cx. 38cm	1,252	380,00	1,00000	5	280,58	1881,95	1280,22	999,64	303,40511182	34,7571700
		cx. 25cm	1,286	362,50	0,00900	3	259,27	1239,08	267,99	8,72	2,45800933	
	PC	cx. 16cm	1,280	160,00	0,00100	10	265,04	1231,78	266,20	1,16	0,14500000	0,0164773
	PN	cx. 10cm	1,100	100,00	0,00100	12	272,48	1247,69	273,28	0,80	0,07272727	0,0082645
	PD	cx. 11cm	1,286	110,00	0,00000	13	272,31	1261,98	272,68	0,37	0,03164852	0,0035964
13-nov-02	SC	cx. 38cm	1,100	380,00	0,30400	14	275,58	1451,66	579,29	303,71	104,91800000	11,9225000
	PC	b. 34cm	1,066	26,63	0,00000	17	275,34	1265,06	275,62	0,28	0,00699475	0,0007949
	PN	b. 30cm	1,091	23,07	0,00000	16	270,53	1265,68	270,74	0,21	0,00444060	0,0005046
	PD	b. 28cm	1,108	21,34	0,00000	18	268,70	1254,78	268,80	0,10	0,00192599	0,0002189
26-nov-02	SC	cx. 38cm	1,095	380,00	1,25000	20	273,02	2040,70	1522,63	1.249,61	433,65461187	51,6835100
		cx. 36cm	1,080	522,00	0,04400	27	252,54	1263,48	296,32	43,78	21,16033333	
	PC	cx. 10cm	1,041	100,00	0,00100	28	255,57	1232,13	256,81	1,24	0,11911623	0,0135359
	PN	cx. 6cm	1,027	60,00	0,00300	29	252,22	1241,69	255,24	3,02	0,17643622	0,0200496
	PD	cx. 7cm	1,024	70,00	0,00000	30	239,68	1214,14	240,02	0,34	0,02324219	0,0026412
12-dez-02	SC	cx. 38cm	1,118	380,00	1,04100	1	270,04	1899,77	1310,93	1.040,89	353,79087657	40,4140300
		cx. 29cm	1,100	420,50	0,00300	2	270,84	1247,25	273,95	3,11	1,18886818	
	PC	cx. 11cm	1,116	110,00	0,00000	3	259,27	1242,88	259,50	0,23	0,02267025	0,0025762
	PN	cx. 7cm	1,110	70,00	0,00000	4	286,98	1265,89	287,22	0,24	0,01513514	0,0017199
	PD	cx. 8cm	1,158	80,00	0,00000	5	280,58	1259,02	280,63	0,05	0,00345423	0,0003925
16-dez-02	SC	cx. 38cm	1,061	380,00	0,00200	32	294,72	1273,26	296,40	1,68	0,60169651	0,0683746
	PC	cx. 7cm	1,080	70,00	0,00000	31	292,17	1290,61	292,24	0,07	0,00453704	0,0005156

	PN	b. 42cm	1,092	33,84	0,00000	33	322,65	1311,13	322,77	0,12	0,00371868	0,0004226
	PD	b. 41cm	1,132	32,93	0,00000	34	263,98	1246,07	264,04	0,06	0,00174541	0,0001983
20-dez-02	SC	c. 38cm	1,050	380,00	109,14800	46	290,58		1382,06	1.091,48	41,47600000	0,0471321
	PC	b. 23cm	1,075	17,11	0,00053	47	253,31		253,84	0,53	0,00000907	0,0000010
	PN	b. 15cm	1,115	11,01	0,00037	48	258,21		258,58	0,37	0,00000407	0,0000005
	PD	b. 16cm	1,000	11,74	0,00009	49	255,79		255,88	0,09	0,00000106	0,0000001
25-dez-02	SC										51,44870000	0,0584644
	PC	c. 36cm	1,130	360,00	0,00008	4	286,98		287,06	0,08	0,00002880	
	PN	c. 24cm	1,130	240,00	0,00006	5	280,58		280,58	0,06	0,00001440	
	PD	c. 22cm	1,119	220	0,00006	6	235,9		235,96	0,06	0,00001320	
13-jan-03	SC	c. 38cm	1	380	0,54206	38	257,71		799,77	542,06	20,59828000	
	PC	c. 6,5cm	1,1	65	0,00031	39	233,24		233,55	0,31	0,00002015	
	PN	b. 38	1,050	30,75	0,00004	40	307,63		307,67	0,04	0,00000123	
	PD	b. 41,5cm	1,05	33,37	0,00001	41	229,39		229,4	0,01	0,00000033	
16-jan-03	SC	c. 38cm	1	38	0,66653	31	292,17		958,7	666,53	2,532,814	
	PC	c. 6cm	1,02	60	0,00001	32	294,72		294,73	0,01	0,00000060	
	PN	c. 5,5cm	1,050	55,00	0,00002	33	322,65		322,67	0,02	0,00000110	
	PD	b. 41cm	1,025	32,93	0,00001	34	263,98		263,99	0,01	0,00000033	
21-jan-03	SC	c. 28cm	1,025	380,00	0,48838	42	255,51		743,89	483,38	18,55844100	
	PC	c. 7,5cm	1,140	75,00	0,00011	43	241,03		241,14	0,11	0,00000825	
	PN	c. 5,5cm	1,140	55,00	0,00015	44	332,15		332,30	0,15	0,00000825	
	PD	b. 41cm	1,130	32,93	0,00004	45	257,05		257,09	0,04	0,00000132	
23/01/2003	SC											
	PC											
	PN	cx. 7cm	1,115	70,00	0,00004	10	247,33	1222,16	247,37	0,04	0,00251121	0,0002854
	PD											
27-jan-03	SC	c. 38cm	1,2	380	0,4846	10	265,04		749,64	484,6	18,41480100	
	PC	b. 41,5cm	1,31	33,37	0,00087	11	268,35		269,22	0,87	0,00002903	
	PN	c. 6,5cm	1,284	65	0,0002	12	272,48		272,68	0,2	0,00001300	
	PD	c. 5,5cm	1,254	55,00	0,00022	13	272,31		272,53	0,22	0,00001210	
28-jan-03	SC	c. 37,5cm	1,284	375,00	0,27190	14	275,58		547,48	271,90	10,19625000	
	PC	c. 6cm	1,315	60	0,00128	15	278,49		279,77	1,28	0,00007680	
	PN	c. 4cm	1,340	40,00	0,00037	17	275,34		275,71	0,37	0,00001480	
	PD	b. 41cm	1,333	32,93	0,00019	18	268,70		268,89	0,19	0,00000626	
29-jan-03	SC	c. 38cm	1,25	380	0,50692	19	275,11		782,03	506,92	19,26296100	
	PC	b. 41,5cm	1,3	33,37	0,00073	20	273,02		273,75	0,73	0,00002436	
	PN	c. 9,8 cm	1,306	98	0,00196	21	273,17		275,13	1,96	0,00019208	
	PD	c. 4,8cm	1,264	48	0,00124	27	252,54		253,78	1,24	0,00005952	
15-fev-03	SC	cx. 38cm	1,250	380,00	0,64000	11	268,29	1647,18	908,66	640,37	194,67248000	22,1218727
	PC	B. 39,5cm	1,265	31,63	0,00036	12	272,42	1257,20	272,78	0,36	0,00900142	0,0010229
	PN	b. 31,5cm	1,280	24,41	0,00064	13	272,31	1258,01	272,95	0,64	0,01220500	0,0013869
	PD	b. 30cm	1,246	23,07	0,00040	17	275,34	1259,63	275,74	0,40	0,00740610	0,0008416
17-fev-03	SC	cx. 36,5	1,081	365,00	0,16485	18	268,65	1347,25	433,50	164,85	55,66165587	6,3251882

	PC	b. 41cm	1,095	32,93	0,00039	19	275,07	1271,31	275,46	0,39	0,01172849	0,0013328
	PN	b. 32cm	1,061	24,84	0,00068	21	273,13	1259,12	273,81	0,68	0,01592008	0,0018091
	PD	b. 33cm	1,055	25,73	0,00042	29	252,09	1229,81	252,51	0,42	0,01024322	0,0011640
8-mar-03	SC	cx. 38cm	1,131	380,00	0,31221	20	273,02	1446,84	585,23	312,21	104,89814324	11,9202435
	PC	b. 42cm	1,156	33,84	0,00038	27	252,48	1236,53	252,86	0,38	0,01112388	0,0012641
	PN	b. 41cm	1,160	32,93	0,00035	28	255,53	1239,41	255,88	0,35	0,00993578	0,0011291
	PD	b. 35,7cm	1,136	28,12	0,00037	30	239,68	1228,26	240,05	0,37	0,00915880	0,0010408
15-mar-03	SC	cx. 38cm	1,139	380,00	0,10199	18	268,65	1317,00	370,64	101,99	34,02651449	3,8666494
	PC	b 35cm	1,117	27,56	0,00027	19	275,07	1265,84	275,34	0,27	0,00666177	0,0007570
	PN	b 30,8cm	1,098	23,74	0,00042	20	273,02	1261,10	273,44	0,42	0,00908087	0,0010319
	PD	b 25,5cm	1,132	19,22	0,00018	21	273,13	1260,76	273,31	0,18	0,00305618	0,0003473
16-mar-03	SC	cx. 38cm	1,119	380,00	0,29621	27	252,48	1428,57	548,69	296,21	100,58963360	11,4306402
	PC	b. 33cm	1,133	25,73	0,00018	28	255,53	1235,20	255,71	0,18	0,00408773	0,0004645
	PN	b. 30cm	1,094	23,07	0,00032	29	252,09	1232,51	252,41	0,32	0,00674808	0,0007668
	PD	b. 21cm	1,095	15,41	0,00013	30	239,68	1232,17	239,81	0,13	0,00182950	0,0002079
21-mar-03	SC	cx. 38cm	1,005	380,00	0,62738	18	268,65	1657,04	896,03	627,38	237,21830846	27,0521000
		cx. 18cm	1,068	180,00	0,00240	19	275,07	1259,84	277,47	2,40	0,40449438	
	PC	cx. 58cm	1,083	580,00	0,00118	20	273,02	1253,88	274,20	1,18	0,63194829	0,0718123
	PN	cx. 5cm	1,088	50,00	0,00116	21	273,13	1257,58	274,29	1,16	0,05330882	0,0060578
	PD	b. 41cm	1,096	32,93	0,00010	27	252,48	1244,55	252,58	0,10	0,00300456	0,0003414
4-abr-03	SC	cx. 16,5cm	1,030	165,00	0,03889	11	268,29	1263,09	307,18	38,89	6,22995146	0,7079490
	PC											
	PN											
	PD											
6-abr-03	SC	cx. 22,5cm	1,113	225,00	0,02441	28	255,53	1256,76	279,94	24,41	4,93463612	0,5607541
	PC	b. 30cm	1,080	23,07	0,00026	29	252,09	1240,52	252,35	0,26	0,00555389	0,0006311
	PN	b. 24,5	1,118	18,37	0,00037	30	239,68	1230,28	240,05	0,37	0,00607952	0,0006909
	PD	b. 15cm	1,113	10,59	0,00040	27	252,48	1229,36	252,88	0,40	0,00380593	0,0004325
3-ago-03	SC	cx. 37 cm	1,200	370,00	0,28198	4	286.98	1447.19	568.96	281,98	86,94383333	9,8799811
	PC	b. 39 cm	1,195	31,19	0,00145	5	280.58	1250.23	282.03	1,45	0,03784561	0,0043006
	PN	b. 31 cm	1,267	24,03	0,00085	6	235.90	1209.64	236.75	0,85	0,01612115	0,0018319
	PD	b. 39 cm	1,275	31,19	0,02600	10	265.04	1247.22	265.30	26,00	0,63603137	0,0722763
15-ago-03	SC	cx. 38cm	1,117	380,00	0,77638	UERJ	273,15	1730,33	1049,53	776,38	264,12211280	30,0138765
	PC	b. 41cm	1,108	32,93	0,00080	29	252,09	1236,03	252,89	0,80	0,02377617	0,0027018
	PN	b. 33,5cm	1,113	26,12	0,00056	28	255,53	1236,79	256,09	0,56	0,01314214	0,0014934
	PD	b. 22cm	1,109	16,28	0,00044	18	268,65	1270,62	269,09	0,44	0,00645915	0,0007340
28-ago-03	SC	cx. 24cm	1,114	240,00	0,01853	H3	271,70	1275,79	290,23	18,53	3,99210054	0,4536478
	PC	b. 19cm	1,059	13,82	0,00025	H5	274,62	1251,72	274,87	0,25	0,00326251	0,0003707
	PN											
	PD	b. 6cm	1,051	3,72	0,00019	H6	295,08	1056,59	295,27	0,19	0,00067250	0,0000764
1-set-03	SC	cx. 36 cm	1,150	360,00	1,21344	11	268.35	2011.25	1481.79	1.213,44	379,85947826	43,1658498
	PC	cx. 11,5 cm	1,228	7,84	0,00201	12	272.48	1265.43	274.49	2,01	0,01283257	0,0014582
	PN	cx. 4,5 cm	1,200	2,63	0,00059	13	272.31	1267.88	272.90	0,59	0,00129308	0,0001469

	PD	cx. 5,5 cm	1,150	3,43	0,00027	14	275.58	1263.19	275.85	0,27	0,00080530	0,0000915
7-set-03	SC	cx. 37 cm	1,198	370,00	0,32906	15	278.49	1456.34	607.55	329,06	101,62954925	11,5488124
	PC	b. 33,5 cm	1,241	26,12	0,00099	16	270.53	1268.52	271.52	0,99	0,02083707	0,0023678
	PN	b. 25 cm	1,261	18,81	0,00023	17	275.34	1263.92	275.57	0,23	0,00343085	0,0003899
	PD	b. 25,5 cm	1,288	19,22	0,00017	18	268.70	1251.65	268.87	0,17	0,00253680	0,0002883
16-set-03	SC	cx. 38cm	1,000	380,00	0,16034	H 9 (a/b)	326,94	1386,12	487,28	160,34	60,92920000	6,9237727
	PC	b. 34cm	1,113	26,63	0,00017	H10 (a/b)	377,29	1365,97	377,46	0,17	0,00406748	0,0004622
	PN	b. 27cm	1,068	20,50	0,00043	H 11 (a/b)	405,08	1395,43	405,51	0,43	0,00825375	0,0009379
	PD	b. 22cm	1,108	16,28	0,00047	H 12 (a/b)	374,60	1360,00	375,07	0,47	0,00690578	0,0007847
24-set-03	SC	cx. 36 cm	1,274	360,00	0,94784	19	275.11	1852.83	1222.95	947,84	267,83547881	30,4358499
	PC	cx. 6,5 cm	1,290	4,08	0,00107	20	273.02	1260.59	274.09	1,07	0,00338419	0,0003846
	PN	b. 40 cm	1,284	32,05	0,00095	1	270.04	1252.36	270.99	0,95	0,02371301	0,0026947
	PD	b. 40 cm	1,267	32,05	0,00039	2	270.84	1254.48	271.23	0,39	0,00986543	0,0011211
8-out-03	SC	cx. 38cm	1,053	380,00	1,05033	12	272,46	1903,25	1322,79	1.050,33	379,03646724	43,5419600
		cx. 43cm	1,131	430,00	0,01087	UERJ	273,15	1251,22	284,02	10,87	4,13271441	
	PC	cx. 15cm	1,135	150,00	0,00039	30	239,63	1226,74	240,02	0,39	0,05154185	0,0058570
	PN	cx. 12cm	1,121	120,00	0,00034	11	268,32	1227,96	268,66	0,34	0,03639607	0,0041359
	PD	b. 41cm	1,133	32,93	0,00044	27	252,47	1222,25	252,91	0,44	0,01278835	0,0014532
11-out-03	SC	cx. 38cm	1,114	380,00	0,18990	UERJ	273,15	1348,56	463,05	189,90	64,77737882	7,3610658
	PC	cx. 7cm	0,914	70,00	0,00009	29	252,09	1118,38	252,18	0,09	0,00689278	0,0007833
	PN	cx. 6cm	1,150	60,00	0,00008	28	255,53	1232,28	255,61	0,08	0,00417391	0,0004743
	PD	b. 24cm	1,158	17,94	0,00014	18	268,65	1223,08	268,79	0,14	0,00216891	0,0002465
23-out-03	SC	cx. 37cm	1,100	370,00	0,47183	H 4	261,03	1524,50	732,86	471,83	158,70645455	18,0348244
	PC	cx. 8cm	1,059	5,14	0,00020	H 13 (a/b)	368,49	1359,37	368,69	0,20	0,00097073	0,0001103
	PN											
	PD	b. 34cm	0,990	26,63	0,00009	H 14 (a/b)	375,44	1353,57	375,53	0,09	0,00242091	0,0002751
30-out-03	SC	cx. 38 cm	1,252	380,00	0,99964	5	280.58	1881.95	1280.22	999,64	303,40511182	34,6704800
		cx. 25 cm	1,286	250,00	0,00872	3	259.27	1239.08	267.99	8,72	1,69517885	
	PC	cx. 16 cm	1,280	160,00	0,00116	10	265.04	1231.78	266.20	1,16	0,14500000	0,0164773
	C	cx. 10 cm	1,100	100,00	0,00080	12	272.48	1247.69	273.28	0,80	0,07272727	0,0082645
	PD	cx. 11 cm	1,283	110,00	0,00037	13	272.31	1261.98	272.68	0,37	0,03172253	0,0036048
7-nov-03	SC	cx. 63cm	1,170	630,00	0,00000	H2	289,94	1753,68				
		cx. 45cm	1,101	450,00	0,00213	H1	232,32	1212,56	234,45	2,13	0,87057221	0,0989287
	PC	cx. 15,5cm	1,054	155,00	0,00074	H5	274,62	1266,80	275,36	0,74	0,10882353	0,0123663
	PN	cx. 14cm	1,113	140,00	0,00027	H4	261,03	1226,94	261,30	0,27	0,03396226	0,0038593
	PD	cx. 7cm	1,077	70,00	0,00034	H3	271,70	1256,53	272,04	0,34	0,02209842	0,0025112
13-nov-03	SC	cx. 38 cm	1,100	380,00	0,30371	14	275.58	1451.66	579.29	303,71	104,91800000	11,9225000
	PC	b. 34 cm	1,066	26,63	0,00028	17	275.34	1265.06	275.62	0,28	0,00699475	0,0007949
	PN	b. 30 cm	1,091	23,07	0,00021	16	270.53	1265.68	270.74	0,21	0,00444060	0,0005046
	PD	b. 28 cm	1,108	21,34	0,00010	18	268.70	1254.78	268.80	0,10	0,00192599	0,0002189
14-nov-03	SC	cx. 37cm	1,084	370,00	0,49842	H6	295,08	1589,37	793,50	498,42	170,12490775	19,3323759
	PC	b. 28cm	1,086	21,34	0,00025	H7	298,97	1288,99	299,22	0,25	0,00491252	0,0005582
	PN	b 25cm	1,072	18,81	0,00032	H8 (a/b)	368,27	1357,26	368,59	0,32	0,00561493	0,0006381

