



---

---

## MODELADO DO RELEVO E CONFORMAÇÃO DO PERFIL DAS VERTENTES NA MICROBACIA DO ARROIO CADENA/SANTA MARIA-RS.

Cristiane Regina Michelon<sup>1</sup> (crmich@bol.com.br); Elisângela R. Curti Martins<sup>2</sup>  
(elismartiss@yahoo.com); Mauro Kumpfer Werlang<sup>3</sup> (mwerlang@hanoi.base.ufsm.br)  
LEA-Laboratório de Estudos Ambientais-Departamento de Geociências-CCNE/UFSM, sala 1137;  
(0xx)220-8932

Palavras chave: vertente, conformação do perfil  
Eixo temático: Cartografia geomorfológica

### 1-Introdução

Atualmente vem se observando um crescimento populacional que reflete em profundas modificações na paisagem. Na busca de suprir suas necessidades o homem acaba interferindo na natureza do ambiente. Ocupações desordenadas, substituição da cobertura florestal original pelos mais diversos tipos de uso, construção de barragens e estradas, são alguns dos vários fatores que acabam comprometendo o meio físico. A urbanização, historicamente, é resultante da divisão social do trabalho a partir do momento em que o excedente agrícola acumulado “...permitiu que uma porção da população pudesse se desvincular da obtenção direta dos meios de que obtinham para sua subsistência, passando dessa forma poder dedicar-se a outras atividades relacionadas à política, troca de produtos, comércio”, (Costa *apud* Zillmer, 1991, p. 28). Juntamente com o processo de urbanização vêm os problemas relacionados à segregação espacial e econômica nas cidades, ou seja, o bairro e periferia. O aumento da população reflete um processo que desencadeou a grande expansão dos núcleos urbanos. Assim sendo, as interferências e as perturbações provocadas estão mais visíveis próximos de rios, arroios e córregos, onde, geralmente em função do aspecto legal e baixa valorização imobiliária, instalam-se aquelas pessoas marginalizadas pela segregação social. Vê-se aumentar ainda mais os problemas quando ocorre a retirada da vegetação, presença de lixo e esgoto, com conseqüentes deslizamentos, erosão, assoreamentos, proporcionando maiores riscos de inundações e alagamentos.

A cidade de Santa Maria possui várias vilas onde ocorrem conflitos de uso. Nesse sentido Christofolletti *et al* (1993) consideram que os processos de desenvolvimento e ocupação do espaço pela atividade humana tem desencadeado uma necessidade crescente

---

<sup>1</sup> Licenciada em Geografia-Departamento de Geociências-CCNE-UFSM e aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo-Departamento de Solos-CCR.

<sup>2</sup> Bacharel em Geografia- Departamento de Geociências-CCNE-UFSM e aluna do Programa de Pós- Graduação em Geociências

<sup>23</sup> Orientador - Professor Assistente do Departamento de Geociências-CCNE-UFSM.



de estudos da paisagem que subsidiem a elaboração de planos ordenadores da relação homem/ natureza, a fim de ser minimizada a degradação ambiental. Assim considerando que estudos geomorfológicos fornecem importantes subsídios para avaliar o grau de fragilidade das áreas frente à ação dos processos morfogenéticos, o presente trabalho objetiva analisar os diferentes modelados do relevo destacando as áreas de cabeceiras de vale como fontes de alimentação para os processos erosivos.

## **2-Localização e caracterização geral da área**

A área de estudo compreende a microbacia hidrográfica do Arroio Cadena e está localizada na região central do estado Rio Grande do Sul. A área assenta-se sobre litologias da Formação Santa Maria (membro Passo das Tropas e Membro Alemoa), Formação Caturrita, Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Terraços Fluviais e sedimentos atuais do Quaternário. Quanto à geomorfologia, a área está situada na Depressão Central do Rio Grande do Sul (também denominada Depressão Periférica Sul Rio-Grandense), na transição para o Planalto Meridional Brasileiro (planalto e chapadas da bacia do Paraná). O relevo da Depressão Central caracteriza-se por apresentar uma topografia suave, com baixas cotas altimétricas, onde se destacam planícies aluviais, terraços fluviais e as coxilhas. Na zona de transição entre a Depressão Central e o Planalto ocorrem níveis de pedimentos. Corresponde à escarpa da Serra Geral onde ocorre a presença de vales causados pela erosão fluvial regressiva, propiciando o recuo da escarpa e o aparecimento de morros residuais. Nessa área é comum a ocorrência de fenômenos de erosão e movimentos de massa generalizados, que provocam sulcos e ravinas.

Em relação à rede hidrográfica, a área pertence à bacia do rio Vacacaí. Apresenta um padrão de drenagem que enquadra-se no tipo sub-dentrítico (apresentando controle estrutural no curso principal). Em alguns casos o controle estrutural caracteriza padrões sub-paralelos na drenagem. Está representada por canais de primeira, segunda, terceira e quarta ordem. Estes canais fluviais são responsáveis pelo modelado e dissecação dos interflúvios e pelo entalhamento dos talvegues.

No que se refere ao clima, caracteriza-se por apresentar quatro estações bem definidas com chuvas bem distribuídas durante o ano. Conforme a classificação climática de Köppen, citado por Ayoade (1986), corresponde ao clima mesotérmico brando Cfa (temperado quente) apresentando como características invernos frios, com temperatura média do mês mais frio entre 13°C e 15°C. Os verões são quentes, com temperatura média do mês mais quente superior a 24°C. As precipitações são regulares durante todo o ano,



não apresentando estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1500 mm e 1600 mm. Os ventos predominantes são de Leste e Sudeste.

A área sofreu significativas alterações na cobertura original da vegetação. Parte da área apresenta-se inserida no domínio dos campos com capões e matas galerias. A área que atualmente é dedicada à pecuária e agricultura apresenta uma cobertura de gramíneas entremeadas de pontos com vegetação remanescente. São as formas ciliares representadas pelos capões e capoeiras galerias. Na porção representada pelo Rebordo do Planalto (norte da área), e porção leste-sul, os empreendimentos agrários e, principalmente os urbanos impuseram modificações na vegetação, apresentando remanescentes da floresta Estacional Decidual e floresta Estacional Semidecidual. Os agrupamentos remanescentes da cobertura vegetal original situam-se nas partes íngremes das encostas. O desmatamento foi seguido de uma ocupação agropecuária e urbana intensa.

### **3-Metodologia**

#### **3.1-Elaboração do esboço geomorfológico e geológico**

O esboço geomorfológico foi obtido através da fotointerpretação de aerofotogramas verticais em escala de 1: 8.000. Inicialmente, delimitou-se os três compartimentos geomorfológicos presentes na área de estudo: O Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, Depressão Central e a Planície Aluvial. Obteve-se o perfil da forma da vertente com base nos aerofotogramas verticais, conforme a proposição de Rocha (1986). Esses foram analisados de acordo com o Índice de Curvatura de Crista (ICC); Índice de Curvatura de Base (ICB) e o Índice de Massa (IM) conforme Christofolletti (1980). Compilou-se o mapa da geologia baseando-se na carta geotécnica de Santa Maria elaborada por Maciel Filho (1999).

#### **3.2-Elaboração da Carta de Dissecação do Relevo**

Para a elaboração do mapa de dissecação do relevo empregou-se a metodologia proposta pelo projeto RADAMBRASIL, (1986) e Ross (1992,1996). Esta baseia-se na relação entre a densidade de drenagem e a dimensão interfluvial média para a dissecação no plano horizontal, e no grau de entalhamento dos canais, para a dissecação no plano vertical.

O Quadro 1 mostra o enquadramento dos índices de dissecação do relevo a partir da proposta de Ross (1996).



Quadro 1: Matriz dos índices de dissecação do relevo adaptada para escala 1:25.000

<i>Dimensão interfluvial média</i>	<i>Muito grande (1)</i>	<i>Grande (2)</i>	<i>Média (3)</i>	<i>Pequena (4)</i>	<i>Muito Pequena (5)</i>
<i>Entalhamento médio</i>	<i>&gt;750m</i>	<i>7 a 15mm</i>	<i>3 a 7mm</i>	<i>1 a 3mm</i>	<i>1mm</i>
	<i>&gt;15mm</i>				
<i>Muito fraco (1)</i>	11	12	13	14	15
<i>&lt; de 20m</i>					
<i>Fraço (2)</i>	21	22	23	24	25
<i>20 a 40m</i>					
<i>Médio (3)</i>	31	32	33	34	35
<i>40 a 80m</i>					
<i>Forte (4)</i>	41	42	43	44	45
<i>80 a 160m</i>					
<i>Muito forte (5)</i>	51	52	53	54	55
<i>&gt; 160m</i>					

Fonte: Adaptado de Ross, J.L.1996.

Na elaboração do mapa de modelado do relevo foram levados em conta as curvas de nível (grau de entalhamento dos canais) e a rede de drenagem (dimensão interfluvial). As classes de dissecação obtidas foram assim caracterizadas:

**Muito fraca:** caracteriza-se por apresentar modelado convexo-côncavo com aprofundamento dos vales menor que 20m. É comum a presença de vales nas cabeceiras e vestígios de sedimentos arenosos.

**Fraca:** apresenta modelado convexo-côncavo com aprofundamento dos vales entre 20m e 40m, sendo comum a presença de vales nas cabeceiras de drenagem e afloramentos rochosos.

**Média:** apresenta modelado convexo-côncavo com aprofundamento dos vales entre 40 a 80m. A inclinação das vertentes é moderadamente forte (10-18°), contribuindo assim para o surgimento de formas de erosão acelerada.

**Forte:** modelado de topos convexos e aguçados, estreitos, vertentes retilíneas, vales estreitos com aprofundamento das incisões entre 80 a 160m, e declividade muito forte (30-45°).

**Muito Forte:** caracteriza-se por apresentar modelados de topos planos convexos e/ou aguçados, alongados, com patamares escalonados nas vertentes. Predominam declividades muito fortes (aprofundamento maior que 160m, apresentando morfologia de movimentos de massa, vales suspensos, quedas d' água e corredeiras.



### 3.3 - Índices morfométricos das vertentes

Com objetivo de explicar a morfogênese das vertentes, seguiu-se a proposta de Christofolletti (1980). O autor destaca diversos atributos que influenciam no comportamento do perfil das vertentes. Para o trabalho optou-se por relacionar três deles (índice de curvatura de crista, índice de curvatura de base e índice de massa). Assim analisou-se um universo de 27 perfis de vertentes, identificando-se as correlações entre os índices determinados.

Os itens abaixo compreendem as definições desenvolvidas por Christofolletti (1980), a respeito de cada índice utilizado.

1- *Altura da Vertente (H)*- Corresponde à diferença de altitude entre os pontos superiores e inferior da vertente representada no perfil.

2- *Comprimento Horizontal da Vertente (L)*-Corresponde ao comprimento da linha horizontal que une o ponto inferior do perfil a outro situado na mesma altitude, mas com coordenadas de latitude e longitude do ponto superior.

3- *Índice de Curvatura de Crista (ICC)*- É determinado convertendo-se as coordenadas X (comprimento horizontal) e Y (altura da vertente) de cada ponto do perfil, em porcentagens dos valores totais. O valor percentual é calculado de forma diretamente proporcional ao comprimento horizontal e inversamente proporcional a altura da vertente. Isso feito, o índice pode ser calculado através da equação 1

$$ICC = (y_5 - y_{10}) / L \quad (1)$$

Sendo que  $y_5$  e  $y_{10}$  equivalem respectivamente aos valores percentuais da altura correspondentes a 5% e 10%. Assim os valores positivos retratam cristas convexas e os negativos, cristas côncavas.

4- *Índice de Curvatura Basal (ICB)*- É calculado de modo semelhante ao índice de curvatura de crista, sendo definido pela equação 2.

$$ICB = (y_{90} - y_{95}) / L \quad (2)$$

Onde  $y_{90}$  e  $y_{95}$  equivalem respectivamente aos valores percentuais da altura da vertente correspondentes a 90% e 95%. Assim os valores positivos retratam bases convexas e os negativos, bases côncavas.

5- *Índice de Massa* -É definido pela equação 3

$$IM = (y_{16} + y_{50} + y_{84}) / L \quad (3)$$

Onde:  $y_{16}, y_{50}, y_{84}$  são valores percentuais da altura da vertente, correspondentes a 16%, 50%, 84% do comprimento horizontal respectivamente. Os valores superiores a 50 indicam



formas côncavas e aquelas inferiores a 50, formas convexas.

Na busca da relação entre os índices (ICB, ICC, IM), aplicou-se a correlação de Pearson.

#### **4-Análise dos resultados**

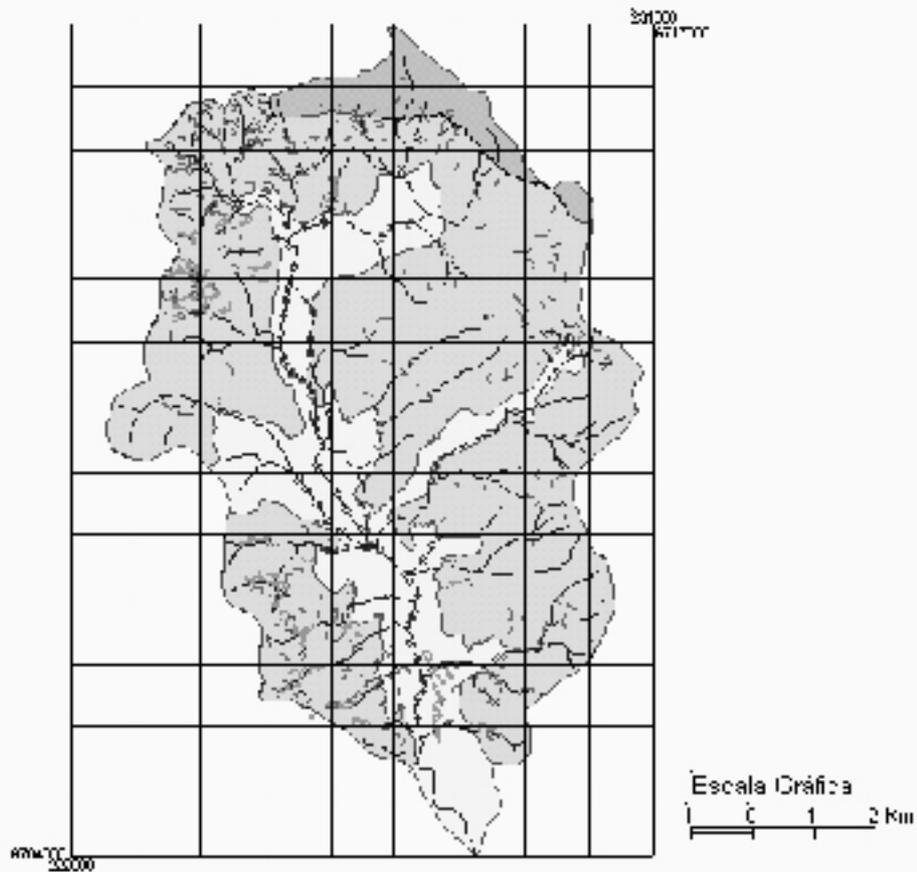
Com base nos levantamentos realizados (esboço geomorfológico e carta do modelado do relevo), identificou-se três compartimentos: Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, Depressão Central e Planície aluvial (figura 1).

O Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro contorna o setor norte da microbacia formando um semi-arco. Apresenta-se praticamente em toda a sua extensão como relevo escarpado. Está constituído, em sua litologia, por rochas das Formações Botucatu, Serra Geral e Caturrita. Essa diversidade de litologias sob a ação dos processos morfogenéticos conferem ao relevo variadas formas. Predominam formas de dissecação, que de acordo com Rafaelli (2000) são áreas com topografia pronunciada, onde a evolução das formas está relacionada com o entalhamento dos cursos d'água de diferentes ordens de grandeza e erosão. No que se refere ao perfil das vertentes, observa-se a predominância de formas côncavas. Sua dinâmica está relacionada aos processos de deslizamentos e escoamento superficial intensificados principalmente pelo modelado do relevo (modelados de dissecação) associado ao substrato geológico e ao grau de declividade da área. A figura 2 corresponde à forma do perfil das vertentes predominante no compartimento Rebordo do Planalto.

Figura 1: Esboço geomorfológico da microbacia do Arroio Cadena, obtido com base em aerofotogramas verticais.



ESQUEMA GEOMORFOLÓGICO DA MICROBACIA  
 DO APROVECHAMENTO



Legenda	
Planície Aluvial	[Light gray square]
Depressão Central	[Medium gray square]
Meandros do Rio de Mendonça Brasão	[Dark gray square]
Vertentes Côncavas	[Solid line]
Vertentes Côncavas	[Dashed line]
Vales com Função Urbana	[U-shaped line]
Vales com Função V	[V-shaped line]
Vales com Função II	[J-shaped line]
Lacôca	[Horizontal line with a small triangle]
Escarpa	[Zigzag line]
Rede de Drenagem	[Dotted line]

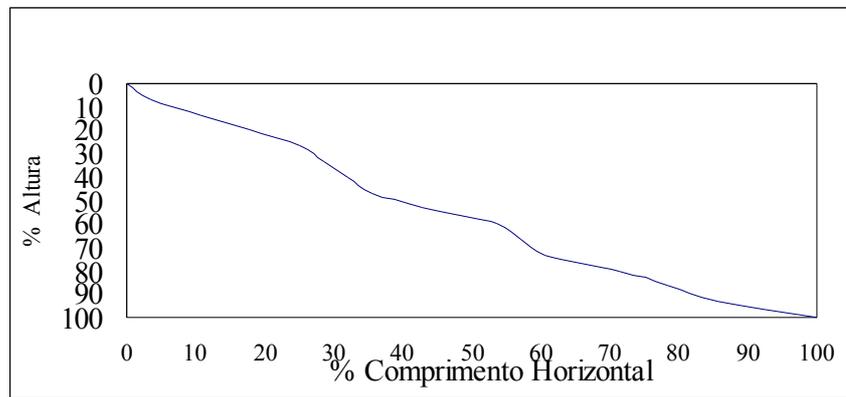


Figura 2: Conformação predominante do perfil das vertentes compartimento Rebordo do Planalto  
Organização dos autores.

Analisando o perfil (figura 2) observa-se a predominância da concavidade da vertente. A concavidade do perfil, segundo Carpi Junior & Mendes (1992) está associado à velocidade de denudação, ou seja, nas áreas de maior ação erosiva, há o predomínio do escoamento concentrado em função da maior declividade, favorecendo assim, a elaboração da concavidade no perfil. Isso também está relacionado à influência do modelado do relevo e do grau de declividade do local, frente ao modelado de dissecação. A figura 3 ilustra o modelado do relevo da microbacia, obtido com base na metodologia adotada no presente trabalho.

O setor correspondente a Depressão Central ocupa a maior parte da microbacia, apresenta um relevo suavemente ondulado. É o setor mais antropizado, uma vez que abriga o sítio urbano de Santa Maria. A forte antropização observada através da retirada da cobertura vegetal, impermeabilização da superfície vem provocando uma série de desequilíbrios no ambiente natural. As frequentes inundações, o estabelecimento de ravinas e voçorocas refletem a resposta da natureza frente a estas transformações. Sabe-se que o desenvolvimento dos processos erosivos se processam com maior intensidade principalmente nas áreas mais fragilizadas. Na Depressão Central, estas se traduzem nas cabeceiras de vale ou nichos de nascentes, além de ravinas e voçorocas. Observa-se que a remoção da vegetação em grande parte das nascentes dos rios vem acentuando a ação dos processos erosivos. Aliado a isso surge o fato de que as condições litológicas que compõem o compartimento são muito favoráveis ao desenvolvimento de incisões erosivas. Dessa forma a geologia associada principalmente à ocorrência de nichos de nascentes, possuem forte influência na incidência de processos erosivos. Nesse compartimento as vertentes em sua maioria apresentam formas convexas (figura 4).

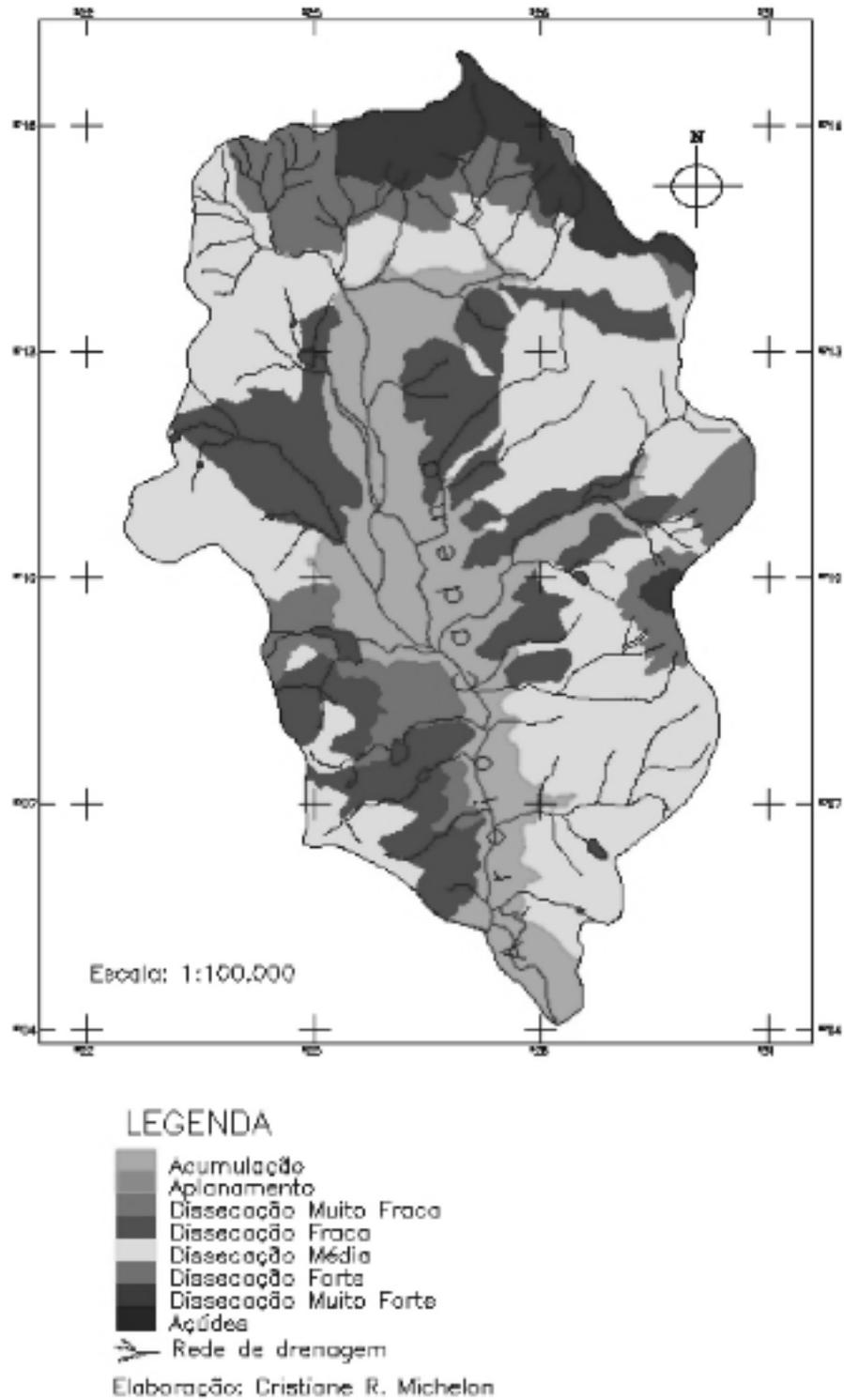


Figura 3: Mapa do modelado do relevo da microbacia do Arroio Cadena.

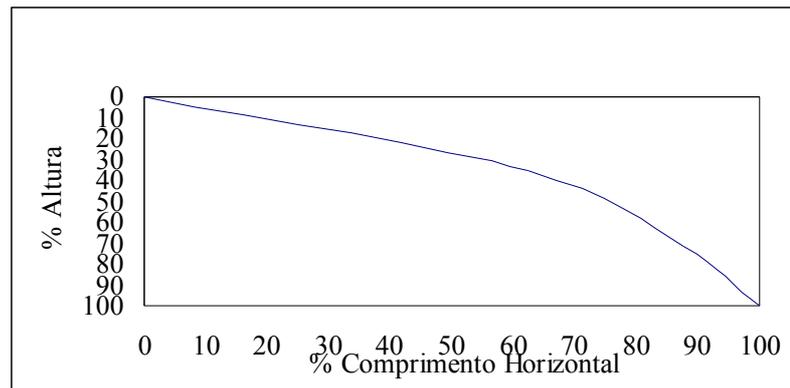


Figura 4: Conformação predominante do perfil das vertentes do compartimento da Depressão Central.  
Organização dos autores.

O setor que corresponde à planície aluvial localiza-se ao sul da microbacia estendendo-se para o norte ao longo do rio principal. Está constituída litologicamente pelas Formações Rosário do Sul e Sedimentos Atuais do Quaternário. As rochas inconsolidadas, formadas por depósitos recentes, permeáveis, influenciadas pela topografia plana favorecem os processos de acúmulo e infiltração de água, que refletem na elevação do nível do lençol freático. O modelado do relevo associado às condições litológicas e a pequena profundidade do lençol freático tem expressiva participação na evolução das vertentes, que apresentam-se na sua maioria com formas côncavas. A figura 5 representa o perfil predominante para o compartimento Planície Aluvial.

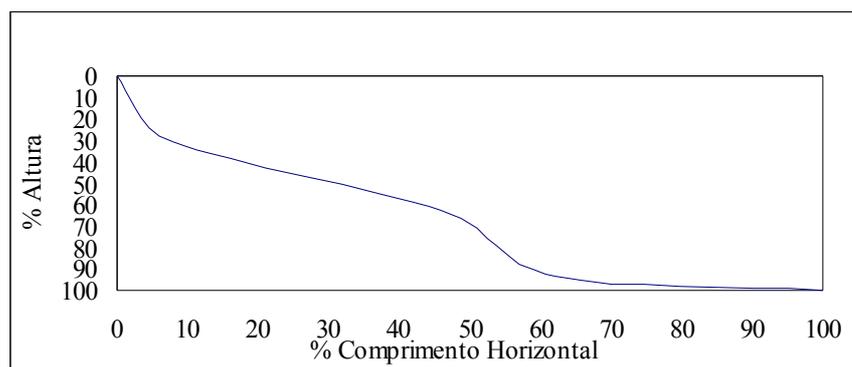


Figura 5: Conformação predominante do perfil das vertentes compartimento Planície Aluvial  
Organização dos autores.

Observa-se a predominância da concavidade no perfil da vertente. Esta configuração pode estar atribuída as diversas alterações que a crista e a base das vertentes vem sofrendo



ao longo do tempo. Os processos de escoamento, influenciados pela topografia plana e pela flutuação do lençol freático em períodos de umedecimento e ressecamento, promovem o solapamento da base dessas vertentes, levando à uma concavidade mais pronunciada no perfil, principalmente da base da vertente. Também pode ser observada a concavidade da crista nessas vertentes (figura 5).

Considerando a vertente como um sistema, em que a evolução de determinado setor (segmento) influencia no comportamento dos demais, verificou-se a correlação entre os índices (ICC, ICB, IM) das 27 vertentes analisadas. A tabela 1 expressa os índices obtidos. Ao analisar o ICC e ICB, verificou-se a existência de correlação positiva entre esses ( $r = 0,74$ ). Isso leva a concluir que na medida que há a evolução da crista, concomitantemente as bases sofrem alterações. Analisando a relação existente entre o ICC e o IM; e ICB e o IM, obteve-se correlação positiva de 0,76 e 0,80 respectivamente. Pode-se inferir assim, que conforme a crista e a base das vertentes vão modelando, a meia encosta também sofre alteração. Isso leva a conclusão que a ação dos processos morfogenéticos atuantes em qualquer setor (segmento) do perfil provoca alterações em toda a vertente. Observa-se através da dispersão obtida (figura 6) para as vertentes do Arroio Cadena essa constatação.

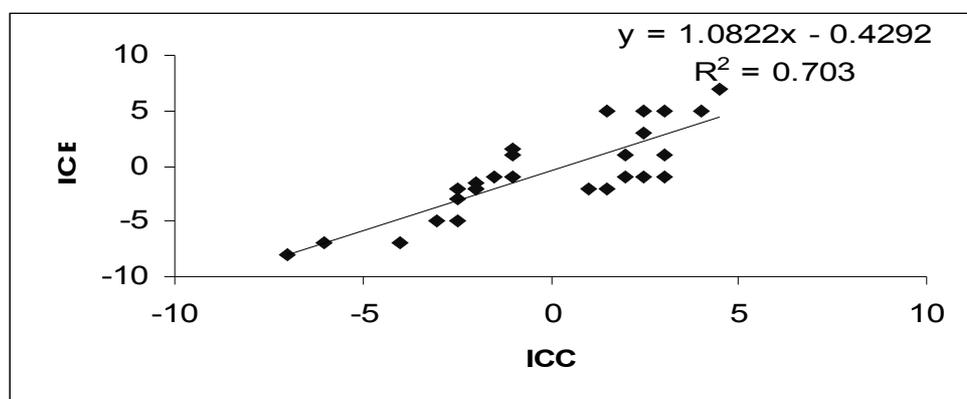


Figura 5: Dispersão obtida a partir dos índices de curvatura de crista (ICC) e índices de curvatura de base (ICB) para as vertentes da bacia do Arroio Cadena.

Organização dos autores.



Tabela 1: Índices ICC, ICB, IM obtidos para as 27 vertentes analisadas

Vertentes	ICC	ICB	IM.
1	1	-4	58,66
2	-1	1,5	52,33
3	-2	-2	50,66
4	1,5	-2	52,33
5	-1,5	-1	51,60
6	3	-1	50
7	3,5	-3	46,6
8	-1	1	52,33
9	-2,5	-1	52,30
10	3	1	49,99
11	4	5	32,65
12	2	1	34,32
13	2,5	5	41,33
14	3	8	34,33
15	1,5	10	37,66
16	2,5	3	42,33
17	4,5	7	45,66
18	2	-3,5	49,33
19	-3	-5	51,33
20	-2,5	-3	62,33
21	-4	-7	75,33
22	-6	-7	65,33
23	-7	-8	66
24	-2,5	-5	54,66
25	-1	-1	60,33
26	-2	-2	60,55
27	-2	-1,5	52,45

Organização dos autores.

### 5-Considerações finais

Considerando o objetivo principal do trabalho, compartimentação, modelado do relevo e a conformação das vertentes, os resultados mostraram-se esclarecedores. Observou-se que nos três compartimentos analisados; Rebordo do Planalto, Depressão Central e Planície Aluvial, o estudo da dinâmica evolutiva do relevo frente às condições do modelado e ao perfil das vertentes, destacando as áreas de cabeceiras de drenagem como fontes de alimentação para processos incisivos sobre as vertentes, pode-se inferir que os resultados obtidos mostram que o mecanismo de atuação junto a base das vertentes, leva a uma alteração também da crista.

Assim, no que se refere ao compartimento Rebordo do Planalto os processos de dinâmica do relevo estão relacionados sobretudo as condições do modelado (modelados de dissecação), associados ao substrato geológico, e ao grau de declividade da área. Condições



estas que favorecem os processos de escorregamentos, deslizamentos e o escoamento superficial. O compartimento denominado Depressão Central pode ser considerado o mais instável da microbacia. As vertentes em sua maioria apresentam formas convexas, onde as condições geológicas associadas principalmente à ocorrência de nichos de nascentes, possuem forte influência na incidência de processos erosivos. A dinâmica das vertentes na Formação Santa Maria está fortemente relacionada a estes fatores, aliados a forte antropização da área. A forma das vertentes no setor correspondente a Planície Aluvial encontram-se na maioria com cristas e bases concavizadas. Nele os processos de evolução das vertentes foram condicionados principalmente pelo modelado do relevo. Os nichos de nascentes tem pouca participação, visto a quantidade insignificante encontrada nesse setor.

## 6-Referências Bibliográficas

- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986, 332p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p.
- MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria, Imprensa Universitária, 1990. 22p.
- BERTONI, J. N & LOMBARDI, F. **Conservação do Solo**. 3ªed, São Paulo:CERES,1985.
- CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFU, 1994.137p.
- CHRISTOFOLETTI, A.; TELES, A., P. S.S; LUPINACCI, M. C; BERTAGNA, S. M. A.; MENDES, I. A. A Morfometria do Relevo na Média Bacia do Rio Corumbataí .In, **V Simpósio de Geografia Física Aplicada**. Anais. São Paulo, 1993.
- FIBGE. Manuais Técnicos em Geociências, número 5. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, 1995.
- GERARDI, L. de O. et al. **Quantificação em geografia**. São Paulo: Difel, 1981
- GUERRA, A. J. T. & CUNHA BAPTISTA, S.(org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2ºed. Rio de Janeiro:Bertrand Brasil. 1995.
- \_\_\_\_\_ **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1966, 327p.
- GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G.M. (org) **Erosão e Conservação dos Solos:Conceitos, Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- POHLMANN, J. P. U. Análise de Evolução Urbana através de Aerofotogrametria e de Imagens Orbitais. In: **II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico**. Florianópolis. Anais: CTC/UFSC,1984.



**RAFAELLI, J. A. Análise das feições de dissecação do relevo na folha topográfica de São Pedro do Sul- RS.** Santa Maria, 2000. Monografia (Especialização em Interpretação de Imagens de Orbitais e Suborbitais)- Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos Eias e Rimas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA BAPTISTA, S. (org). **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996.

ZILMER, R.J. **A pequena produção da horti-fruticultura na periferia urbana da Santa Maria- RS.** 1991. 155p. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Santa Maria, 1991.