Embrapa
Solos
UEP Nordeste

RELATÓRIO

PROJETO EMBRAPA/PROMATA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS DE EROSÃO E APTIDÃO PARA CANA-DE-AÇÚCAR NA ZONA DA MATA SUL DE PERNAMBUCO - FOLHAS (1:25.000) DE RIO IPOJUCA, PRIMAVERA E ESCADA

AUTORIA

Luciano José de Oliveira Accioly[(1)], Ademar Barros da Silva[(1)], Antonio Raimundo de Sousa[(2)]

[(1)] Pesquisador da Embrapa Solos UEP Nordeste
[(2)] Pesquisador do Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA

DEZEMBRO/2009

ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS DE EROSÃO E APTIDÃO PARA CANA-DE-AÇÚCAR NA ZONA DA MATA SUL DE PERNAMBUCO - FOLHAS (1:25.000) DE RIO IPOJUCA, PRIMAVERA E ESCADA

Luciano José de Oliveira Accioly[(1)], Ademar Barros da Silva[(1)], Antonio Raimundo de Sousa[(2)]

[(1)] Pesquisador da Embrapa Solos UEP Nordeste; [(2)] Pesquisador do Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA

1. INTRODUÇÃO

A Zona da Mata do Estado de Pernambuco apresenta características diferenciadas no que se refere às classes de solo, classes de relevo, uso e ocupação das terras e, até mesmo, do clima. As informações sobre a caracterização e a espacialização desses ambientes, numa escala adequada, são de fundamental importância, pois podem possibilitar a elaboração de um programa de desenvolvimento rural considerando-se as potencialidades e limitações dos diferentes ambientes.

Sabe-se que o cultivo da cana-de-açúcar predomina na Zona da Mata, inclusive ocupando indistintamente os diversos ambientes, desconsiderando, de modo geral, as potencialidades e limitações dos solos, além de outros atributos ambientais, incluindo um dos mais importantes que é o relevo. A exploração das terras acima da sua capacidade de suporte resulta em problemas econômicos (porque o sistema exigirá adições crescentes de insumos para manter a produtividade) e ambientais (como erosão e degradação dos solos), acarretando prejuízos para toda sociedade.

Até a criação do Proálcool (Programa do álcool combustível), que ocorreu na década de 70, o cultivo da cana-de-açúcar, na maior parte das propriedades, era conduzido em áreas mais aptas para esta cultura. Com o advento do Proálcool, houve uma expansão do cultivo para áreas marginais (encostas com declividades acentuadas) do ponto de vista de aptidão. Desta forma, enquanto nas áreas de maior aptidão a produtividade média alcança 65 - 70 $t.ha^{-1}$, nas áreas marginais a produtividade fica em torno de 40 $t.ha^{-1}$. De acordo com Sicsú & Silva (2004), embora a produção tenha, inicialmente, aumentado com esta expansão, chegando a atingir 20 milhões de toneladas na safra 1996/97, a perda de rentabilidade causada pelas baixas produtividades fez com que a produção caísse para 13 milhões de toneladas na safra 2000/01. Na atualidade, os custos de produção da cana-de-açúcar no Nordeste são de 30% a 40% superiores aos da região Sudeste. A elevação desses custos possibilitou na safra 2000/2001, a desativação de 17 usinas, de um total de 33 existentes em Pernambuco, provocando aumento do desemprego e geração de conflitos sociais.

Do ponto de vista ambiental, a expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, na Zona da Mata de Pernambuco, tem levado a quase extinção da vegetação formada pela Mata Atlântica. Além da perda de diversidade biológica, a expansão para áreas impróprias, geralmente com relevos inadequados, causa problemas de erosão dos solos e assoreamento de rios, riachos, açudes e barragens, gerando grandes inundações e aumento dos níveis de poluentes nos mananciais hídricos que abastecem as cidades da Zona da Mata. Portanto, a ocupação desordenada do solo acelera a

degradação ambiental (Resende et al., 1997), comprometendo a qualidade de vida no meio rural e no meio urbano. Assim, um trabalho de estratificação ambiental, com base em atributos do relevo, é fundamental para identificar, mapear e valorizar as potencialidades locais, objetivando o uso e o manejo racional das terras.

Embora alguns estudos de caracterização pedoclimática tenham sido realizados para a Zona da Mata como suporte ao planejamento agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar, a maioria dos trabalhos não explorou as ferramentas do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas (SIGs). Essas técnicas são utilizadas como suporte ao planejamento do uso das terras e facilitam o acompanhamento da dinâmica da ocupação e utilização dos ambientes, uma vez que manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos temas derivados dos originais.

Os estudos de Zoneamento voltados para a Zona da Mata, incluindo o mais recente deles, intitulado "Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco" (Silva et al., 2001), não consideraram, quanto aos aspectos quantitativos, variáveis ligadas ao relevo, como, por exemplo, a declividade. A espacialização quantitativa das declividades, em escala adequada para o planejamento a nível municipal e de grandes propriedades, é indispensável para a modelagem do uso de máquinas agrícolas, perdas de solo por erosão hídrica, assoreamento e poluição dos mananciais de água, e da aptidão das terras para diferentes tipos de uso.

Desta forma, o presente estudo tem como finalidade elaborar e interpretar, com o auxílio do sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas, os seguintes planos de informação, para as folhas (escala 1:25.000) denominadas Rio Ipojuca, Primavera e Escada, todas localizadas na Zona da Mata Sul de Pernambuco: 1) mapa de uso e da cobertura das terras; 2) mapa das classes de relevo; 3) mapa de potencial de erosão; 4) mapa de erosão real; 5) mapa de aptidão agrícola para cana-de-açúcar com base no relevo; 6) mapa das áreas aptas ao uso de máquinas agrícolas na cultura da cana-de-açúcar no sistema tradicional e no sistema agroflorestal (SAF).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na zona da Mata Sul de Pernambuco (Figura 1). A área, com aproximadamente 57.000 ha, abrange parte dos municípios de Chã Grande, Pombos, Amaraji, Primavera, Vitória de Santo Antão, Escada e Ipojuca, e está localizada nas seguintes coordenadas geográficas: 8º15'00'' e 8º22'30" de latitude sul e 35º07'30" e 35º30'00" de longitude oeste. Compreende as folhas (escala 1:25.000) de Rio Ipojuca (SC.25-V-A-II-3-NO), Primavera (SC.25-V-A-II-3-NE) e Escada (SC.25-V-A-II-4-NO).

Figura 1. Mapa do Estado de Pernambuco e destaque da área estudada na Zona da Mata Sul.

Na referida área são encontrados, segundo a classificação de Koppen, os climas Ams' e As'. O clima Ams' (tropical chuvoso de monção) domina nos municípios mais próximos do litoral (Ipojuca, Escada) e caracteriza-se por verões secos com precipitações inferiores a 60 mm no mês mais seco (KOFFLER et al., citado por MAZZA, 1998). Nos municípios com o tipo climático Ams', a precipitação média anual é de aproximadamente 1.800 mm. Os meses maio, junho e julho são os mais chuvosos. Nas demais áreas (Primavera, Amaraji), o clima predominante é As' (tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa adiantando-se para o outono) com precipitação média anual variando entre 1.300 mm e 1.700 mm. Os meses abril, maio e junho apresentam as maiores precipitações pluviométricas.

A geologia da área é representada por materiais rochosos do Pré-Cambriano (KOFFLER et al., citado por MAZZA, 1998). As rochas mais importantes são os gnaisses do Pré-Cambriano. Rochas sedimentares do Grupo Barreiras representam o Terciário e os sedimentos que constituem os terraços fluviais e as várzeas representam o Quaternário.

No que se refere aos solos, predominam na área os Argissolos (Amarelos e Vermelho-Amarelos), os Latossolos Amarelos, os Gleissolos e os Neossolos Flúvicos (Silva et al., 2001).

A vegetação nativa (PROJETO RADAMBRASIL, 1983), quase toda removida, é representada pela floresta ombrófila densa na parte mais oriental da área. Ao se avançar no sentido oeste passa a predominar a floresta ombrófila aberta e a floresta estacional semidecídua. Atualmente, mais da metade da área tem como cobertura vegetal a cana-de-açúcar.

Em função das dificuldades de se encontrar imagens desta área com baixa cobertura de nuvem, foi necessário utilizar três cenas do satélite Landsat para a elaboração dos mapas de uso e cobertura. Essas cenas com as respectivas datas de passagem foram: Landsat ETM+ de 24 de setembro de 2002, Landsat ETM de 19 de maio de 2002 e Landsat TM de 11 de setembro de 1991.

As referidas cenas foram registradas nas cartas básicas e re-amostradas pelo método do vizinho mais próximo. O erro de registro foi de 15 m nos eixos X e Y. Foi adotado o sistema de projeção UTM e datum SAD69. A classificação supervisionada da imagem adotou o método da máxima verossimilhança (MAXVER). Com base em verdades de campo foram adotadas as seguintes classes representativas da área: cana-de-açúcar, remanescente de mata Atlântica e solo exposto.

Para a elaboração dos mapas de classes de relevo e do fator topográfico (LS) da equação universal de perdas de solo por erosão (EUPS) foi necessário, primeiro, elaborar o modelo digital de terreno (MDT). Para tanto, as cartas básicas foram ampliadas (duas vezes) e suas curvas de nível espaçadas de 10 em 10 metros e seus picos digitalizados em mesa digitalizadora. Após esta digitalização, foi gerado um arquivo do tipo ponto. O projeto original previa o uso da Krigagem para a interpolação dos pontos, no entanto, após revisão de literatura, foi verificado que as diferenças entre os interpoladores triangular irregular (TIN) e a Krigagem são mínimas para a produção do MDT. Optou-se, portanto, pelo uso do interpolador TIN (Triangular Irregular Network) para a geração do MDT, a partir dos pontos, em função da facilidade de uso e presença na maioria dos softwares. No caso deste trabalho, o MDT foi gerado pelo software ERDAS 8.3 com resolução (dimensão do pixel) de 10 m. Este mesmo software foi utilizado para a geração do mapa de relevo, cujas declividades foram fatiadas, obtendo-se as classes presentes na Tabela 1. O mapa de declividade, obtido a partir do MDT, foi comparado com o mapa de declividade gerado a partir do MDE[1] proveniente dos dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Essa comparação foi realizada de duas maneiras: a) por meio da degradação dos pixels de 10 m do dado original (MDT na escala 1:25.000) para as resoluções de 15, 30 e 90 m; b) por meio da geração de pontos adicionais permitindo a interpolação dos dados do SRTM, convertendo-o de 90 m para 30 m de resolução espacial.

Tabela 1. Classificação de relevo de acordo com a declividade do solo

Classe de Relevo	**Declividade (%)**	**Declividade (graus)**
Plano	0 – 3	0 – 1,72
Suave Ondulado	3 – 8	1,72 – 4,57
Ondulado	8 – 20	4,57 – 11,31
Forte Ondulado	20 – 45	11,31 – 25,00
Montanhoso	45 – 75	25,00 – 36,87
Escarpado	> 75	> 36,87

A Equação Universal de Perdas de Solo por Erosão (EUPS) - tradução de "Universal Soil Loss Equation (USLE)" - foi utilizada na geração dos mapas de potencial de erosão e de erosão real. A EUPS é o modelo mais utilizado para a avaliação do potencial de perdas de solos por erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978) sendo a perda de solos (P_u, em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$) dada por:

$$P_u = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

[1] MDE = Modelo Digital de Elevação - neste caso, a altura dos objetos acima do nível do solo descoberto (como, por exemplo, construções, árvores, etc.) é considerada na geração do modelo o que não acontece no MDT.

R = erosividade da chuva, $MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}$; K = erodibilidade do solo, $(t.ha^{-1})/(MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1})$; L = comprimento de rampa, adimensional; S = declividade do terreno, adimensional; C = fator que considera o uso e o manejo da cultura, adimensional; P = fator que considera as práticas de manejo e conservação de solo adotadas, adimensional. À exceção dos fatores L e S que, dependendo da escala das cartas planialtimétricas, podem ser "confiavelmente" obtidos por meio de Modelos Digitais de Terreno (MDT), a estimativa dos demais fatores é comprometida, em maior ou menor extensão, pela falta de dados provenientes da experimentação de campo. Para dar coerência ao emprego da modelagem de perdas de solo, normalmente, são feitas adaptações empíricas à EUPS (ou a outros modelos) utilizando-se estimativas dos fatores já citados. Estas estimativas são provenientes de trabalhos como os de levantamento de solo, mapeamento do uso e ocupação das terras, dados de precipitação pluviométrica, dados de biomassa, entre outros, normalmente obtidos sem ter como objetivo final a avaliação de riscos de erosão hídrica. Segundo Freitas et al. (2007) "a adoção da EUPS para fins de quantificar as áreas de vulnerabilidade à erosão apresenta as seguintes vantagens: a) é um método amplamente conhecido; b) permite uma padronização da metodologia favorecendo comparações; c) considera os principais fatores que contribuem para a erosão; d) é menos subjetiva do que os métodos de cruzamento ponderado" como aqueles adotados por Becker & Egler (1996) e Crepani et al. (1996) citados por Freitas et al. (2007).

Para o parâmetro erosividade das chuvas foram utilizados os valores encontrados por meio do modelo desenvolvido por Cantalice et al. (2006). A distribuição espacial de R foi obtida por interpolação utilizando-se o método dos polígonos de Thiessen disponível no software IDRISI. Para tanto foram consideradas as precipitações médias mensais da série histórica de cinco postos (SUDENE, 1990).

O MDT foi utilizado como dado de entrada no programa Usle2D (VAN OOST & GOVERS, 2006), após a remoção das áreas de depressão (*pit removal*) no software IDRISI, para modelagem e obtenção do mapa do fator topográfico (LS). Em condições reais, onde são consideradas duas dimensões, o escoamento superficial e a perda de solos resultante deste não depende do comprimento de rampa (L) e sim da área por unidade de linha de contorno (curva de nível). Esta área é que contribui com o escoamento superficial medido em um dado ponto. Esta área pode diferir consideravelmente do comprimento de rampa uma vez que é fortemente afetada pela convergência ou divergência do fluxo de água. O programa Usle2D avalia melhor o fator topográfico uma vez que substitui o comprimento de rampa pela área de contribuição do escoamento superficial (VAN OOST & GOVERS, 2006).

A erodibilidade dos solos foi estimada considerando os solos que ocorrem na área, com base no trabalho de levantamento dos solos do Estado de Pernambuco (SILVA et al., 2001) e, também,

fazendo-se uma revisão na literatura sobre os valores de K encontrados para as classes de solo, por meio de métodos diretos e indiretos e ponderando-se esses valores com base na proporção de cada classe de solo componente da unidade de mapeamento. O uso e o manejo da cultura (fator C) foram avaliados com base no mapa de uso e cobertura das terras, conforme descrito anteriormente. Por se tratar de um retrato de um dado momento, as inferências sobre o fator C com base em imagens de satélite são feitas muito mais sobre o tipo de cobertura do que sobre o uso das terras. Com base exclusivamente em imagens de satélite é, na maioria dos casos, impossível, por exemplo, distinguir uma área de solo permanentemente exposto pela mineração de uma área recém cultivada com cana-de-açúcar. O contexto, entretanto, permite esta separação considerando que a extração mineral de solo, normalmente, ocupa áreas diminutas em relação às áreas expostas para o cultivo. Áreas de solo exposto devido à obra de construção civil, por exemplo, para estradas, também podem ser, facilmente, diferenciadas daquelas. Desta forma, considerando a contribuição da cultura da cana-de-açúcar na paisagem da Zona da Mata, as áreas de solo exposto foram assumidas como áreas recém colhidas ou prontas para o plantio ou recém plantadas com esta cultura, assinalando-se, portanto, para estas áreas o fator C utilizado para a cana-de-açúcar.

O mapa de erosão potencial considera o valor 1 (um) para os fatores C e P, ou seja, solo sem vegetação e sem uso de práticas conservacionistas. No caso do mapa de erosão real, neste trabalho apenas C foi considerado. Embora se verifique que parte dos agricultores utilizam práticas de conservação, tais como o cultivo em contorno, principalmente para o caso da cana-de-açúcar, o fator P foi fixado em 1, ou seja, foi assumido que os agricultores da região não adotam práticas de conservação do solo.

O mapa de aptidão pedológica da cana-de-açúcar com base no relevo[2] considerou as seguintes classes (Silva et al., 2001): 1) alta ou boa para as classes de relevo plano e relevo suave ondulado; 2) média ou regular para a classe de relevo ondulado; 3) baixa ou marginal para a classe de relevo forte ondulado; e, 4) muito baixa ou inapta para as classes de relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado. O mapa das áreas com possibilidade de uso de máquinas na mecanização da cana-de-açúcar nos sistemas tradicional e no SAF (Sistema Agroflorestal) foi elaborado fatiando-se o relevo nas faixas de 0% a 12% (sistema tradicional) e de 12% a 20% (SAF) (Pinto et al., 2002).

É importante observar que, nos levantamentos das classes de solo, o relevo é considerado apenas como mais um dos atributos das unidades de mapeamento quando, em alguns casos, como o da área deste estudo, ele é o fator determinante na aptidão para esta cultura.

[2] O relevo por definição compreende as formas da superfície terrestre podendo ou não conter uma cobertura de solo. Portanto, a rigor, a aptidão pedológica não deveria conter o relevo como um fator agregado ao solo. O mais adequado seria o estudo da aptidão agrícola considerando apenas o relevo. Isto evitaria o mapeamento das classes de solos nos locais onde o fator limitante é o relevo. Na atualidade, tal fato tem justificativa, uma vez que os avanços na área de geotecnologias permite a obtenção precisa das altitudes e, portanto, dos seus produtos derivados: como declividade, aspecto, curvatura e outras características relevantes para decisões relativas à aptidão das terras para uma dada cultura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho as tabelas e suas discussões são apresentadas para a área como um todo. No que se refere aos mapas temáticos (Anexos 1 a 18), eles representam cada uma das três folhas das cartas básicas que constituem a área, facilitando assim, a impressão na escala 1:25.000 em folhas com dimensões iguais àquelas das referidas cartas. Tal fato facilita, também, interpretações em que são utilizadas tanto as cartas produzidas neste trabalho quanto as cartas básicas.

4.1. Uso e cobertura das terras

Os mapas de uso e cobertura das terras são apresentados nos Anexos 1 a 3. As áreas total e relativa de cada classe de cobertura podem ser observadas na Tabela 2. Verifica-se que as áreas com cobertura de vegetação nativa (mata Atlântica em diferentes estágios sucessionais) representam cerca de 8% da área total (4.827 ha). Observando os Anexos 1 a 3, pode-se verificar que a cobertura de mata ocorre de forma esparsa na área e aparece com mais frequência, apenas na folha de Rio Ipojuca (Anexo 3). Outro aspecto é quando se observa as margens dos rios (Ipojuca e Pirapama), verifica-se ausência quase total de proteção das margens por meio de vegetação ciliar, ou seja, as normas do Código Florestal não estão sendo consideradas. Este fato é preocupante e merece cuidados especiais das autoridades e comunidades no sentido de providenciar soluções para reverter essa situação. A cultura da cana-de-açúcar (32.230 ha) predomina, ocupando 56% da área total. O solo exposto ocupa aproximadamente 9.500 ha (16%).

Tabela 2. Áreas total e relativa das classes de cobertura das terras nas folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Classe de cobertura		
	Área (ha)	**% da área**
Cana-de-açúcar	32.230	56,18
Mata	4.827	8,41
Solo exposto	9.531	16,61
Nuvem e sombra	10.781	18,79
Área Total	57.369	100

É importante considerar que grande parte de solo exposto pode ser área onde a cana-de-açúcar foi colhida, pode ser área preparada para o plantio de cana-de-açúcar ou mesmo a cultura nos estágios iniciais, e além do mais, há a sobreposição de nuvens, possívelmente, cobrindo áreas de cana e de solo exposto. Em síntese, pode-se afirmar que o cultivo de cana é a principal atividade da região estudada, fato que também preocupa, uma vez que a cultura está ocupando todos os espaços

sem levar em consideração os fatores restritivos, principalmente, aquele relacionado com o relevo, que será discutido no próximo tópico.

4.2. Classes de Relevo

A Tabela 3 apresenta a distribuição das classes de relevo e de declividade e os Anexos 4 a 6 apresentam os mapas da distribuição espacial dessas classes. Observa-se que cerca de metade da área - 52% (Tabela 3) - apresenta relevo movimentado (forte ondulado e montanhoso). Na área correspondente às folhas de Ipojuca e Primavera (Anexos 5 e 6), a contribuição dessas duas classes de relevo é maior. Nessas áreas é, praticamente, impossível o uso de máquinas agrícolas, o que onera os custos do sistema de produção da cana-de-açúcar.

Tabela 3. Áreas total e relativa das classes de relevo nas folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Classe de relevo	**Declividade (%)**	**Área (ha)**	**%**
Plano	0 – 3	7.778	13,6
Suave Ondulado	3 – 8	4.542	7,9
Ondulado	8 – 20	14.775	25,8
Forte Ondulado	20 – 45	22.940	40,1
Montanhoso	45 – 75	6.358	11,1
Escarpado	> 75	801	1,4
Área total		57.197	100

Mesmo com a ressalva anterior, pode-se verificar, por meio da visualização dos Anexos 1, 2 e 3, que a cana-de-açúcar é cultivada indistintamente em todas as declividades, como comentado anteriormente, contrariando todos os aspectos relacionados com a capacidade de uso das terras. As áreas com relevo mais movimentado (forte ondulado e montanhoso), mesmo com predomínio de solos profundos (Argissolos e Latossolos), não são aptas para cultivo de culturas anuais, são mais indicadas para preservação permanente (preservação da fauna e da flora), pois são muito suscetíveis à erosão.

As áreas que apresentam relevo plano e suave ondulado ocorrem nas partes mais baixas da paisagem e ocupam 21% (12.300 ha) do total das três folhas e com maior predominância nas folhas de Escada e Primavera, como pode ser observado nos Anexos 4 e 5. São áreas que apresentam boa aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar e são menos suscetíveis ao fenômeno da erosão, mas não dispensam o uso de práticas de manejo e conservação de solos. Os solos de maior ocorrência são Gleissolos e Neossolos Flúvicos. É importante observar que a maior parte das áreas planas ocupa várzeas de rios e riachos, onde é indispensável o uso de um plano de drenagem para viabilizar o

cultivo da cana-de-açúcar. O uso e o manejo desses ambientes também devem obedecer às normas da legislação ambiental.

O relevo ondulado ocupa 25% da área (14.775 ha). Os solos de maior ocorrência são os Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e os Latossolos Amarelos, todos profundos, no entanto, em função do relevo, exigem o emprego de práticas mais intensivas de manejo e conservação de solos para reduzir a erosão.

4.3. Susceptibilidade à Erosão

4.3.1. Erosividade das chuvas (R)

Analisando-se os dados de precipitação média mensal de postos localizados na Zona da Mata Sul, considerados na interpolação, pelo método dos polígonos de Thiessen, a erosividade das chuvas (R) variou entre 3.260 e 5.378 $MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}$ (Tabela 4). Observa-se uma tendência de redução nos valores de R para os postos situados mais distantes do litoral. Assim, R é menor nos postos situados nos municípios de Palmares e maior nos municípios próximos ao litoral como Barreiros.

Tabela 4. Valores de erosividade da chuva (R) de postos da Zona da Mata Sul de Pernambuco

Município do posto	Localidade do posto	Estado	Latitude (décimos de grau)	Longitude (décimos de grau)	Altitude (m)	R ($MJ.ha^{-1}mm.h^{-1}$)	Precipitação média anual (mm)
PALMARES	PALMARES	PE	-8,68	-35,60	109	3.260	1.465,6
RIO FORMOSO	CUCAU	PE	-8,63	-35,28	62	4.527	1.910,2
CORTES	CORTES	PE	-8,47	-35,55	340	4.518	1.906,9
GAMELEIRA	GAMELEIRA	PE	-8,58	-35,38	101	4.873	2.027,2
BARREIROS	BARREIROS	PE	-8,83	-35,20	23	5.378	2.194,8

4.3.2. Fator topográfico (LS)

A declividade (S) e o comprimento de rampa (L) são responsáveis pela velocidade de escoamento superficial, portanto, quanto maior o fator LS maior é o potencial de transporte de material pela erosão, tanto em termos de tamanho como de quantidade (Tomazoni & Guimarães, 2005). O fator topográfico (variáveis L e S da equação universal de perdas de solo por erosão – EUPS) variou entre valores muito próximos de 0 (áreas planas) e > 50. A contribuição deste fator para as perdas de solo por erosão é baixa (LS entre 0 e 5) em cerca de 41% da área (Tabela 5). Valores altos de LS (acima de 5) predominam em cerca de 59% da área. O relevo movimentado da área, com grande parte das declividades sendo superiores a 20%, responde pelos altos valores deste fator.

Tabela 5. Contribuição absoluta e relativa das classes de fator topográfico nas folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Classe do Fator Topográfico (LS)	Área (ha)	%
0 a 1	15.870	27,7
1 a 5	7.637	13,3
5 a 10	5.556	9,7
10 a 15	4.319	7,5
15 a 20	3.494	6,1
20 a 30	5.242	9,2
30 a 50	6.318	11,0
> 50	8.747	15,3
Total	57.186	100

4.3.3. Fator Erodibilidade dos solos (K)

A revisão de literatura evidenciou uma alta variabilidade nos valores de K de uma mesma classe de solo, independente do método considerado. LEPRUN (1988) revisou os trabalhos de erosão existentes no Nordeste do Brasil e concluiu que os dados sobre K para solos dessa região, com poucas exceções, não eram confiáveis, isto em função do reduzido número de anos em que os experimentos foram conduzidos, e também por terem sido obtidos em parcelas que não tinham as dimensões da parcela padrão. Daquela época até os dias atuais, poucos trabalhos têm sido conduzidos visando à determinação dos valores de K em parcelas padrão, particularmente, no Nordeste do Brasil. Tendo em mente essas dificuldades e considerando as principais unidades de solo que predominam na área estudada, foram propostos, para este trabalho, os seguintes valores de K: 0,010 para os Latossolos Amarelos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos; e, 0,020 para os Argissolos (Vermelho-Amarelos e Amarelos).

4.3.4. Potencial de Erosão

O potencial de erosão variou de 0 a valores acima de 1.000 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ (Tabela 6). A distribuição espacial do potencial de erosão é apresentada nos mapas (Anexos 7 a 9). Esses mapas foram gerados a partir dos fatores da EUPS - R, K e LS fixando-se os valores de C (cobertura do solo) e P (práticas conservacionistas) em 1. Esses dois últimos fatores são os únicos que podem, do ponto de vista prático, ser modificados diretamente pelo homem. Ao se atribuir o valor 1 a esses fatores assume-se o pior cenário para as perdas de solo, ou seja, aquele em que a superfície do solo está completamente destituída de cobertura vegetal e sem práticas de combate à erosão. Desta forma, o potencial de erosão dá uma idéia da fragilidade do ambiente em relação à erosão laminar sem considerar os fatores antrópicos (Freitas et al., 2007). É apenas uma análise comparativa. Dentro da escala potencial contida na Tabela 6, verifica-se que 55% da área apresentam potencial

de erosão baixo a médio baixo, o que pode ser explicado pela sua topografia pouco acentuada, implicando em valores relativamente baixos para o fator topográfico (LS). O restante da área (45%) apresenta maior potencial de erosão, com valores acima de 200 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$. São ambientes de relevo muito acentuado, com alta suscetibilidade à erosão, mais concentrados nos mapas das folhas de Primavera e Rio Ipojuca (Anexos 8 e 9).

Tabela 6. Área e contribuição relativa por classe de potencial de erosão nas folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Potencial de Erosão	**Perda de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)**	**Área (ha)**	**%**
Baixo	< 100	25.822	45,0
Médio baixo	100 - 200	6.162	10,7
Médio	200 - 300	4.493	7,8
Médio Alto	300 - 500	6.157	10,7
Alto	500 – 1.000	7.626	13,3
Muito Alto	> 1.000	7.108	12,5
Total		57.368	100

4.3.5. Erosão real

A redução nos níveis de perdas de solo pelo potencial de erosão é dada pela cobertura de solo (fator C) e pelo uso de práticas de manejo e conservação de solo (fator P). Neste caso, a erosão passa a ser conhecida por erosão real. A erosão real é aquela que, teoricamente, pode ser reduzida por meio de práticas de manejo e uso da cobertura do solo adequada para uma dada situação do terreno. Os mapas presentes nos Anexos 10 a 12 apresentam a distribuição espacial das possíveis perdas de solo por erosão real, enquanto a Tabela 7 apresenta o quantitativo das estimativas destas perdas. Comparando-se os intervalos de classes da Tabela 6 com aqueles da erosão real (Tabela 7), verifica-se que a perda de solo é drasticamente reduzida quando o solo é protegido por algum tipo de cobertura. Neste caso, foram consideradas as classes de coberturas presentes na Tabela 2, às quais foram atribuídos os valores do fator C que constam na Tabela 8. Esses valores foram extraídos diretamente de Donzeli et al. (2002) para o caso da cana-de-açúcar e, para o caso da cobertura de matas, adotou-se o valor sugerido por estes mesmos autores para a classe vegetação natural. Comparando-se os valores da Tabela 8, verifica-se que, mantidas as mesmas condições para os demais fatores da EUPS, as perdas de solo por erosão na cultura da cana-de-açúcar são 2.500 vezes maiores do que aquelas estimadas com a cobertura natural, ou seja, mata atlântica "preservada".

Observa-se na Tabela 7 que a área total da erosão real é menor que aquela apresentada na Tabela 6 para o potencial de erosão. Tal fato se deve à presença da classe de cobertura nuvem e sombra que ocupa aproximadamente 18% da área ou o equivalente a 10.781 ha (Tabela 2).

Tabela 7. Área e contribuição relativa por classe de erosão real nas folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Perda de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)	**Área (ha)**	**%**
0 a 0,1 (nula)	14.099	29,8
0,1 a 10 (baixa)	14.910	31,5
10 a 20(média baixa)	5.871	12,4
20 a 30 (média)	3.573	7,5
30 a 50 (média alta)	3.926	8,3
50 a 100 (alta)	3.367	7,1
Acima de 100 (muito alta)	1.546	3,4
Total	47.291	100

Tabela 8. Fator C estimado (adaptado de Donzeli et al., 2002)

Classe de cobertura			
	Área (ha)	**% da área total**	**C estimado**
Cana-de-açúcar	41.761	89,6	0,10000
Mata	4.827	10,4	0,00004

Obs. Solo exposto foi considerado área com cana-de-açúcar.

Analisando-se o resultado das estimativas da erosão real (Tabela 7), verifica-se que em aproximadamente 60% da área, a perda de solo por erosão é baixa. Essas áreas apresentam relevo variando de plano a ondulado cultivadas com cana-de-açúcar, ou, por outro lado, apresentam relevo mais movimentado (forte ondulado ou montanhoso) com cobertura de mata, cujo valor de C é muito menor do que o valor C para a cana-de-açúcar (Tabela 8). As áreas com estimativas de menores perdas de solo encontram-se nas folhas de Escada e Primavera (Anexos 10 e 11), onde predominam os relevos menos movimentados. As áreas que apresentam maiores estimativas de perdas por erosão encontram-se principalmente na folha de Rio Ipojuca (Anexo 12) e partes da folha de Primavera (Anexo 11), onde predomina o relevo variando de forte ondulado a montanhoso. Essas áreas são inaptas para cultivo e devem ser protegidas de forma permanente, evitando, portanto, sua degradação.

4.4. Aptidão agrícola das terras para cana-de-açúcar

4.4.1. Aptidão das terras com base no relevo

As classes de relevo, bem como, a aptidão para o cultivo de cana-de-açúcar (em função do relevo), nas áreas das folhas de Escada, Primavera e de Rio Ipojuca, podem ser observadas, de forma quantitativa, na Tabela 9 e visualizadas nos mapas (Anexos 13 a 15). Verifica-se que aproximadamente 21% da área apresentam declividades que se enquadram nas classes de relevo plano e suave ondulado (declividades inferiores a 8%). São áreas que apresentam baixo risco de erosão, no entanto, não dispensam o uso de práticas de manejo e conservação de solo. Em termos de relevo, apresentam amplas possibilidades de mecanização (incluindo a fase de colheita), sendo, portanto, classificadas como de aptidão boa para o cultivo da cana-de-açúcar. O relevo plano ocorre, principalmente, nos baixios (várzeas) e, em menor proporção nos topos dos morros. Nas várzeas predominam os Gleissolos e Neossolos Flúvicos que necessitam de sistemas de drenagem para que sejam utilizados no sistema produtivo. O uso de fertilizantes se faz necessário para melhorar a produtividade. Nos topos de morros, além do relevo plano, também ocorre o relevo suave ondulado. Nestes locais, de modo geral, há predominância de Latossolos Amarelos associados com Argissolos (Amarelos e Vermelho-Amarelos). Todos são solos ácidos e muito pobres em termos de fertilidade, portanto, necessitam de fertilizantes químicos e orgânicos para a melhoria da produtividade. O uso de práticas de manejo e conservação do solo e da água é indispensável nesses ambientes. O relevo ondulado ocupa 25,8% da área e, em função do aumento da declividade, apresenta aptidão regular para a cultura da cana-de-açúcar. Os fatores restritivos ao uso estão mais relacionados com a maior suscetibilidade à erosão, exigindo práticas mais intensivas de manejo e conservação de solos, e além do mais, o aumento da declividade dificulta a mecanização, principalmente no que se refere à colheita. As áreas que apresentam relevos forte ondulado (40%) e montanhoso e escarpado (12,5%) são classificadas como de aptidão marginal e inapta, respectivamente, para o cultivo de cana-de-açúcar. Os riscos de erosão e degradação dos solos são muito altos. Esses ambientes devem ser destinados à preservação da flora e da fauna e consequentemente dos recursos hídricos.

Tabela 9. Aptidão das terras para a cultura da cana-de-açúcar, com base no relevo, das folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Classe de relevo	**Classe de aptidão**	**Área (ha)**	**%**
Plano e Suave ondulado	Boa	12.321	21,5
Ondulado	Regular	14.776	25,8
Forte ondulado	Baixa ou marginal	22.940	40,2
Montanhoso e escarpado	Inapta	7.159	12,5
Total		57.196	100

4.4.2. Aptidão das terras aptas para o uso de máquinas agrícolas na cultura de cana-de-açúcar

O limite para mecanização em sistemas tradicionais de cultivo da cana-de-açúcar tem sido de 12% (Sparovek et al., 1997). No entanto, Pinto et al. (2002) sugerem que áreas com declividades superiores a 12% e inferiores a 20%, com baixa adequação à mecanização, podem utilizar maquinário, desde que a cana-de-açúcar seja cultivada em sistemas agroflorestais. O sistema agroflorestal é o uso da terra no qual se combinam espécies arbóreas frutíferas e/ou madeireiras com cultivos agrícolas, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem econômica e ecologicamente. Este sistema, segundo Young (1988), pode melhorar a conservação de solos em condições de declive acentuado, e de acordo com Bernardes et al. (1998), pode permitir a eliminação de terraços e viabilizar a colheita mecanizada em declividades maiores que o padrão.

Nos Anexos 16 a 19 podem ser visualizadas as áreas adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar com uso de máquinas agrícolas no sistema tradicional e no sistema agroflorestal (SAF). Somando-se as áreas de cada classe de declividade verifica-se (Tabela 10) que é possível o uso de máquinas agrícolas na cultura da cana-de-açúcar no sistema tradicional em aproximadamente 34% da área (19.553 ha) e em 16% da área (9.613 ha) no sistema agroflorestal (SAF), que não tem sido adotado na região.

Tabela 10. Áreas com aptidão para uso de máquinas agrícolas (em função da declividade) no cultivo da cana-de-açúcar, no sistema tradicional e no sistema agroflorestal (SAF), das folhas de Rio Ipojuca, Primavera e Escada (Zona da Mata Sul de Pernambuco)

Aptidão para o uso de máquinas agrícolas em função da declividade	**Área (ha)**	**%**
Sistema tradicional (0% a 12%)	19.553	34,2
SAF (12% a 20%)	9.613	16,8
Inapta (acima de 20%)	28.031	49,0
Total	57.197	100

5. CONCLUSÕES

- A cobertura vegetal predominante é a cana-de-açúcar com 42.276 ha (57,7%), com parte deste total ocupando relevo forte ondulado e montanhoso, situação que deve ser corrigida. A mata Atlântica, em diferentes estágios sucessionais, ocupa 4.827 ha (8,4%), com grande parte concentrada na folha de Rio Ipojuca.

- Aproximadamente 50% da área apresentam relevo movimentado (forte ondulado e montanhoso). Nessas áreas é, praticamente, impossível o uso de máquinas agrícolas. São ambientes com aptidão para preservação da fauna e da flora e recreação.

- É possível o uso de máquinas agrícolas na cultura da cana-de-açúcar no sistema tradicional em aproximadamente 34% da área (19.553 ha) – declividade até 12%, e em 16% da área (9.612 ha) no sistema agroflorestal (SAF) – declividade entre 12% e 20%. Essas áreas apresentam, respectivamente, aptidão boa e regular para o cultivo de cana-de-açúcar, exigindo, também, práticas de manejo e conservação de solos.
- A maior parte das áreas planas são várzeas de rios e riachos, com predomínio de Gleissolos e Neossolos Flúvicos, onde é indispensável o uso de um plano de drenagem para viabilizar o cultivo da cana-de-açúcar. Os Latossolos associados com Argissolos ocorrem principalmente em áreas de relevo mais movimentado.
- Em aproximadamente 51% da área, as estimativas de perdas de solo por erosão é nula ou muito baixa (< 10 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$). Essas áreas apresentam relevo plano e suave ondulado com a cultura da cana-de-açúcar, ou apresentam relevo mais movimentado com cobertura de mata.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANGULO, J.R. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. Curitiba : UFRPR, 1983. 154p. Dissertação de Mestrado.

BERNARDES, M.S.; SPAROVEK, G.; ROSSETTO, R.; FARAHA, M.; VICCINO, J.R.; STAPA, J.L.; HAMMERSCHLAG, N., J.J. Sistemas de produção para áreas com restrições à colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: SEMANA DE CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 3., Piracicaba, 1998. **Anais...** Piracicaba: Stab, 1998. p.35-37.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3, 1985, Maringá. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1985. 332p.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; BORGES INACIO, E.dos S.; SILVA, M.D.R. de O. Mapas das linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco – 1ª Aproximação. **Revista Caatinga**, Mossoró, 2006 (no prelo).

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com perdas de solo de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): Primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.237-242, 1989.

CAVALCANTE, L.F.; FERNANDEZ M.B.; LEITE, J.A. Avaliação de erodibilidade de quatro solos do município de São Mamede – PB, através do nomograma de Wischmeier e colaboradores. In: III Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. Recife, 1980. **Anais...** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981. p.201-202.

DENARDIN, J.E**. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** Piracicaba, ESALQ, 1990. Tese de doutorado.

DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F. P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas.** Campinas: IAC, Boletim 29, 1992.

FREITAS, L. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. de S.; LOEBMANN, D. G. Determinação do potencial de erosão a partir da utilização da EUPS na bacia do rio Preto. **Espaço & Geografia**, v.3, n.2, p.431-452, 2007.

KOFFLER, N. F. **Análise aerofotográfica da influência da área de amostragem circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem**. São José dos Campos: INPE, 1976. (Relatório INPE-974-NTE/074).

KREZNOR, W.R.; OSLON, K.R.; BANWART, W.L.; JOHNSON, D.L. Soil, landscape and erosion relationships in a Northwestern Illinois watershed. **Soil Science Society of America Journal,** v.53, p. 1763–1771, 1989.

LEPRUN, J.C. **Manejo e conservação de solos do Nordeste.** Recife: SUDENE, 1988. 238p.

LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.27, p.727-733, 2003.

MARGOLIS, E.; CAMPOS FILHO, O.P. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo num Podzólico Amarelo de Glória do Goitá. In: Encontro Nacional sobre Conservação do Solo, 3. Recife, 1981. **Anais...** Recife: 1981. p. 239-250

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. da; JACQUES, F. de. O. Determinação dos fatores da equação universal das perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.9, p.165-169, 1985.

MARQUES, H. S.; BERTOLDO, M. A.; ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; OLIVEIRA, M. L. R. Mapeamento das classes de solos da região de Machado-MG, a partir da correlação entre solos e relevo, utilizando técnicas de geoprocessamento. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003. **Anais...** Belo Horizonte; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. p. 169-172.

MAZZA, J. A. Importância das características físico-hídricas. In: Seminário Internacional de CITROS - TRATOS CULTURAIS, 5, 1998, Bebedouro, SP. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, p.189-202.

MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J**., v.57, p. 443-452, 1993.

MOORE, I. D.; TURNER, A.K.; WILSON, J.P.; JENSON, S.K.; BAND, L.E. GIS and Landsurface-Subsurface Process Modeling, In: GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T; ed. **Environmental modeling with GIS**, New York, Oxford University Press, Cap. 19, p. 196-230, 1993.

PINTO, L. F. G.; BERNARDES, M. S.; TERAMOTO, E. R.; SPAROVEK, G. Identificação e seleção de terras e árvores para cultivo de cana-de-açúcar em sistemas agroflorestais em Piracicaba, SP. In: IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Ilhéus, 2002. **Anais...** Ilhéus; Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 2002. Resumo 1-001.

PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25-Jaguaribe/Natal; **mapa de vegetação**. Rio de Janeiro, 1981. V 23.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia – Base para a distinção de ambientes. NEPUT, Viçosa, 1997. 367p.

SILVA, F.B.R. e; SANTOS, J.C.P; SILVA, A.B. da; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. da B.V.; OLIVEIRA NETO, M.B.; SOUSA NETO, N.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LOPES, O.F.; LUZ, L.R.P.P.; LEITE, A.P.; SOUZA, L.G.M.C.; SILVA, C.P.; VAREJÃO-SILVA, M.A.; BARROS, A.H.C. Z**oneamento agroecológico do Estado de Pernambuco.** Recife: Embrapa Solos – Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento – UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 2001. CD-Rom. – (Embrapa Solos. Documentos n. 35).

SILVA, I.F.; CHAVES, I.B.; MONTENEGRO, J.O. Erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba. In: III Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. Recife, 1980. **Anais...** Recife; Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981. p. 192-199.

SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, O.R. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.283-287, 1986.

SPAROVEK, G.; LEPSCH, I.F. Diagnóstico de uso e aptidão das terras agrícolas de Piracicaba. In: TAUK-TORNISIETO, S.M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S.T. (Ed.) Análise ambiental: estratégias e ações. São Paulo: Queiroz, 1995. p.273-279.

SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Pernambuco**, Recife, 1990, 239p.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.03, p.235-244, 2005.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting Rainfall Erosion Losses** - A Guide to Conservation Planning. USDA Handbook 537. Washington, D.C.: U.S. GPOL, 1978.

YOUNG, A. Agroforestry in the control of soil erosion by water. Agroforestry Abstracts, v.1, n.2/3, p.39-48, 1988.