

INFLUÊNCIA DO VENTO NA ESTABILIDADE DOS TALUDES DA BACIA DO RIO LIGEIRO, MUNICÍPIO DE PATO BRANCO (PR)

Ney Lyzandro Tabalipa

Doutorando em Geologia pela UFPR

Prof. do Departamento de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

ntabalipa@yahoo.com.br

Alberto Pio Fiori

Prof. Dr. do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná

fiori@ufpr.br

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo para se conhecer a influência do vento na estabilidade dos taludes da bacia do rio Ligeiro, município de Pato Branco, Sudoeste do Paraná, empregando um modelo matemático associado à utilização de técnicas de mapeamento temático em ambiente SIG. O presente trabalho envolveu a caracterização geotécnica em campo, ensaios em laboratório, e trabalhos de escritório. Para a separação das áreas de cobertura vegetal de porte arbóreo (que sofrem influência dos ventos no fator de segurança das encostas), das demais áreas procedeu-se a classificação da imagem do satélite QuickBird, gerando o Mapa de Uso e Ocupação do Solo. As técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG apresentaram-se eficientes na interpolação dos mapas temáticos e na elaboração dos mapas de Fatores de Segurança das encostas. A análise dos dados mostra que a vegetação é um fator positivo para o aumento do índice de segurança das vertentes, não havendo região instável onde existe vegetação, mas percebeu-se uma redução no valor do Fator de Segurança pela ação dos ventos sobre a vegetação. Constatou-se que a maior concentração de ventos e velocidades médias está nas direções Sudeste e Sul. Observou-se ainda que, as direções Norte e Sul concentram as rajadas de ventos mais fortes na área.

Palavras-chave: Encosta, Vento, Fator de Segurança.

THE WIND INFLUENCE IN SLOPE STABILITY OF BASIN OF LIGEIRO RIVER IN THE CITY OF PATO BRANCO (PR)

ABSTRACT

This article presents a study to verify the influence of the wind stability of slopes in basin of Ligeiro river in the city of Pato Branco, southwest of Paraná, using a mathematical model associated with the use of techniques for thematic mapping in GIS environment. This work involved the characterization in geotechnical field, tests in the laboratory and office functions. For the separation of the areas of cover plant, tree size (suffering influence of winds in the factor of safety of slopes), from other areas was done the classification of the image of the QuickBird satellite, creating the map of use and occupancy of the soil. The Remote Sensing and GIS techniques had to be efficient in the interpolation of thematic maps and the preparation of maps of factors of Security of slopes. Data analysis shows that the vegetation is a positive factor for the increase in the index of the security aspects, there is no unstable region where there is vegetation, but it was realized a reduction in the amount of FS by the action of wind on the vegetation. It was found that the largest concentration of wind speeds and directions is in the medium and Southeast South. It was also observed that the directions North and South concentrate the strongest gusts of winds in the area.

Key-words: Slope, Wind, Factor of Safety.

Recebido em 05/01/2008

Aprovado para publicação em 20/11/2008

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação do solo no Brasil por muito tempo ocorreram sem a adequada consideração dos condicionantes ambientais, o que acarretou inúmeros desastres, principalmente em áreas urbanas. Acompanhado a esta ocupação desenfreada que desconsidera os fatores fisiográficos da área, surgem inúmeros problemas, como erosões e assoreamentos, escorregamentos, enchentes, recalques de solo, esgotamento dos recursos hídricos, contaminação por disposição incorreta de resíduos, entre outros, que consomem grandes recursos, além de, muitas vezes, colocarem em risco a vida da população local.

Entre os problemas ambientais mencionados, um de grande preocupação são os escorregamentos nas encostas, devido a maior possibilidade de perdas de vidas e vultosos prejuízos econômicos. Os escorregamentos podem ser definidos como todo e qualquer movimento que envolva materiais terrosos ou rochosos que por qualquer causa, processos ou velocidades, sofrem deslocamentos induzidos pelo agente gravidade.

A estabilidade de uma encosta, em seu estado natural, é condicionada simultaneamente por três fatores principais: por suas características geométricas, por suas características geológicas (tipos de solos e composição das rochas) e pelo ambiente fisiográfico em que se insere o clima, cobertura vegetal, drenagens naturais, etc.

O fator climático pode ser considerado como um dos causadores de escorregamentos, principalmente devido a precipitação pluvial, uma vez que quase todos os escorregamentos registrados estão associados a episódios de elevada pluviosidade. Dessa forma o estudo do clima é fundamental para a compreensão dos processos que atuam na superfície terrestre. As relações entre os parâmetros climáticos e a dinâmica superficial, são conhecidas e enfatizadas em vários trabalhos que abordam aspectos relativos à degradação dos solos.

Para Moreira e Pires Neto (1998) os movimentos de massa caracterizam-se por um conjunto de processos que deslocam solos e rochas pela vertente e podem ser contínuos, episódicos ou catastróficos e normalmente são associados as chuvas intensas e, ocorrem sujeitos a uma série de condicionantes e agentes deflagradores.

Nesse sentido, Mota (1999) observou que na maioria das grandes cidades brasileiras, precipitações muitas vezes de pequena intensidade provocam sérios problemas de inundações e escorregamentos, com prejuízos sociais e materiais para a população.

Para Guidicini e Nieble (1983) no Brasil é de conhecimento generalizado a vinculação dos escorregamentos à ocorrência de chuvas intensas. Tais chuvas acarretam, com certa frequência, erosão intensa e escorregamentos, não raro de caráter catastrófico.

Os estudos de Tatizana *et al.* (1987) sobre os escorregamentos da serra do mar demonstram a contribuição das chuvas para o desencadeamento desse processo.

As chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de superfície e subsuperfície e, portanto, influenciam a deflagração dos processos de instabilização de taludes e encostas (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998)

Diversos autores ressaltam a importância da vegetação na proteção do solo e das encostas e que o desmatamento pode promover o surgimento de áreas de risco e escorregamentos. Nesse sentido, Guidicini e Nieble (1983) afirmam que existe um consenso generalizado de que as florestas desempenham um papel importante na proteção do solo e de que o desmatamento pode propiciar não somente o aparecimento da erosão, mas também de movimentos coletivos de solos.

Embora a relação entre escorregamentos e períodos de alta pluviosidade seja inegável e que existe um consenso de que as florestas desempenham importante papel na proteção das encostas, em determinados casos a influencia da vegetação poderá ser prejudicial a estabilidade.

Segundo Vargas (1999) os efeitos do desflorestamento sobre a estabilidade dos taludes das encostas naturais é questão muito discutida, principalmente devido ao seu caráter interdisciplinar. Não há dúvida que há a evidência da degradação da cobertura vegetal coincidir

com escorregamentos generalizados das encostas, mas há também casos observados de grandes escorregamentos, deflagrados de chuvas violentas, em regiões cobertas por florestas.

Prandini *et al.* (1976) citam como efeitos desfavoráveis da cobertura vegetal, o efeito alavanca, pela ação dos ventos, o efeito cunha, pela penetração das raízes em fendas e a sobrecarga vertical devido ao peso da vegetação.

Gray e Leiser (1982) atribuem como efeitos desfavoráveis: O efeito alavanca, força cisalhante transmitida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas por ventos; O efeito cunha, pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha; A sobrecarga vertical causada pelo peso das árvores, que pode ter um efeito benéfico, ou não, na estabilidade, em vista a inclinação das encostas e as características do solo;

Fiori e Borchardt (1997) propõem um importante estudo sobre o papel negativo que a vegetação pode desempenhar no índice de segurança das encostas. De acordo com o trabalho realizado pelos autores na região de Guaraqueçaba, litoral do Paraná, averiguou-se que em situação de rajadas de vento de 90 Km/h, atuando no sentido da inclinação da vertente, a presença de vegetação situada em solos residuais, passa a contribuir negativamente na estabilidade de vertentes.

Dessa forma, o vento deve ser estudado detalhadamente, para se conhecer se ele poderá influenciar ou não no surgimento de escorregamento. Além deste fato, sabe-se que o vento é um agente de grande importância no ambiente, uma vez que atua no transporte e dispersão de poluentes da atmosfera, melhorando a qualidade do ar, age na troca de calor, etc.

Importante recordar que a velocidade do vento torna-se relevante em relação a escorregamentos quando atinge valores superiores a 40 km/h, conforme Styczen e Morgan (1995) e pode favorecer o movimento da encosta, mas para que isto seja possível deve soprar na mesma direção da inclinação da encosta.

Assim, este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo da influência do vento sobre a vegetação, nos fatores de segurança na análise da estabilidade de vertentes da bacia do rio Ligeiro no município de Pato Branco, Sudoeste do Paraná.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Ligeiro, com área de 44 Km², está localizada no município de Pato Branco, no Sudoeste do Estado do Paraná (Figura 1).

A distância da sede do município a Curitiba é de aproximadamente 433 km, na direção Oeste. O acesso a área, partindo de Curitiba, pode ser efetuado através da rodovia BR-476 que liga Curitiba a Horizonte. A partir de Horizonte, segue-se pela BR-280, em direção oeste, passando por Palmas, Clevelândia, Mariópolis e Pato Branco.

Toda a área de estudo acha-se sujeito, conforme a classificação de Koppen, ao clima do tipo CFb, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22° C. O clima encontra-se sob influência de um clima chuvoso, mesotérmico, úmido, e superúmido sem estação seca, de verões frescos e geadas severas e bastante freqüentes, com média de precipitação anual entorno de 2.109,79mm/ano diários.

A área mapeada situa-se compreendida entre as altitudes de 600 a 1000m e apresenta uma topografia de relevo suavemente ondulado com vales abertos na porção leste, sendo que na faixa oeste predominam as superfícies levemente aplainadas. A temperatura média na região varia entre 14° C e 22° C.

A caracterização e descrição dos solos se embasaram no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudoeste do Estado do Paraná, EMBRAPA (1974), adaptado para a nova classificação adotada pela Embrapa (1999). Assim sendo, na área em estudo, ocorrem solos das ordens Latossolo (Roxo Álico), Nitossolo (Terra Roxa Estruturada), Cambissolo (Distrófico), Neossolo (Solos Litólicos Distrófico ou Álicos) e Depósitos Aluvionares.

A constituição geológica da região é relativamente simples, representado pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral, que recobrem inteiramente a área mapeada. Segundo o

Mapa Geológico do Brasil elaborado pela CPRM (1996), a geologia da região Sudoeste do Paraná se enquadra: JK β sg – Rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral. As rochas são do tipo basalto toleíticos com intercalações de arenito e rochas vulcânicas ácidas, ambas intercaladas por diques e sills de diabásio.

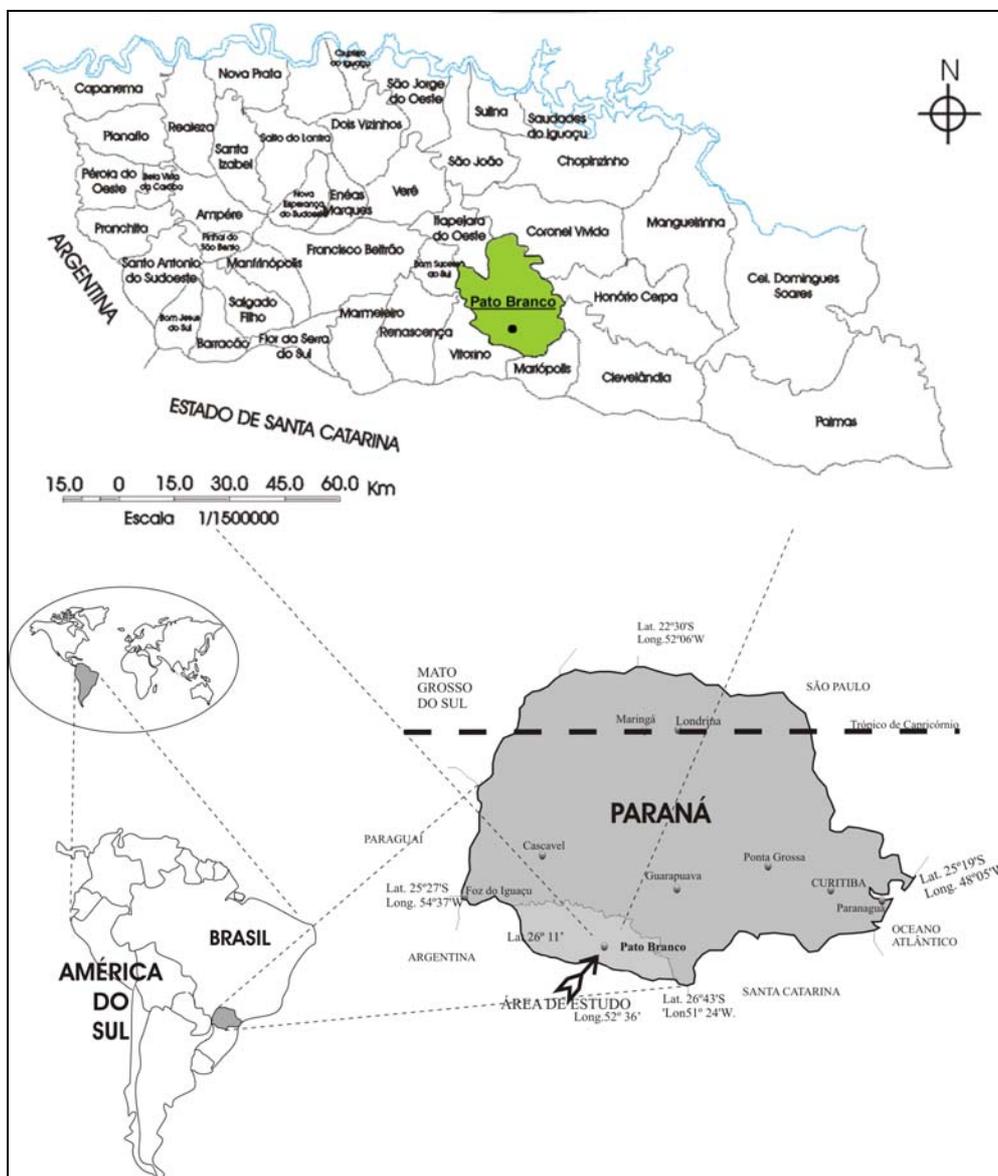


Figura 1 - Localização do município de Pato Branco no estado do Paraná e na região sudoeste

Na área de estudo a vegetação pertence a Floresta Subtropical Perenifólia que caracteriza-se por ser mais resistente ao frio e menos exuberante que as florestas tropicais, sendo que as árvores são geralmente de porte médio, havendo, no entanto locais com domínio de indivíduos de grande porte e de grande diâmetro.

Esta floresta em geral, apresenta três níveis ou estratos, sendo o superior constituído por araucária, imbuia, cedro, canela e outras espécies de grande porte; o médio por pimenteira, erva-mate, caroba, bracatinga e outras; e o inferior por ervas, arbustos e gramíneas (EMBRAPA e IAPAR, 1984).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução deste estudo, o trabalho foi dividido em três etapas. A primeira parte consistiu em fazer uma revisão das bibliografias sobre os aspectos naturais da área da bacia do Rio Ligeiro, caracterizando fisiograficamente a área de estudo. Além disso, agregou-se o material necessário para preparar de uma base cartográfica digital. A segunda parte consistiu em fazer um reconhecimento local da área, registrando através de fotografias os aspectos gerais e coletando amostras de solo deformadas e indeformadas para posterior determinação de parâmetros geotécnicos em laboratório. Na última etapa montou-se um banco de dados com as informações obtidas, e aplicou-se a equação para os cálculos do Fator de Segurança, partindo-se para a análise dos resultados encontrados e produção dos mapas temáticos. Nesta fase também se elaborou o Mapa de Fator de Segurança.

Para extração das informações básicas, tais como curvas de nível, vias de acesso, rede de drenagem principal pontos cotados entre outros, foram utilizadas: as cartas topográficas, na escala 1:50.000, "Pato Branco" e "Mariópolis" (Folha SG.22-Y-A-X-III-4) da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, (1980); a Base Planialtimétrica do Perímetro Urbano de Pato Branco, na escala 1:10.000.

Na seqüência foi elaborado o Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Figura 02) através da classificação da imagem do satélite *QUICKBIRD* de dezembro de 2005, sendo as classes identificadas no mapeamento de uso e ocupação do solo baseou-se seguindo o critério proposto pelo IBGE (2006). As classes cobertas por estratos vegetais, foram divididas conforme o seu porte e estágio de regeneração, ficando a legenda do mapa de uso e ocupação do solo assim representado:

Agricultura: a essa classe corresponde a todas as áreas de cultivo, independentemente do tipo de cultura e se de espécies perenes ou temporárias.

Campo: classe que corresponde às áreas de pastagem sem presença arbustiva.

Urbana: área com ocupação urbana, lotes residenciais, comerciais, industriais e infra-estrutura pública.

Capoeira: São comunidades vegetais de porte ralo a médio, que incluem os estágios da vegetação herbácea, regenerando após sofrerem corte raso.

Florestas: Consiste em toda a vegetação da formação pioneira e floresta secundária. A formação pioneira apresenta na sua estrutura original mais do que um estrato arbóreo. A floresta secundária sofreu regeneração, após o corte raso, apresentando assim, diferentes estágios de vegetação, conforme a sua recuperação.

Corpo d'água: classe que representa os rios e lagos existentes na área de estudo.

Não classificado: classe que representa a área do mapa que não pertence ao município de Pato Branco, não sendo analisada no estudo.

Foram excluindo dos cálculos do Fator de Segurança as áreas ocupadas pelos Depósitos Aluvionares, por apresentarem-se totalmente estáveis e os corpos d'água, (totalizando 4,14 Km²). As classes de Uso do Solo da bacia foram reorganizadas e ficaram divididas, conforme a Tabela 01, respectivamente em 1,66% de Capoeira, 16,43% de Florestas, 20,17% de Campo, 24,46% de Agricultura e 37,28% de Uso Urbano.

O próximo passo foi organizar as informações em forma de banco de dados. Com a finalidade de completar o reconhecimento da área estudada realizaram-se várias visitas a campo, descrevendo os perfis dos solos, coletando-se amostras de solo para laboratório, esclarecendo dúvidas sobre os alvos observados nas imagens de satélite e nas fotografias aéreas, para o seu mapeamento.

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo foi de grande utilidade para a separação das áreas de cobertura vegetal de porte arbóreo (onde o vento influencia o fator de segurança das encostas), das áreas de vegetação de porte mais ralo (de pouca relevância na aplicação da equação de fatores de segurança) das demais áreas sem vegetação.

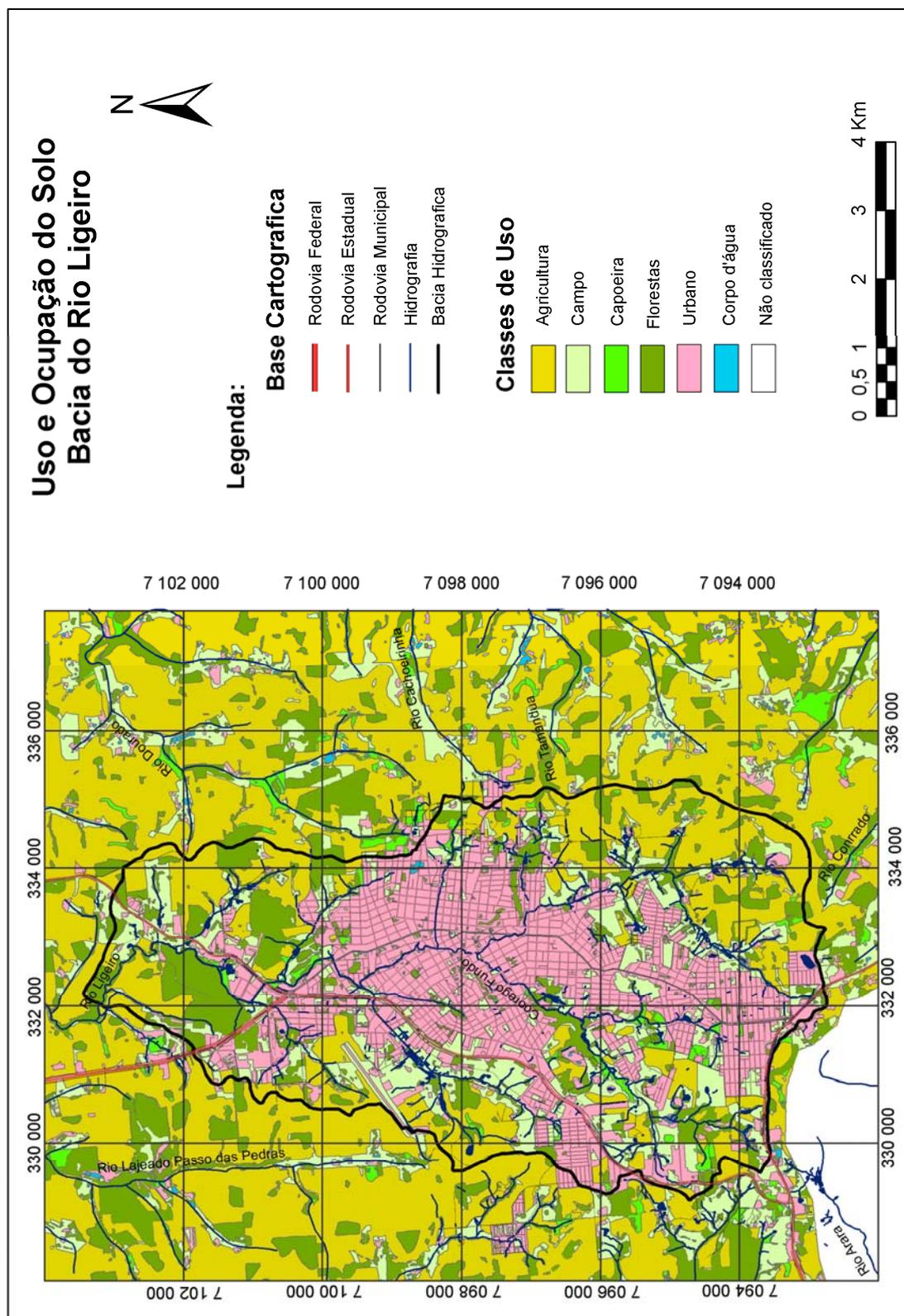


Figura 2 - mapa de uso e ocupação do solo

Tabela 1

Uso do solo da bacia sem considerar áreas de depósitos aluvionares e corpo d'água

Uso do solo na Bacia	Área total da bacia		Área da bacia sem os depósitos aluvionares e corpo d'águas	
	Área (Km ²)	(%)	Total (Km ²)	Total (%)
Florestas	7,26	16,5	6,55	16,43
Capoeira	0,76	1,73	0,66	1,66
Urbano	16,81	38,2	14,86	37,28
Agricultura	9,91	22,52	9,75	24,46
Campo	9,09	20,66	8,04	20,17
Corpo d'água	0,17	0,39		
Total da Bacia	44,00	100	39,86	100

O Mapa de Orientação das Encostas (Figura 3) foi gerado através do *ASPECT*, ferramenta do *ArcMap* que identifica a direção das vertentes baseando-se na direção da máxima declividade de cada célula com seus vizinhos. Os valores de cada célula do *grid* gerado é a direção de bússola do aspecto. O conhecimento da orientação das encostas foi fundamental para este estudo uma vez que, as equações usadas para o cálculo do Fator de Segurança com vegetação, utilizam a velocidade do vento como uma das variáveis.

Determinação de Fator de Segurança

O Fator de Segurança (F_S) indica o grau de estabilidade de uma vertente, e ainda a superfície de ruptura crítica, quando este for mínimo. Trata-se de um valor adimensional que resulta da razão entre as forças resistentes ao movimento e as solicitantes do mesmo. Por esta definição clássica, observa-se que, quando as forças forem de igual valor, tem-se um Fator de Segurança unitário, representando a situação limite de equilíbrio, onde se igualam as forças resistentes e as solicitantes do movimento. Quando $F_S < 1$ significa que as forças solicitantes excederam às de resistência, e nesta situação o talude é considerado instável. Caso contrário, quando o numerador for maior que o denominador, o F_S será maior que 1, denotando condição estável e estabilidade no sistema.

O modelo matemático adotado no trabalho teve por base a distribuição das forças atuantes em um talude de extensão infinita, avaliando a influência do vento na vegetação, através do Fator de Segurança. Os Mapas de Fatores de Segurança das encostas foram gerados, inicialmente, a partir da interpolação dos mapas temáticos (declividade, mapa de uso e ocupação do solo, orientação da encosta e mapa de solos). A integração dos dados realizou-se em ambiente SIG, tendo como ferramenta o *software ArcMap*. Para a confecção do mapa de índices de segurança das encostas, foram estabelecidas nove classes de intervalo de Fator de Segurança e convencionou-se que para a encosta ser considerada estável o Fator de Segurança determinado deverá resultar em um valor maior que 1,5, em conformidade com o utilizado pelo DNER (1996) em taludes das rodovias brasileiras (Tabela 2).

Tabela 2

Definição das classes de cada intervalo de Fator de Segurança, considerando F_S de estabilidade determinado pelo DNER ($F_S = 1,5$) como padrão.

INTERVALOS DE F_S	CLASSES	DIAGNÓSTICO
$0 < F_S < 1$	1	Instabilidade
$1 \leq F_S < 1,5$	2	
$1,5 \leq F_S < 2$	3	Estabilidade crítica
$2 \leq F_S < 3$	4	Boa estabilidade
$3 \leq F_S < 4$	5	Alta estabilidade
$4 \leq F_S < 5$	6	Excelente estabilidade
$5 \leq F_S < 8$	7	
$8 \leq F_S < 10$	8	
$F_S \geq 10$	9	

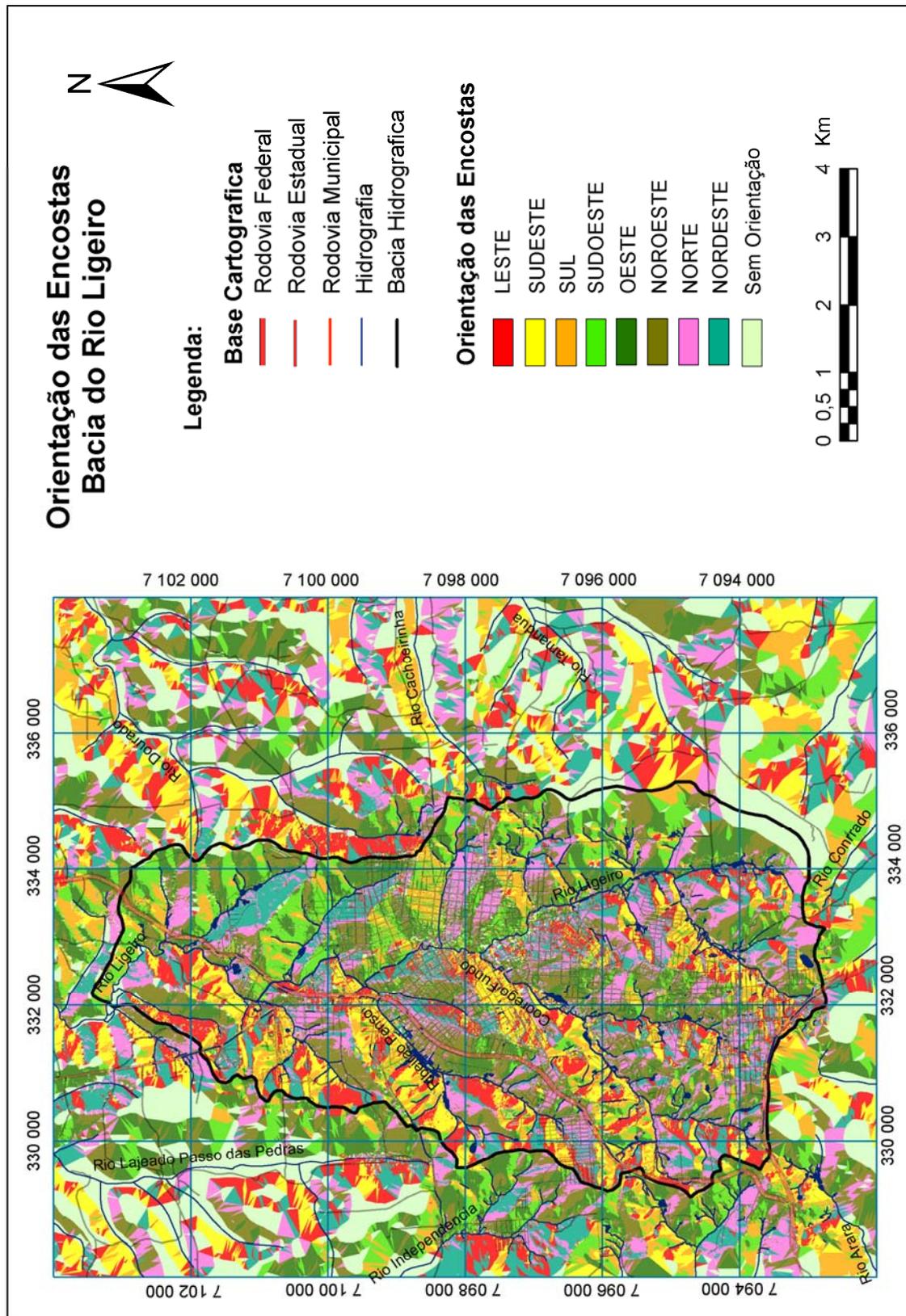


Figura 3 - Mapa de orientação das encostas

Os valores de Fator de Segurança foram obtidos para a área da bacia do Rio Ligeiro a partir da aplicação do modelo matemático adotado, através de operações matemáticas e correlações espaciais entre mapas temáticos, utilizando Sistemas de Informação Geográficas (Figura 4).

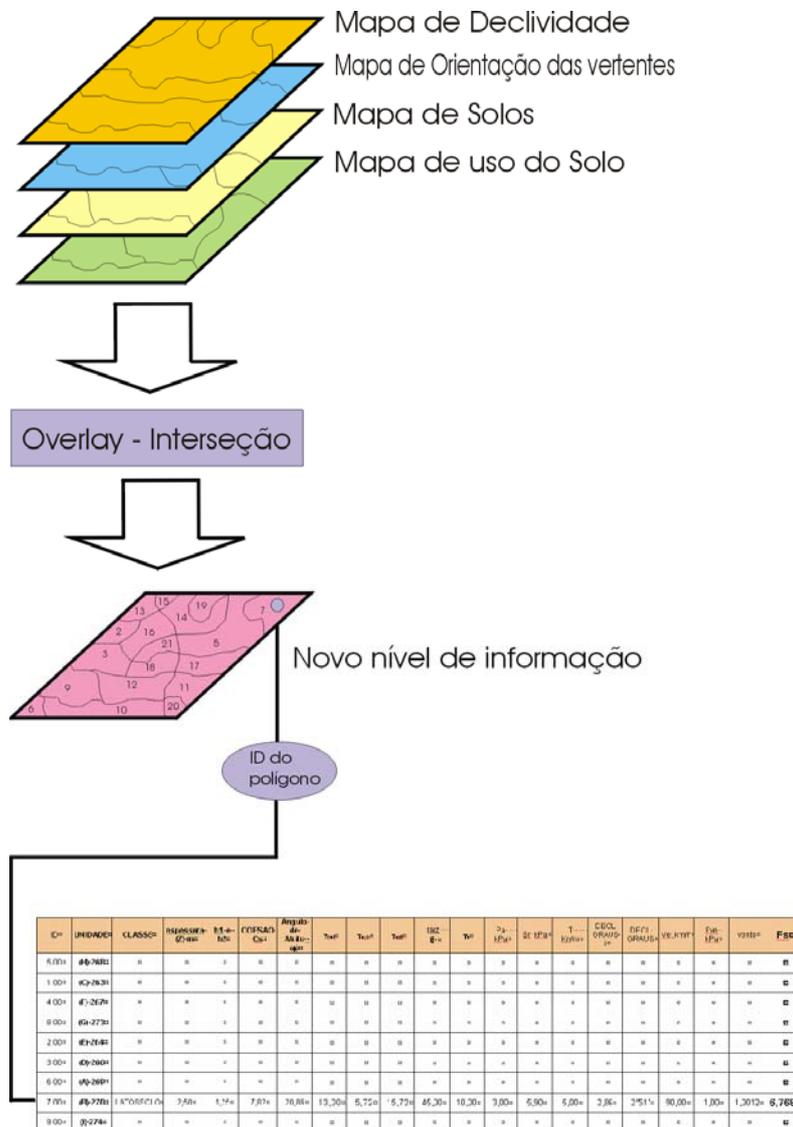


Figura 4 - Esquema das atividades realizadas para cálculo do fator de segurança

Fator de Segurança com Cobertura Vegetal

A força exercida pelo vento sobre a cobertura vegetal é transmitida ao solo e, se o vento soprar no sentido da inclinação da vertente, essa força deverá ser adicionada às forças mobilizantes.

Dessa forma, o vento deve ser estudado detalhadamente, para se conhecer sua influência ou não no surgimento de escorregamentos.

Neste estudo, ao invés de usar uma única velocidade de vento para todas as direções ou valores estipulados por pesquisadores ou bibliografias, optou-se por fazer uma análise nos ventos na região, baseado nos dados fornecidos pelo SIMEPAR. Dessa forma, consideraram-

se os diferentes valores dependendo da direção do vento, para fins de cálculo, na aplicação da equação que determina a pressão de arrasto do vento.

Obteve-se as medições das velocidades dos ventos feitas na estação climatológica de Pato Branco nos últimos 9 anos (1997 – 2005), estes dados informam dia, mês e ano, velocidade do vento a cada hora em m/s direção que o vento sopra em ângulo (0 – 360°). Como desta forma os dados não poderiam ser utilizados nas equações do cálculo do Fator de Segurança das Encostas, foi criada uma rotina no *software EXCELL*, para fazer a transformação dos dados de velocidade para km/h e que alterasse a direção do vento de ângulo para direção de bússola (Norte, Sul, Leste, etc), tornando possível calcular a velocidade média dos ventos nas diferentes orientações e o tempo em porcentagem que o vento sopra numa determinada direção (Tabela 3).

Tabela 3

Direção e velocidade média dos ventos em Pato Branco - Paraná, 1997/2005

Direção	1997		1998		1999		2000		2001	
	Vel Média (Km/h)	Direção (%)								
NORTE	11,63	12,77	10,08	11,33	10,55	7,65	10,57	12,26	9,85	11,92
NORDESTE	10,25	11,76	9,18	8,77	10,00	7,35	8,93	9,37	9,42	9,92
LESTE	9,44	14,90	8,90	11,98	9,82	10,85	8,36	11,86	8,92	12,63
SUDESTE	10,45	20,87	10,27	22,98	11,25	23,65	9,87	23,05	9,85	24,37
SUL	10,46	19,30	9,95	21,75	11,02	23,85	9,92	21,80	9,60	20,23
SUDOESTE	10,07	6,22	9,38	7,38	10,28	8,85	9,58	8,06	9,56	6,67
OESTE	8,30	3,43	8,78	4,56	9,44	4,50	8,36	4,22	8,79	3,55
NOROESTE	9,00	4,77	9,16	5,97	8,98	4,35	9,34	5,85	9,19	5,81
CALMARIA	0,00	5,99	0,00	5,28	0,00	8,95	0,00	3,52	0,00	4,90
Direção	2002		2003		2004		2005		%	vel.Km/h
	Vel Média (Km/h)	Direção (%)								
NORTE	10,85	12,22	10,54	12,14	9,26	9,65	11,03	9,85	11,09	10,48
NORDESTE	9,50	10,70	9,24	9,10	9,22	10,17	9,29	9,98	9,68	9,45
LESTE	8,72	13,35	7,99	10,35	8,86	12,97	8,65	12,84	12,41	8,85
SUDESTE	10,02	23,93	9,62	22,50	9,61	22,96	10,00	23,14	23,05	10,10
SUL	9,93	20,63	10,04	22,58	9,43	22,78	10,65	21,52	21,60	10,11
SUDOESTE	9,23	7,01	9,26	8,20	8,91	7,71	10,14	7,39	7,50	9,60
OESTE	8,06	3,30	8,63	3,97	7,85	3,66	8,51	3,29	3,83	8,52
NOROESTE	9,41	5,01	8,91	5,37	8,23	5,01	9,25	4,43	5,17	9,05
CALMARIA	0,00	3,87	0,00	5,80	0,00	5,09	0,00	7,56	5,66	0,00

Conforme é possível ver na Tabela e Figura 5 a maior concentração de ventos e velocidades médias está nas direções SUDESTE (23,05% do total) e SUL (21,60% do total). Através das planilhas elaboradas foi possível saber que as direções NORTE e SUL concentram os ventos mais fortes na área, apesar de ser freqüente a existência de ventos elevados em outras direções.

No levantamento realizado os maiores picos encontrados foram de 70 km/h na direção NOROESTE; 60 km/h na direção SUL; 56 km/h na direção NORTE; 52 km/h na direção

SUDOESTE; 48 km/h na direção OESTE; 42 km/h na direção LESTE; 40 km na direção SUDESTE e 35 km/h na direção NORDESTE.

Tabela 4

Direção e velocidade média dos ventos em Pato Branco – Paraná – 1997/2005.

Direção	Vel.km/h	%
Norte	10,48	11,09
Nordeste	9,45	9,68
Leste	8,85	12,41
Sudeste	10,10	23,05
Sul	10,11	21,60
Sudoeste	9,60	7,50
Oeste	8,52	3,83
Noroeste	9,05	5,17
Calmaria	0,00	5,66

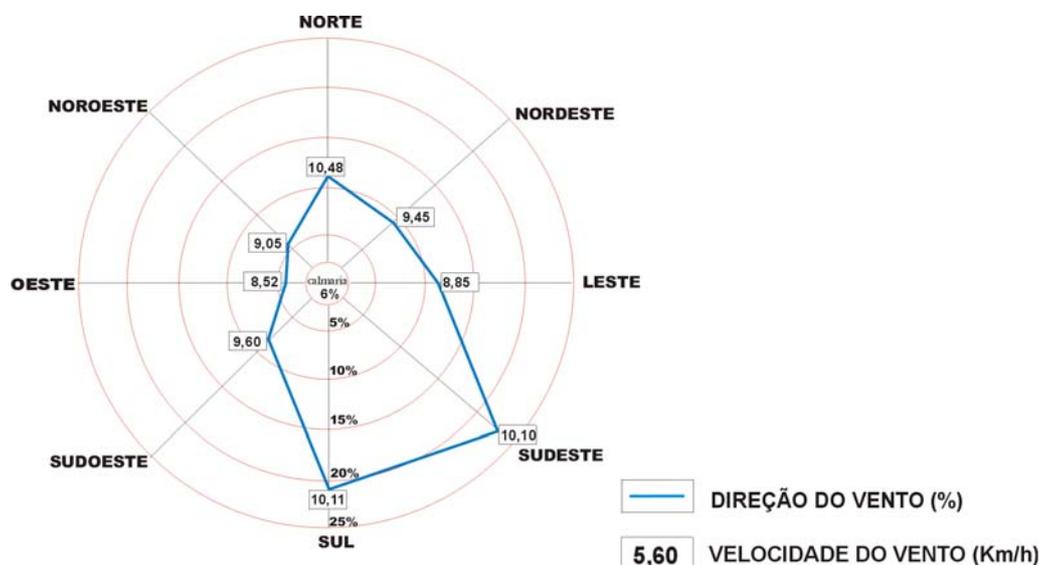


Figura 5 - carta climática do sudoeste do Paraná

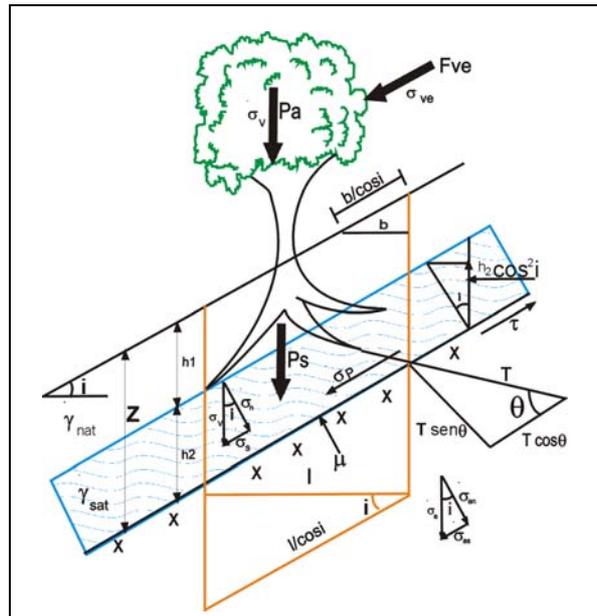
Quando a influência do vento é considerada na avaliação da estabilidade de encostas, alguns aspectos podem ser quantificados e inseridos no modelo matemático adotado.

A Figura 6 mostra os parâmetros acrescidos no caso de haver cobertura vegetal de porte considerado e ventos soprando no sentido da inclinação da vertente.

Pressão exercida pelo vento sobre as árvores (σ_{ve})

A pressão (σ_{ve}) exercida pelo vento sobre uma cobertura vegetal pode ser transmitida ao solo, devendo esta força ser adicionada às forças favoráveis ao movimento. O cálculo que define a força do vento (F_{ve}) está relacionado à inclinação da vertente, sendo definido através da razão entre a pressão exercida pelo vento (σ_{ve}), nas copas das árvores, com a área da vertente ($1/\cos i$), dada por:

$$F_{ve} = \frac{\sigma_{ve}}{\cos i} \quad (01)$$



Fonte: FIORI e CARMIGNANI (2001).

Figura 6 - Principais fatores que influenciam na análise de vertentes e força do vento atuante

A pressão de arrasto do vento nas árvores foi investigada através de experimentos com florestas modelos, em túneis de vento (HSI e NATH, 1970). Os dados obtidos pelos experimentos foram então submetidos em uma equação que determina o valor da (σ_{ve}), sendo a pressão de arrasto do vento dada por:

$$\sigma_{ve} = C \left(\frac{\rho \mu_a^2}{2} \right) \quad (02)$$

C é o coeficiente de arrasto, possuindo valores de 0,30 e 0,15 kPa,
 ρ é a densidade do ar (0,00123 g/cm³)
 μ é velocidade do vento em Km/h

Para efeito de cálculo, consideraram-se como velocidade do vento os picos encontrados na área de estudo para as várias direções. Adotou-se como peso das árvores (P_a) uma média de 3,6 kPa para florestas e 2,0 kPa para capoeiras, conforme KOZCIAK (2005). A partir de relações trigonométricas extraídas de modelo de um sistema solo/raiz, sujeito a cisalhamento simples, (FIORI e CARMIGNANI, 2001), tem-se a que Contribuição da Raiz para Coesão do Solo (S_r) igual a 5,9 kPa.

A Tensão suportada pelas Raízes na Resistência do Solo à Ruptura (T), segundo Styczem e Morgan (1995) gira em torno de 5 kN/m.

Utilizando os parâmetros para determinar o Fator de Segurança, caso de solo saturado, ($h_1=0$ e $h_2=Z$) e incluindo os parâmetros de cobertura vegetal (contribuição da raiz para a coesão do solo, e a tensão que são submetidas às raízes como forças resistentes ao movimento; força do vento atuando sobre a copa das árvores, como força solicitante; o peso das árvores tanto como força resistente como solicitante) a equação utilizada pode ser definida como:

$$F_S = \frac{(C_s + S_r) + [(Z \cdot \gamma_{sub} + P_a) \cdot \cos^2 i + T \cdot \text{sen} \theta] \cdot \text{tg} \phi + T \cdot \cos \theta}{[(Z \cdot \gamma_{sub} + Z \cdot \gamma_a + P_a) \cdot \text{sen} i + F_{ve}] \cdot \cos i} \quad (06)$$

Onde:

F_S = Fator de Segurança;
 C_S = coesão do solo;
 S_r = contribuição da raiz para a coesão do solo;
 Z = profundidade do solo;
 h_1 = espessura do solo não saturado;
 h_2 = espessura do solo saturado;
 γ_{nat} = peso específico natural do solo;
 γ_{sub} = peso específico do solo submerso;
 γ_a = peso específico da água;
 P_a = peso das árvores sobre o solo;
 F_{ve} = força exercida pelo vento nas árvores;
 ϕ = ângulo de atrito interno do solo;
 i = ângulo de inclinação da vertente;
 T = tensão das raízes.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma vez determinada todas as variáveis que atuam no processo de estabilidade de uma encosta, aplicou-se o modelo matemático, obtendo diferentes valores de Fator de Segurança nas simulações realizadas. Este modelo possibilita o mapeamento dos diferentes graus de risco ao escorregamento, interpolando os dados obtidos pelas equações de Fator de Segurança com as cartas temáticas elaboradas.

Nesses casos, as forças derivadas da presença de vegetação aumentam a resistência ao escorregamento do solo. Observa-se que a presença de vegetação, aliada à coesão do solo, contribui significativamente para a estabilidade das vertentes, não havendo região instável onde existe vegetação. Durante o mapeamento dos índices de segurança das encostas, pode-se observar a existência de zonas estabilizadas pela cobertura vegetal, com altas declividades, tornando-se instáveis tão logo é retirada a cobertura vegetal.

A Figura 7 mostra um comparativo do Fator de Segurança de uma área com vegetação e a mesma área desconsiderado a cobertura vegetal.

A orientação das encostas influenciou no resultado das equações, uma vez que, os fenômenos climáticos agem de maneira diferenciada nas encostas dependendo de sua orientação. Além de existir incidência de sol e chuvas diferentes sobre as encostas, sabe-se que a velocidade do vento sopra de forma desigual nas diversas direções, fazendo com que exista uma disparidade de forças atuando nas encostas devido a sua orientação.

Na equação que incluem os parâmetros da vegetação utilizaram-se diferentes velocidades de vento, dependendo da orientação da encosta, conforme o estudo realizado nos ventos da região. No levantamento realizado os maiores picos de vento encontrados foram de 70 km/h na direção NOROESTE; 60 km/h na direção SUL; 56 km/h na direção NORTE; 52 km/h na direção SUDOESTE; 48 km/h na direção OESTE; 42 km/h na direção LESTE; 40 km na direção SUDESTE e 35 km/h na direção NORDESTE.

Esses valores foram substituídos nas equações e aplicados nas encostas de acordo com a orientação de cada uma.

Apesar de nas áreas com vegetação os Fatores de Segurança encontrados forem maiores que 1,5 (encosta estável), percebeu-se um decréscimo da segurança a medida que se aumentava a velocidade do vento. Observou-se que em vertentes com as mesmas características de inclinação, uso e solos, mas com diferentes orientações, ocorreram grandes alterações no F_S devido as diferentes velocidades do vento.

Para demonstrar este fato selecionaram-se áreas cobertas por floresta, com solo do tipo Nitossolo e declividade de 10%. O fator de segurança modificou-se a medida que variava a orientação da encosta devido a diferença de velocidade do vento conforme a sua direção, conforme Tabela 5.

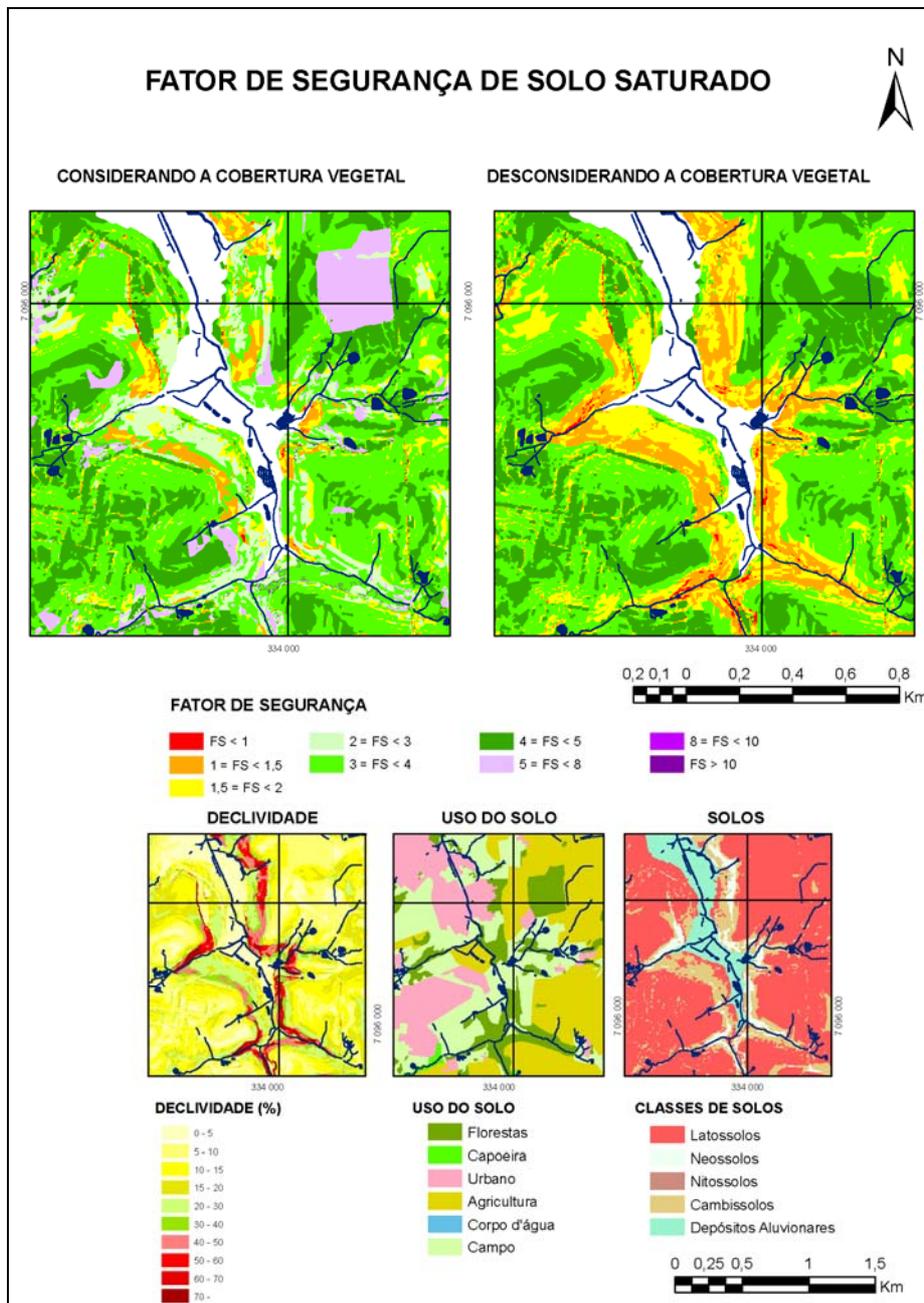


Figura 7 - Comparativo do fator de segurança de uma área com e sem vegetação

A redução do F_s nesse caso pode chegar até a 14,13%, ou seja, teoricamente encostas com as mesmas características e mesma cobertura vegetal, podem ter seu Fator de Segurança reduzido em 14,13% dependendo da sua orientação.

Este dado mostra a importância de se conhecer detalhadamente os efeitos climáticos sobre a encosta, uma vez que ao adotar valores únicos de vento para todas as direções corre o risco de superestimar o FS de algumas encostas e de subestimar de outras. Ou seja, uma encosta

com vegetação pode se tornar instável dependendo da força e direção que o vento atua sobre a vegetação. Se adotar uma velocidade máxima do vento igual em todas as direções das encostas, corre-se o risco de considerar como instável, áreas que na verdade são estáveis.

Tabela 5

Fator de Segurança das áreas cobertas por florestas, solo do tipo Nitossolo e declividade de 10%, variando conforme a orientação da encosta

Orientação da encosta	Velocidade do vento (km/h)	F_{ve}	F_s
Nordeste	35,00	0,15	8,275
Sudeste	40,00	0,20	8,138
Leste	42,00	0,22	8,080
Oeste	48,00	0,28	7,893
Sudoeste	52,00	0,33	7,761
Norte	56,00	0,39	7,623
Sul	60,00	0,44	7,480
Noroeste	70,00	0,60	7,106

Neste trabalho buscou-se desenvolver uma metodologia voltada para o levantamento de áreas que apresentam risco, mapeando os diferentes Fatores de Segurança das encostas aos escorregamentos, permitindo assim a quantificação da possibilidade de ocorrer esse tipo de acidente nas vertentes da área de estudo.

CONCLUSÕES

O trabalho foi proposto com o objetivo de estudar as condições de estabilidade das encostas pertencentes a bacia do Rio Ligeiro no município de Pato Branco – Pr. Essas condições são dadas por um Fator de Segurança que representa a razão entre as forças favoráveis e as forças resistentes ao movimento de um talude.

O cálculo da estabilidade de vertentes pelo método determinístico possibilitou quantificar os graus de risco em valores absolutos, através da avaliação de índices de segurança.

De acordo com os resultados alcançados no presente estudo, verifica-se que a bacia do Rio Ligeiro apresenta áreas com instabilidade, susceptível a escorregamentos, como consequência dos fatores ambientais (pluviosidade e ventos), do meio físico (tipo de solos, declividade e orientação das encostas) e da ocupação antrópica das encostas.

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas apresentaram-se eficientes na interpolação dos mapas temáticos e na confecção dos mapas de Fatores de Segurança das encostas a partir dos dados de índice de segurança, obtidos pela aplicação das equações.

Os fatores envolvidos na análise de estabilidade encontrados foram aplicados em um modelo matemático para na análise dos índices de segurança da área estudada, em função da presença ou não de vegetação na vertente.

Foi possível, através deste trabalho de pesquisa, realizar a caracterização da velocidade e direção dos ventos da bacia estudada, elementos importantes para determinação dos efeitos da força do vento nas copas das árvores.

Observou-se também que as encostas voltadas para a direção NOROESTE e SUL possuem ventos com as maiores velocidades, apresentando menor F_s em relação as demais. A redução do F_s de uma encosta orientada para NOROESTE para outra com as mesmas características, mas orientada para NORDESTE pode chegar até a 14,13%.

Enfim, pode-se concluir que a metodologia aqui apresentada mostrou-se satisfatória, apresentando resultados coerentes com a realidade. O conhecimento das limitações e potencialidades dos terrenos possibilitará ao governo municipal tomar decisões em relação ao

uso e ocupação do solo, a partir do conhecimento das principais características do meio físico estudado.

Espera-se que, este trabalho contribua com a sociedade em geral no desenvolvimento da cidade, servindo como uma ferramenta de subsídio ao crescimento planejado da cidade, respeitando as questões ambientais e orientando o uso e ocupação do solo na área de expansão do município.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo: Oficina de Textos. p. 243-270, 1998.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Hidrogeológico da América do Sul – Escala: 1:5.000.000**: texto explicativo/UNESCO, Departamento Nacional de Produção Mineral. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Brasília: CPRM, 1996.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. **Manual de Pavimentação**. MT – Ministério de Transportes; Divisão de Capacitação Tecnológica. 327p., p. 48-62, 1996.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudoeste do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1974. 79 p. (Boletim Técnico n. 40)

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 196p. 2t. (Boletim de Pesquisa, 27)

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Mapa de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA : IAPAR, 1984 b. Escala 1:600.000.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

FIORI, A. P.; BORCHARDT, N. **Influência da vegetação na estabilidade de taludes naturais**. Curitiba: Boletim Paranaense de Geociências, n 45, p. 43-58, 1997.

GRAY, G.L.; LEISER, A.J. Role of vegetation in stability and protection of slopes. In: **Biotechnical slope protection and erosion control**. P.37-65. New York. Van Nortrand Reinhol Company, 1982.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: E. Blücher, 1983. 196 p.

HSI, G. & NATH, J.H. **Wind drag within a simulated forest**. Journal of Applied Meteorology, **9**, 592–602, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**. Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 7. Rio de Janeiro, 2006.

KOZCIAK, S. **Análise da estabilidade de vertentes na bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. UFPR, Curitiba, 2005. tese.

MOREIRA, C.V.R.; PIRES NETO, A.G. **Clima e Relevô**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo: Oficina de Textos. p. 69-86, 1998.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

PRANDINI, L. F.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J.A.; PONÇANO, W.L.; SANTOS, A.R. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 38 p. (Relatório n. 1074), 1976.

STYCZEN, M.; MORGAN, R.P.C. **Engineering properties of vegetation**. Morgan, R.P.C., Rickson, R.J. (ed.), E&FN SPON, London, 274 p. Cap. 2, p, 2-58, 1995

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão**. In. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987, São Paulo. Anais...São Paulo: ABGE. v.2, p.225-236.

VARGAS, M. **Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos na Serra do Mar**. Boletim Solos e Rochas (ABMS e ABGE), v. 22 n 1, São Paulo, 1999.