

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Rodrigo Diniz Marques

**PROGRESSÕES DENUDACIONAIS NA VILA SÃO RAFAEL, ZONA
NORTE DE SANTA MARIA - RS**

Santa Maria, RS
2018

Rodrigo Diniz Marques

**PROGRESSÕES DENUDACIONAIS NA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE
SANTA MARIA - RS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Santa Maria, RS
2018

Marques, Rodrigo Diniz
PROGRESSÕES DENUDACIONAIS NA VILA SÃO RAFAEL, ZONA
NORTE DE SANTA MARIA - RS / Rodrigo Diniz Marques.-
2018.

261 p.; 30 cm

Orientador: Waterloo Pereira Filho
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2018

1. Progressão Denudacional 2. Recuo da encosta
Itagiba 3. Áreas susceptíveis à erosão e denudação I.
Pereira Filho, Waterloo II. Título.

Rodrigo Diniz Marques

**PROGRESSÕES DENUDACIONAIS NA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE
SANTA MARIA – RS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Geografia**.

Aprovado em 27 de novembro de 2018:

Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Jurandyr Luciano Sanches Ross, Dr. (USP)
Videoconferência

Carlos Leite Maciel Filho, Dr. (UFSM)

Elsbeth Léia Spode Becker, Dra. (UFN)

Roberto Cassol, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realizar o meu sonho de fazer doutorado e ter me proporcionado este sonho de forma gratuita e excelente qualidade.

À coordenação do Programa de Pós-graduação em Geografia que coordenou e administrou as atividades proporcionando ao discente a execução por etapas de um trabalho árduo onde os percalços foram tratados com toda atenção e carinho.

À todos os professores do curso de Geografia que desde a graduação contribuíram com conhecimento, carinho e amizade. Professores iluminados que tornaram-se amigos para toda vida. Em especial à Prof.^a Dr.^a Maria da Graça Barros Sartori que faleceu para o mundo mas vive em nossos corações. Infelizmente não pode estar aqui para me orientar! Meus agradecimentos à sua família!

Ao Prof. Dr. Cássio Arthur Wollmann que me auxiliou a pedido da Prof.^a Maria da Graça no Projeto que abriu as portas do doutorado tornando-se com a ausência dela meu orientador por dois anos. Obrigado de coração por toda colaboração!

Ao Professor Dr. Mauro Kumpfer Werlang a qual tenho um carinho de filho! Este professor é a base de tudo que aprendi desde a graduação pois foi meu orientador na graduação e no mestrado contribuindo também como coorientador deste trabalho me ajudando não mais como um professor mas como um pai. Não tenho palavras para agradecer! Que Deus te abençoe paizão!

Ao Professor Dr. Waterloo Pereira Filho que aceitou me orientar nos dois últimos anos. Professor que eu já admirava na graduação devido ao conhecimento que havia transmitido em Geoprocessamento... No entanto jamais poderia imaginar o ser humano que estava por conhecer... Orientou-me sempre disposto, contribuindo e agregando ideias e sugestões. Para quem perdeu o pai em 2002 ter conhecido dois pais na Geografia é definitivamente presente dos Deuses! Obrigado do fundo da alma meu amigo!

À minha filha Maitê Dias Marques (4 aninhos) e minha esposa Ketlen Dias Marques por elas serem os alicerces e os grandes motivos dessa luta. A necessidade de dar um futuro melhor à bonequinha do papai e a minha família constituiu a base de sustentação desta luta cansativa. Foram o porto seguro para que meu navio deste sonho não naufragasse em meio a tempestade do desânimo!

À minha mãe Lucinda Diniz Marques por ter dedicado sua vida aos filhos e ter estado ao meu lado nos momentos de maior angústia. Sem o apoio dela e do Deus que ela serve não teria saído da CTI em 1996, nem ter continuado a luta pois sozinho eu não sou ninguém nesta vida. Tu és tudo na minha vida mãe!

À meu pai que faleceu em 28 de maio de 2002. Sinceramente não sei explicar... Mas sinto que esteve presente ajudando a todo instante... Lembranças, saudade... Energia que esteve o tempo todo comigo! Pois tudo de alguma forma lembra meu pai e devo ao meu pai porque além da vida boa parte da minha filosofia de vida advém do que ele me ensinou!

À minha irmã Sabrina Diniz Marques e irmão Mateus Diniz Marques, sobrinhos Kauã Diniz e Brayam Diniz... Vocês são pedaços da minha alma... Não há felicidade plena em minha vida sem a presença de todos!

À meus amigos, colegas e todas as pessoas que torceram por mim. Especialmente à Daniéli Dias e ao Maurício Rizzatti que me auxiliaram na formatação e na cartografia respectivamente. Não tenho palavras para agradecer vocês meus queridos! Que Deus ilumine vocês e abençoe muito a vida de vocês!

À Brigada Militar que forneceu escolta para o georreferenciamento e coleta de dados em campo devido a tentativa de assassinato sofrido pelo autor. Aos moradores da Vila São Rafael... Em especial aos que necessitam de moradias em locais seguros o que no fundo é a origem do desejo de estudar esta área.

À todos... Eu disse todos! Não tenho como mencionar infelizmente um por um... Mas tenho muitos amigos, colegas, alunos, professores... À todos que sonharam este sonho comigo! Pois “sonho que se sonha só... É só um sonho que se sonha só... Mas sonho que sonhamos juntos? É e sempre será realidade” não é Raul Seixas? Obrigado!

*“La geología tiene una tristeza apabullante
que nunca podrá sacarse de encima.
Esta tristeza proviene de la idea de que el tiempo trabaja en su contra.”*

Salvador Dalí (1904-1989)

RESUMO

PROGRESSÕES DENUDACIONAIS NA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS

AUTOR: Rodrigo Diniz Marques
ORIENTADOR: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Este trabalho projeta o relevo no futuro por meio de progressões denudacionais e recuo da encosta Itagiba na Vila São Rafael, Zona Norte de Santa Maria – RS. Nesta tese, deu-se ênfase aos processos erosivos e denudacionais que ocorrem de forma diferenciada na camada superficial do solo por influência litológica nos parâmetros físicos-hídricos da camada superficial do solo assentada sobre a Formação Caturrita e Formação Santa Maria – Membro Alemoa, erodindo e denudando o relevo de forma distinta. O trabalho justifica-se por, nesta área, haver duas formações litológicas, ter ocorrido corte topográfico para a instalação de ferrovia e ocupação humana. O relevo abrangeu o 4º táxon (denudação da colina), o 5º táxon porções leste e oeste-diferenças litológicas e recuo da encosta Itagiba (vertente sul) e o 6º táxon que analisou processos erosivos e denudacionais diferenciados: sulcos, ravinas, deslizamentos (ROSS, 1992). O trabalho norteou-se pelo método dedutivo seguindo os níveis: compilatório, correlatório, semântico e normativo conforme Libault, (1971). Foram aprofundados os estudos geológicos, litológicos, pedológicos e construído a base cartográfica para entender e posteriormente analisar a área de estudo, coletadas amostras de solo superficial em áreas previamente zoneadas (P1, 2P, 3P, 4P, 5P, 6P, P7 e P8), as amostras foram submetidas ao ensaio de Inderbitzen adaptado sob simulação de precipitação de 20 mm em 3 horas, posteriormente generalizou-se os dados laboratoriais de perda de sedimentos erodidos (altura dos sedimentos erodidos) por equações matemáticas (Teorema de Tales) na qual foram construídos os mapas de progressão denudacional e o mapa de recuo da encosta Itagiba em 1, 10, 25, 75, 100 e 1000 anos. Os resultados encontrados nos parâmetros físicos-hídricos mostraram face a curva granulométrica que os pontos 2 e 3 (P2 e P3) possuem distribuição de partículas indicando concentração de argila com média de 44, 02% nesses dois pontos assentados sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa indicando ser este fator um condicionante diferenciado dos processos erosivos, progressão denudacional e recuo da encosta Itagiba de forma mais elevada na porção leste em comparação à porção oeste da encosta Itagiba dissecando o relevo sob a Formação Santa Maria - Membro Alemoa cerca de 3,033 vezes mais que na porção assentada sobre a Formação Caturrita pois o volume de sedimentos erodidos das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (v1, v6, v7 e v8) nos quatro pontos apresentaram valores médio entorno de 0,234 cm³, portanto, menores em relação a média da perda de sedimentos para as quatro amostras de solo superficial (v2, v3, v4 e v5) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,699 cm³. A denudação em 1000 (mil) anos - altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), sob a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 253 cm, portanto, menores também em relação a média de variação da altitude decrescida em 1000 (mil) anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi de 767 cm. Conclui-se, portanto que a porção leste da encosta Itagiba, área assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa é a área de maior susceptibilidade a erosão e denudação e que o fator que condiciona essa maior susceptibilidade a erosão e denudação, é a presença de argila (esmectica 2: 1) que é contrassiva e expansiva mostrando-se na ausência de umidade resistente à erosão mas quando saturada erode e denuda o relevo cerca de 3,033 vezes mais em relação às áreas assentadas sobre a Formação Caturrita (MACIEL FILHO, 1990). Por fim este trabalho espacializa face a linhas de comportamento o recuo da encosta Itagiba a fim de alertar os órgãos públicos para tomada de decisões.

Palavras-Chave: Progressão Denudacional. Recuo da encosta Itagiba. Áreas susceptíveis à erosão e denudação.

ABSTRACT

DENUTATIONAL PROGRESSIONS IN VILA SÃO RAFAEL, NORTHERN ZONE OF SANTA MARIA - RS

AUTHOR: Rodrigo Diniz Marques
ADVISOR: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

This work projects the relief in the future through denudational progressions and retreat from the Itagiba slope in Vila São Rafael, Northern Zone of Santa Maria - RS. In this thesis, emphasis was given to the erosive and denudational processes occurring in a differentiated way in the soil surface layer by lithological influence on the physical-water parameters of the surface layer of the soil seated on the Caturrita Formation and Santa Maria Formation - Alemoa Member, eroding and denuding the relief in a different way. The work is justified because, in this area, there are two lithological formations, there has been a topographic cut for the installation of railroad and human occupation. The relief included the 4th taxon (denudation of the hill), the 5th taxon portions east and west - lithological differences and retreat of the Itagiba slope (south slope) and the 6th taxon that analyzed differentiated erosive and denudational processes: ridges, ravines, landslides (ROSS, 1992). The work was guided by the deductive method following the levels: compilatory, correlative, semantic and normative according to Libault, (1971). P1, 2P, 3P, 4P, 5P, 6P, P7, and P8 were collected in order to understand and later analyze the study area, the samples were submitted to the Inderbitzen test adapted under a simulation of 20 mm precipitation in 3 hours, after which the laboratory data of loss of eroded sediments (height of the eroded sediments) were generalized by mathematical equations (Tales Theorem). The denudational progression maps and the recoil map of the Itagiba slope were constructed at 1, 10, 25, 75, 100 and 1000 years. The results obtained in the physical-water parameters showed a particle size distribution of points 2 and 3 (P2 and P3), indicating a clay concentration with a mean of 44.22% in these two points on the Santa Maria Formation. Alemoa indicating that this factor is a differentiating conditioner of the erosive processes, denudational progression and retreat of the Itagiba slope higher in the eastern portion compared to the western portion of the Itagiba slope dissecting the relief under the Santa Maria Formation - Alemoa Member about 3,033 times more (Table 1). In addition, the volume of sediments eroded from the surface soil samples collected on the Caturrita Formation (v1, v6, v7 and v8) at the four points presented mean values of 0.234 cm³, mean of sediment loss for the four surface soil samples (v2, v3, v4 and v5) that and were withdrawn on the Santa Maria - Alemoa Formation which was approximately 0.699 cm³. The denudation in 1000 (thousand) years - mean decrease of the areas represented by the points (P1, P6, P7 and P8), under the Caturrita Formation, presented average values of decrease of altitude of 253 cm, therefore, also smaller in relation to (P2, P3, P4 and P5) that represent areas settled on the Santa Maria Formation - Alemoa Member, which was 767 cm. It is concluded, therefore, that the eastern portion of the Itagiba slope, an area settled on the Santa Maria - Alemoa Formation, is the area of greatest susceptibility to erosion and denudation and that the factor that conditions this greater susceptibility to erosion and denudation, is the presence of clay (smectic 2: 1), which is counter-contagious and expansive, showing in the absence of moisture resistant to erosion, but when saturated, it erodes and denudes the relief about 3,033 times more than the areas settled on the Caturrita Formation (MACIEL FILHO, 1990). Finally, this work spatializes the behavior of the Itagiba hillside in order to alert public agencies to decision making.

Keywords: Denudational progression. Retreat of the Itagiba slope. Areas susceptible to erosion and denudation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 1 - Localização da Vila São Rafael no perímetro urbano de Santa Maria - RS..... | 31 |
| Figura 2 - Traçados ferroviários na área urbana de Santa Maria, em uma planta da cidade de 1944..... | 34 |
| Figura 3 - Traçados ferroviários antigos (laranja) e atuais (vermelho) na área urbana de Santa Maria, em uma imagem de satélite do Google Earth, com o Norte levemente deslocado para comparação com o mapa de 1944..... | 35 |
| Figura 4 - Formações litológicas que ocorrem no município de Santa Maria e na Vila São Rafael..... | 43 |
| Figura 5 - Períodos de retorno esperados T, em anos, da chuva em Santa Maria, em função da intensidade e da duração das chuvas. | 50 |
| Figura 6 - Concepção original do equipamento do ensaio de Inderbitzen. | 73 |
| Figura 7 - Equipamento de Inderbitzen empregado na pesquisa Estabilidade de Taludes entre 1975 e 1978. | 74 |
| Figura 8 - Esquema representativo do equipamento de Inderbitzen desenvolvidos por Bastos (1999) no LMS/UFRGS. | 75 |
| Figura 9 - Teorema de Tales e o Cálculo da Altura (H). | 76 |
| Figura 10 - Teorema de Tales e o Feixe de Retas Paralelas. | 77 |
| Figura 11 - Teorema de Tales e o Resultado das Razões e Proporções. | 77 |
| Figura 12 - Fluxograma representando a proposta metodológica para a análise da área de estudo..... | 84 |
| Figura 13 - Levantamento dos 8 pontos (GNSS) na área de estudo..... | 90 |
| Figura 14 - Coleta das amostras de solo superficial na área de estudo. | 100 |
| Figura 15 - Esquema representativo do equipamento de Inderbitzen desenvolvidos por Bastos (1999) no LMS/UFRGS. | 102 |
| Figura 16 - Períodos de retorno esperados T, em anos, da chuva em Santa Maria, em função da intensidade e da duração das chuvas..... | 103 |
| Figura 17 - Ensaio de Inderbitzen Adaptado. | 105 |
| Figura 18 - Curva Granulométrica do Ponto 1. | 118 |
| Figura 19 - Curva Granulométrica do Ponto 2. | 120 |
| Figura 20 - Curva Granulométrica do Ponto 3. | 122 |
| Figura 21 - Curva Granulométrica do Ponto 4. | 125 |
| Figura 22 - Curva Granulométrica do Ponto 5. | 127 |
| Figura 23 - Curva Granulométrica do Ponto 6. | 129 |
| Figura 24 - Curva Granulométrica do Ponto 7. | 131 |
| Figura 25 - Curva Granulométrica do Ponto 8. | 133 |
| Figura 26 - Gráfico Geral das Análises Granulométricas. | 134 |
| Figura 27 - Mapa base da área de estudo..... | 139 |
| Figura 28 - Hipsometria da área de estudo. | 143 |
| Figura 29 - Localização dos perfis topográficos na área de estudo..... | 147 |
| Figura 30 - Clinografia da área de estudo..... | 151 |
| Figura 31 - Uso e ocupação da terra da área de estudo. | 157 |
| Figura 32 - Unidades geotécnicas e fluxo da água superficial da área de estudo..... | 161 |
| Figura 33 - Zoneamento denudacional da área de estudo. | 165 |
| Figura 34 - Mapa da progressão denudacional em um ano, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS. | 181 |
| Figura 35 - Mapa da progressão denudacional em 10 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS. | 187 |

| | |
|---|-----|
| Figura 36 - Mapa da progressão denudacional em 25 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 193 |
| Figura 37 - Mapa da progressão denudacional em 50 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 199 |
| Figura 38 - Mapa da progressão denudacional em 75 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 205 |
| Figura 39 - Mapa da progressão denudacional em 100 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 211 |
| Figura 40 - Mapa da progressão denudacional em 1000 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 217 |
| Figura 41 - Residências antes da desocupação (2014) na porção oeste da encosta Itagiba. .. | 222 |
| Figura 42 - Área das residências removidas (2014) sobre a porção oeste da encosta Itagiba. | 223 |
| Figura 43 - Recuo da encosta Itagiba próxima ao ponto 2 (P2)..... | 225 |
| Figura 44 - Ocupação antrópica sobre a porção oeste da encosta Itagiba..... | 226 |
| Figura 45 - Área de deposição denudacional na porção oeste da encosta Itagiba. | 228 |
| Figura 46 - Residência frente a Rua Alcides Pereira dos Santos sobre a Formação Santa Maria que deslizou em 2015..... | 232 |
| Figura 47 - Residência construída sobre o aterro onde houve o deslizamento. | 233 |
| Figura 48 - Fotografia da rua Itagiba mostrando o avanço da encosta Itagiba na porção final leste. | 235 |
| Figura 49 - Mapa de recuo do relevo na encosta Itagiba: áreas de maior susceptibilidade a erosão e denudação | 241 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Valores da intensidade média (μ), desvio padrão (σ) e parâmetro α para as diferentes durações de chuva (D). | 47 |
| Tabela 2 - Intensidade de chuva calculada pelo método de distribuição extrema para durações e períodos de retorno selecionados. | 48 |
| Tabela 3 - Parâmetros das regressões (a, b, c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm/h, e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e de variação (CV). | 49 |
| Tabela 4 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono). | 72 |
| Tabela 5 - Granulometria do Ponto 1. | 117 |
| Tabela 6 - Granulometria do Ponto 2. | 119 |
| Tabela 7 - Granulometria do Ponto 3. | 121 |
| Tabela 8 - Granulometria do Ponto 4. | 123 |
| Tabela 9 - Granulometria do Ponto 5. | 126 |
| Tabela 10 - Granulometria do Ponto 6. | 128 |
| Tabela 11 - Granulometria do Ponto 7. | 130 |
| Tabela 12 - Granulometria do Ponto 8. | 132 |
| Quadro 13 - Área e perímetro do mapa de zoneamento. | 163 |
| Tabela 14 - Massa total da amostra em gramas. | 167 |
| Tabela 15 - Volume das amostras. | 169 |
| Tabela 16 - Densidade da camada superficial de solo. | 170 |
| Tabela 17 - Peso do sedimento erodido. | 171 |
| Tabela 18 - Volume do sedimento erodido. | 172 |
| Tabela 19 - Altura dos sedimentos erodidos no ensaio de Inderbitzen. | 173 |
| Tabela 20 - Altura do sedimento erodido em 1 (um) ano. | 174 |
| Tabela 21 - Progressão denudacional (1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 100 anos e 1000 anos) | 175 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Unidades residenciais do Bairro Chácara das Flores. | 36 |
| Quadro 2 - Coluna estratigráfica na Região de Santa Maria no Rio Grande do Sul. | 39 |
| Quadro 3 - Enfoque dos estudos sobre a tema erosão em diferentes áreas do conhecimento. . | 52 |
| Quadro 4 -. Classes altimétricas consideradas para a elaboração do Mapa Hipsométrico da vila são Rafael, Santa Maria, RS. | 92 |
| Quadro 5 - Classes de declividade consideradas para a elaboração do Mapa de declividade da vila são Rafael, Santa Maria, RS. | 94 |
| Quadro 6 - Classes de uso da terra consideradas para a elaboração do Mapa do uso e ocupação da terra da vila são Rafael, Santa Maria, RS. | 95 |
| Quadro 7 - Método utilizado para adquirir altura média da denudação por classe hipsométrica para a progressão de 1 ano..... | 112 |
| Quadro 8 - Limites de consistência e índices pedológicos..... | 135 |
| Quadro 9 - Quantificação das classes hipsométricas da área de estudo. | 141 |
| Quadro 10 - Quantificação das classes clinográficas da área de estudo..... | 149 |
| Quadro 11 - Quantificação das classes de uso e ocupação da terra. | 153 |
| Quadro 12 - Variação da altitude em um ano nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 177 |
| Quadro 13 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em um ano. | 178 |
| Quadro 14 - Variação da altitude em 10 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 183 |
| Quadro 15 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em 10 anos. | 184 |
| Quadro 16 - Variação da altitude em 25 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 189 |
| Quadro 17 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em 25 anos. | 190 |
| Quadro 18 - Variação da altitude em 50 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 195 |
| Quadro 19 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em 50 anos. | 196 |
| Quadro 20 - Variação da altitude em 75 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 201 |
| Quadro 24 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em 75 anos. | 202 |
| Quadro 22 - Variação da altitude em 100 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 207 |
| Quadro 23 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em 100 anos. ... | 208 |
| Quadro 24 - Variação da altitude em 1000 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). | 213 |
| Quadro 25 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m ³) em 1000 anos. . | 214 |
| Quadro 26 - Recuo da linha de comportamento na encosta Itagiba. | 219 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| DER | Departamento de Estradas e Rodagens |
| E | Leste |
| GCC | Geociências |
| HRV | <i>High Resolution Visible</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas |
| LANDSAT | <i>Land Remote and Sensing Satellite</i> |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| MEUPS | Modificação da Equação Universal de Perda do Solo |
| MERCOSUL | Mercado Comum do Sul |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |
| PE | Potencial de Erosão |
| PPGGEO | Programa de Pós-Graduação em Geografia |
| RADAR | <i>Radio Detection and Ranging</i> |
| RE | Risco de Erosão |
| RS | Rio Grande do Sul |
| S | Sul |
| SE | Sudeste |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SIRGAS | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas |
| SPOT | <i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i> |
| SPRING | Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| TC | Trincheira Caturrita |
| TM | <i>Thematic Mapper</i> |
| TMA | Trincheira Membro Alemoa |
| UFSM | Universidade Federal de Santa Maria |
| URU | Uruguai |
| USDA | Escala do Departamento Agrícola dos Estados Unidos |
| W | Oeste |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 25 |
| 1.1 | HIPÓTESE | 27 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 27 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 27 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 27 |
| 2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 29 |
| 2.1 | LOCALIZAÇÃO DA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS | 29 |
| 2.2 | ASPECTOS ANTRÓPICOS DA VILA SÃO RAFAEL E DA CIDADE DE SANTA MARIA - RS | 33 |
| 2.2.1 | Contexto geopolítico, geoeconômico e histórico-social da ferrovia que passa na porção sul da Vila São Rafael | 33 |
| 2.2.2 | O processo de ocupação da área de estudo | 36 |
| 2.3 | CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO | 38 |
| 2.3.1 | Geologia e Pedologia | 38 |
| 2.3.2 | Clima | 45 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 51 |
| 3.1 | EROSÃO: BASES CONCEITUAIS | 51 |
| 3.1.1 | Fatores controladores dos processos erosivos | 54 |
| 3.1.2 | Erosão hídrica: conceituação e tipologias | 59 |
| 3.1.3 | Erosividade da chuva, erodibilidade do solo e limites de consistência. | 64 |
| 3.1.4 | Solifluxão | 66 |
| 3.2 | DENUDAÇÃO | 68 |
| 3.2.1 | Determinação das taxas de denudação | 69 |
| 3.2.2 | Controladores do processo de denudação | 70 |
| 3.2.3 | Correlação linear entre perda de sedimentos por precipitação e a construção linear da progressão denudacional | 71 |
| 3.2.4 | Ensaio de Inderbitzen | 73 |
| 3.3 | CARTOGRAFIA E INSTRUMENTOS CARTOGRÁFICOS | 78 |
| 4 | METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS | 83 |
| 4.1 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 83 |
| 4.2 | PROCEDIMENTOS TÉCNICOS APLICADOS | 85 |
| 4.2.1 | Parâmetros físicos-hídricos do solo superficial | 85 |
| 4.2.2 | Representação cartográfica | 88 |
| 4.2.3 | Progressão Denudacional | 98 |
| 4.2.4 | Construção do mapa de recuo da encosta Itagiba | 116 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 117 |
| 5.1 | PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO SUPERFICIAL | 117 |
| 5.1.1 | Análises Granulométricas | 117 |
| 5.1.2 | Limite de consistência | 134 |
| 5.2 | REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO. | 136 |
| 5.2.1 | Mapa Base | 136 |
| 5.2.2 | Mapa Hipsométrico | 141 |
| 5.2.3 | Mapa dos Perfis Topográficos | 145 |
| 5.2.4 | Mapa Clinográfico | 149 |
| 5.2.5 | Mapa de Uso e Ocupação da Terra | 153 |
| 5.2.6 | Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial | 159 |
| 5.2.7 | Mapa de Zoneamento Denudacional | 163 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.3 | PROGRESSÃO DENUACIONAL POR MEIO DO ENSAIO DE INDERBITZEN ADAPTADO..... | 167 |
| 5.3.1 | Massa total da amostra de solo superficial dos pontos (P1 a P8)..... | 167 |
| 5.3.2 | Volume interno do cilindro ou volume inicial das amostras superficiais do solo (Vi) | 168 |
| 5.3.3 | Densidade da camada superficial do solo nos pontos (P1 a P8) | 169 |
| 5.3.4 | Peso do sedimento erodido..... | 170 |
| 5.3.5 | Volume do sedimento erodido (v) | 171 |
| 5.3.6 | Altura do sedimento erodido (h) | 172 |
| 5.3.7 | Altura do sedimento erodido em 1 (um) ano (h1)..... | 174 |
| 5.3.8 | Progressão denudacional (1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 100 anos e 1000 anos) | 175 |
| 5.4 | MAPAS DE PROGRESSÃO DENUACIONAL..... | 176 |
| 5.4.1 | Mapa da progressão denudacional em 1 ano, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS | 176 |
| 5.4.2 | Mapa da progressão denudacional em 10 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 183 |
| 5.4.3 | Mapa da progressão denudacional em 25 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 189 |
| 5.4.4 | Mapa da progressão denudacional em 50 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 195 |
| 5.4.5 | Mapa da progressão denudacional em 75 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 201 |
| 5.4.6 | Mapa da progressão denudacional em 100 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 207 |
| 5.4.7 | Mapa da progressão denudacional em 1000 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS..... | 213 |
| 5.5 | ANÁLISE INTEGRADA E MAPA DE RECUO DA ENCOSTA ITAGIBA..... | 219 |
| 5.5.1 | Recuo da porção oeste da encosta Itagiba (Formação Caturrita) | 221 |
| 5.5.2 | Recuo da porção leste da encosta Itagiba (Formação Santa Maria - Membro Alemoa) | 231 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 243 |
| | REFERÊNCIAS | 247 |
| | APÊNDICES..... | 257 |
| | APÊNDICE 1: DETERMINAÇÃO DA ARGILA NATURAL E O GRAU DE FLOCULAÇÃO | 257 |
| | APÊNDICE 2: DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO DE INDERBITZEN ADAPTADO | 258 |
| | APÊNDICE 3: TABELA DE DADOS GEORREFERENCIAMENTO | 259 |
| | APÊNDICE 4: VÍDEO DA PROGRESSÃO DENUACIONAL DA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS..... | 261 |

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos processos erosivos e denudacionais são objetos de estudo de grande importância para a ciência geográfica. A análise e o estudo dos processos erosivos e denudacionais proporcionam à Geografia conexão entre os aspectos físicos de evolução do relevo e os aspectos sociais por meio do uso do solo e ocupação humana sobre o relevo. Outras ciências, como por exemplo, as ciências do solo, estudam a erosão e a denudação, mas é na Geografia que este objeto de estudo demonstra a relação: homem e natureza. Por isso torna-se importante projetar o futuro por meio da progressão denudacional para planejar onde o homem poderá estabelecer-se sobre o relevo.

O relevo é produto de agentes endógenos (formadores - tectônica, vulcanismo) e agentes exógenos (modeladores – a chuva, o gelo, os mares, os rios, animais, vegetais e ações antrópica). Os agentes exógenos por atuarem na conformação do relevo receberão ênfase.

Há dois tipos de processos pelos quais os agentes exógenos atuam: a degradação e a agregação. Esses processos ocorrem simultaneamente e em conjunto. A degradação é o conjunto de processos responsáveis pela destruição dos materiais produzidos pelos agentes endógenos. O principal processo de degradação do relevo é o intemperismo, que transforma a rocha, química, física e biologicamente, em um material que se fragmenta facilmente. Já na agregação os fragmentos das rochas produzidos pela degradação são carregados e depositados em outras áreas. Esse transporte de fragmentos denomina-se: erosão. Quando o agente transportador perde energia, diminuindo sua capacidade de carregar e mover sedimentos ocorre o processo de sedimentação ou deposição. É um processo cíclico, portanto onde a sedimentogênese (meteorização, transporte e sedimentação) não é finalizada com a diagênese ou litificação (que inclui fenômenos de compactação e cimentação permitindo converter sedimentos soltos em rochas consolidadas).

Neste sentido, ao mesmo tempo que a rocha e o relevo estão sendo formados por processos endógenos a rocha e o relevo também está sendo “atacado” por diferentes tipos de processos exógenos que desagregam as rochas e esculpem o relevo.

Assim, a erosão está relacionada aos processos de desgaste da superfície do terreno com a retirada e o transporte dos grãos minerais. Implica na relação de fragmentação mecânica das rochas ou na decomposição química das mesmas, bem como na remoção superficial ou subsuperficial dos produtos do intemperismo (químico, físico e biológico). A erosão consiste no desgaste do material rochoso e na remoção dos detritos mediante os processos intempéricos rochosos assim como a remoção dos detritos por processos atuantes

na superfície da Terra por isso muitas vezes a erosão é confundida com denudação (BIGARELLA, 2003).

No entanto denudação corresponde ao volume de material proveniente da alteração das rochas retirado de uma determinada área em um intervalo de tempo assim a denudação tem sido empregada na Geomorfologia para referir a remoção do material solto (incoerente) resultante da intemperização das rochas, por meio da ação dos vários processos erosivos. Implica no desgaste da superfície terrestre, expondo estruturas rochosas cada vez mais profundas. Os termos erosão e denudação são muito próximos; o primeiro refere-se aos processos e o segundo as consequências. Denudação corresponde também aos estágios juventude e maturidade do ciclo de erosão (DAVIS, 1909); (SOUCH, 2004).

Em escala local a denudação tem como os principais fatores controladores: a litologia e a pedologia enquanto em escala global a denudação é determinada pela tectônica e o clima. Importante assim salientar que o substrato litológico e geológico são determinantes para os processos erosivos e denudacionais sendo mais relevantes em menor escala (SUMMERFIELD, 1991).

Neste sentido, o estudo da progressão denudacional na Vila São Rafael, zona norte de Santa Maria, RS justifica-se a priori por, nesta área, haver duas formações litológicas e seu contato (Formação Caturrita e Formação Santa Maria – Membro Alemoa) onde os processos erosivos e denudacionais podem ser diferenciados sob as distintas Formações Litológicas. Ainda há como diferencial nesta área existir um corte topográfico para a instalação de ferrovia onde os processos erosivos e denudacionais podem ter sido alterados devido à mudança na conformação topográfica.

A Vila São Rafael possui diferenças quanto aos processos erosivos que influenciam a denudação. Há áreas onde ocorrem desmoronamentos em blocos (área assentada sobre a Formação Caturrita - arenito compactado por processos diagenéticos), que pode ser observado a partir da ferrovia se despreendendo da encosta Itagiba (porção sul da Vila São Rafael) e áreas a leste da encosta Itagiba onde há ravinas e sulcos (ranhuras), o solo demonstra-se argiloso avermelhado e a conformação topográfica claramente apresenta-se mais desgastada pelos processos denudacionais. Existe também a presença de moradias sobre a área de estudo, assim como tráfego de pedestres, veículos, caminhões, ônibus e trens. Desta forma a análise dos processos denudacionais e a construção de uma progressão denudacional são importantes para a determinação das áreas mais susceptíveis à erosão e denudação contribuindo para o planejamento e mitigação de danos materiais e humanos.

Cabe salientar que há duas formas de erosão: a natural e a antrópica. A erosão é considerada natural, quando ocorre um equilíbrio entre os processos de formação do solo e seu desgaste natural. Porém quando o processo erosivo é mais intenso, sendo mais veloz que a formação do solo, ocorre a erosão acelerada – chamada de erosão antrópica (CUNHA, 1997).

A Vila São Rafael na porção oeste está assentada sobre a Formação Caturrita e na porção leste sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa. Na porção sul há o corte topográfico que expôs as duas litologias aos processos erosivos e denudacionais onde a declividade foi alterada passando de uma conformação de coxilha ondulada à uma encosta íngreme. O estudo destas diferenças e das particularidades dos processos erosivos e denudacionais que podem estar atuando de forma distinta na Vila São Rafael apresenta a possibilidade de compreender a erosão (processos erosivos sobre formações litológicas diferentes) e uma proposta para estimar a progressão denudacional por método laboratorial e cartográfico projetando para o futuro a progressão denudacional. A análise desta espacialização cartográfica poderá assim contribuir para o planejamento da área no futuro.

1.1 HIPÓTESE

Os processos denudacionais estão alterando a conformação do relevo na Vila São Rafael, zona norte de Santa Maria - RS e é possível estimar sua progressão?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo geral estimar a progressão denudacional a partir da perda de solo da camada superficial e analisar a evolução futura – mapas de progressão denudacional e o recuo da encosta Itagiba na Vila São Rafael, zona norte de Santa Maria – RS.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Avaliar os processos erosivos sobre as Formações: Caturrita e Formação Santa Maria – Membro Alemoa a partir dos parâmetros físicos-hídricos da camada superficial do solo.

- 2) Mensurar a estimativa denudacional (progressão denudacional) por meio de ensaios de Inderbitzen adaptado em laboratório.
- 3) Estimar cenários evolutivos da conformação topográfica a partir da perda de material superficial determinados nos ensaios de Inderbitzen adaptado fazendo uma análise integrada dos aspectos físicos com os aspectos antrópicos.

Para alcançar o objetivo específico (3), de estimar cenários evolutivos da conformação topográfica além de estimar a perda de material por meio de ensaio (Inderbitzen), foram cumpridas as etapas de elaboração dos seguintes mapas:

- A) Mapa base da área de estudo
- B) Mapa hipsométrico da área de estudo
- C) Mapa identificando perfis topográficos
- D) Mapa clinográfico
- E) Mapa de uso e ocupação da área de estudo
- F) Mapa de unidades geotécnicas e fluxograma da água superficial
- G) Mapa de zoneamento denudacional
- H) Mapas de progressão denudacional e analisar as áreas mais afetadas na Vila São Rafael.

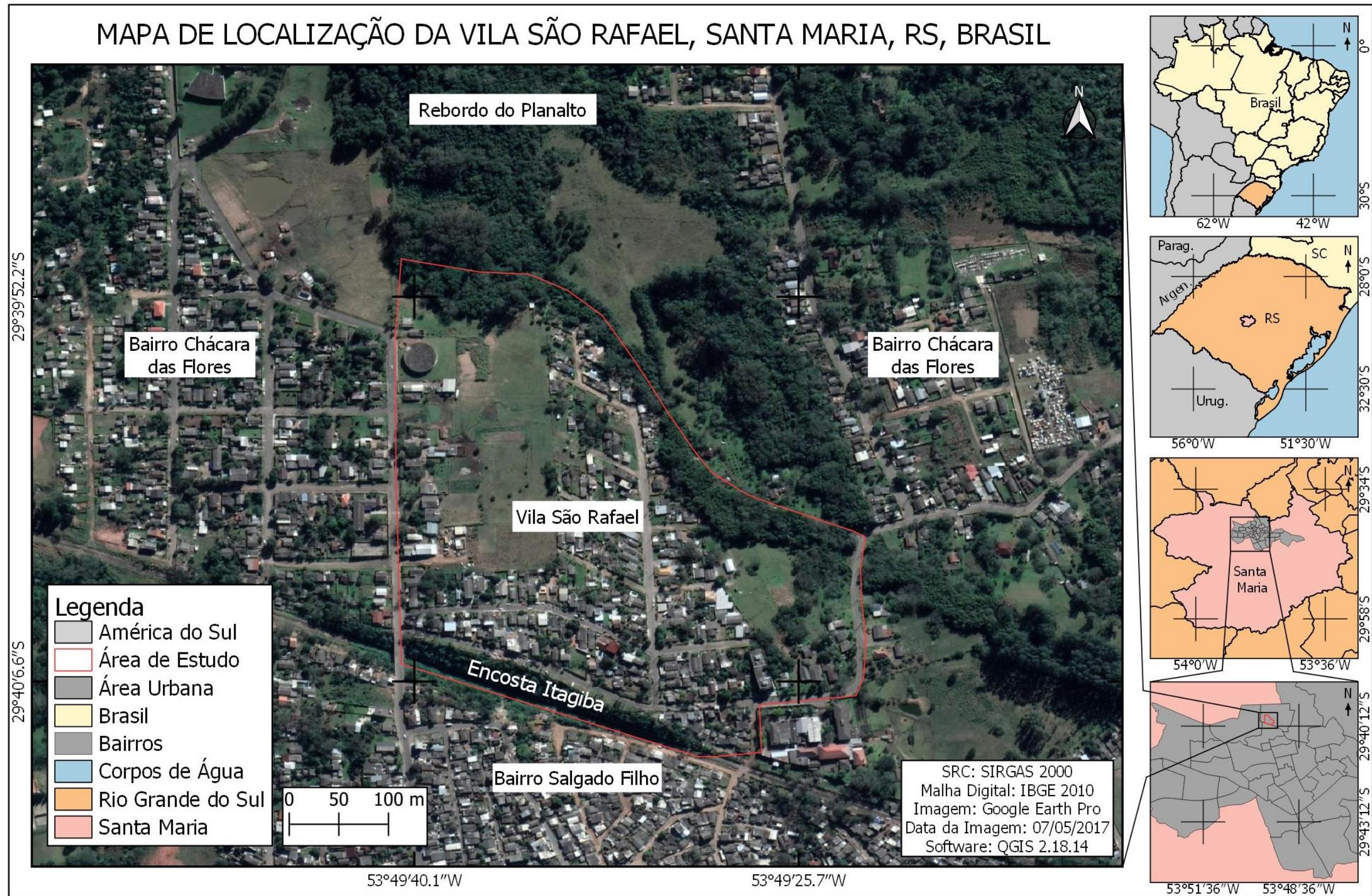
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO DA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS

A Vila São Rafael (Figura 1) localiza-se no bairro Chácara das Flores que situa-se na zona norte do município de Santa Maria - RS, entre as coordenadas geográficas de 29°40'09" e 29°39'56" (latitude sul) e 53°49'40" e 53°49'19" (longitude oeste). O bairro Chácara das Flores limita-se com os seguintes bairros: Caturrita, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro e Salgado Filho (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA, 2016).

A Vila São Rafael é uma unidade residencial urbana que confronta ao sul com a Rua Passo dos Weber, abrangendo aproximadamente cento e cinquenta metros ao leste da Avenida Borges de Medeiros, cujos lotes confrontam com as Ruas Passo dos Weber, Presidente Juscelino Kubitschek, Um, Dois, Três, Quatro, Cinco, Seis e Sete (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA, 2016).

Figura 1 - Localização da Vila São Rafael no perímetro urbano de Santa Maria - RS.



Fonte: Modificado de Google Earth Pro (2017).

2.2 ASPECTOS ANTRÓPICOS DA VILA SÃO RAFAEL E DA CIDADE DE SANTA MARIA - RS

2.2.1 Contexto geopolítico, geoeconômico e histórico-social da ferrovia que passa na porção sul da Vila São Rafael

A evolução e a importância geopolítica, geoeconômica e histórico-social da cidade de Santa Maria estão entrelaçadas ao processo histórico das ferrovias, pois as ferrovias dos países que compõem o Cone Sul foram implementadas para o escoamento de *commodities* primárias – cereais na Argentina e Uruguai e cobre no Chile. A Geopolítica do século XIX foi marcada por conflitos. A guerra entre Argentina e Brasil em 1825, pelo controle da região que é hoje o Uruguai, e a Guerra do Paraguai, em 1860, refletiram na infraestrutura logística do Cone Sul (integração).

As ferrovias foram planejadas e construídas adotando bitolas diferentes. Passou-se mais de 200 anos e mesmo importantes para o comércio no Cone Sul e o desenvolvimento da região (geopolítica, integração e fortalecimento de laços políticos e econômicos) ainda hoje as bitolas são distintas e, por isso, não favorecem a integração dos transportes e a fluxo comercial.

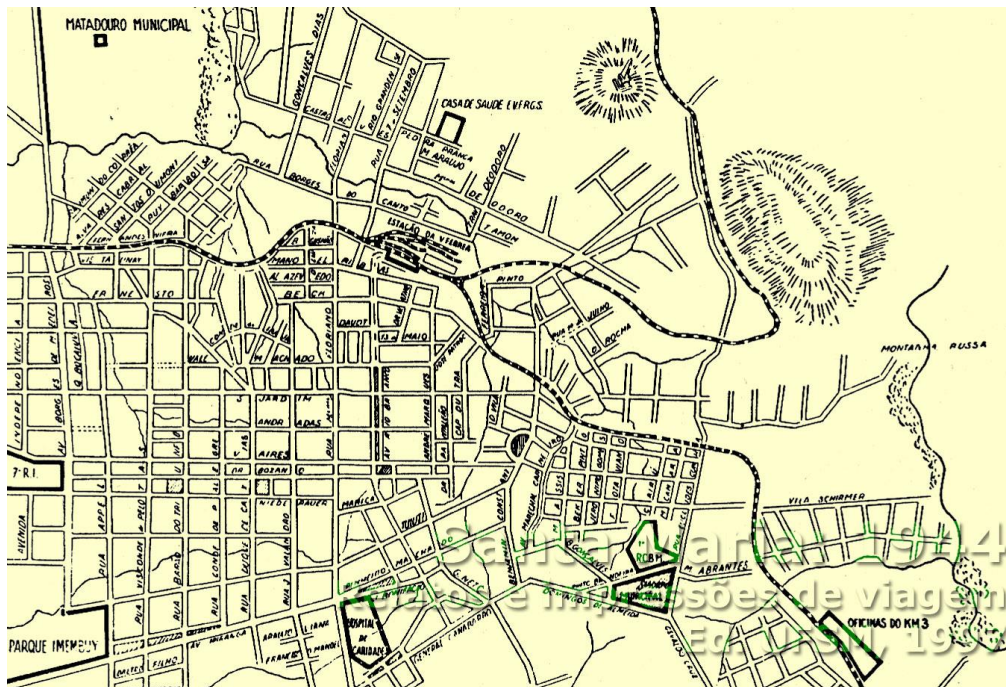
Atualmente, século XXI, as ferrovias do Cone Sul e da América do Sul continuam sendo utilizadas para a exportação de *commodities*: minério de ferro no Brasil e na Venezuela, grãos agrícolas na Argentina, cobre no Chile, zinco no Peru e carvão na Colômbia. Países como Venezuela, Colômbia, Equador e Peru não possuem conexões ferroviárias entre eles.

A estrada de ferro Porto Alegre - Uruguaiana (1883) que ligou Santo Amaro (Amarópolis) a Cachoeira (Cachoeira do Sul) tinha como principal objetivo garantir a fronteira oeste, sendo inaugurado a primeira etapa até Cachoeira em outubro de 1884 e a chegada a Uruguaiana em 24 de dezembro de 1907. Também foi importante para a integração do espaço geográfico gaúcho pois para ir de Santo Amaro a Porto Alegre utilizava-se a navegação fluvial no rio Jacuí. Neste contexto em 1907, os trilhos chegam a Uruguaiana, na fronteira com a Argentina. Já a ligação entre Santa Maria e Marcelino Ramos, na divisa norte com Santa Catarina, foi concluída em 25 de outubro de 1910, passando por Cruz Alta e Passo Fundo, e interligando as ferrovias do Rio Grande do Sul com a Estrada de Ferro São Paulo - Rio Grande (ISAIA, 1983).

Segundo Tomazetti (2000), a companhia Belga foi beneficiada e recebeu concessões à construção e exploração. Assim, no final do século XIX Santa Maria já era um importante centro ferroviário o que fomentou o crescimento urbano.

No entanto, o traçado da ferrovia na atual área urbana de Santa Maria já passou por três grandes alterações e todas posteriores a 1944, como mostra a planta urbana desse ano (Figura 2).

Figura 2 - Traçados ferroviários na área urbana de Santa Maria, em uma planta da cidade de 1944.



Fonte: <http://vfco.brazilia.jor.br/estacoes-ferroviarias/vfrgs/mapa-trilhos-ferrovia-Santa-Maria.shtml>

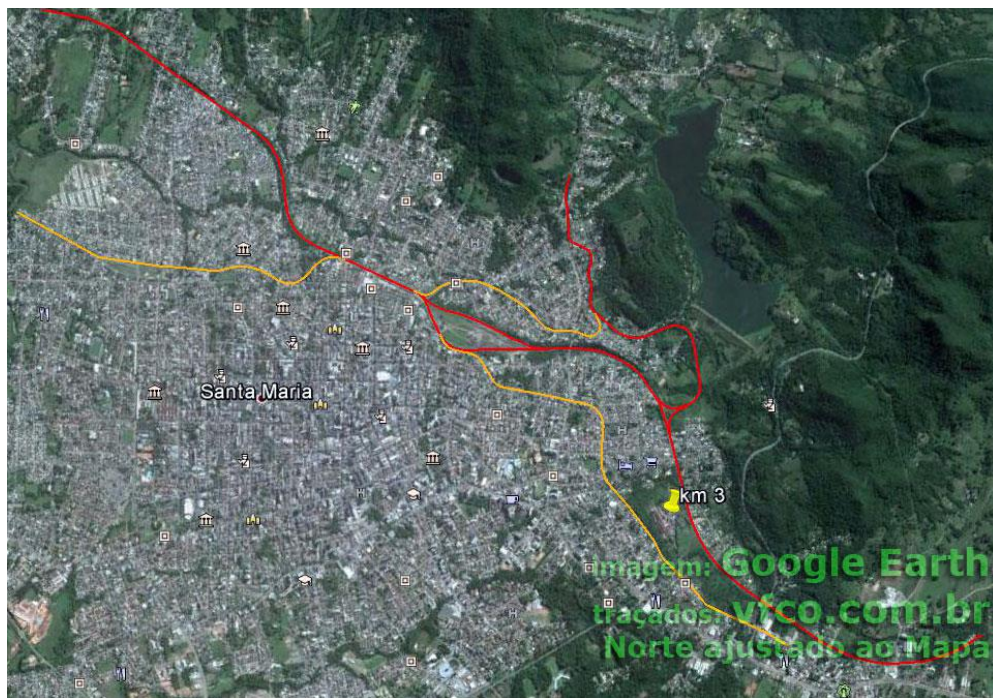
A alteração de traçado mais visível é a do trecho a oeste da estação ferroviária (saída da antiga Estrada de Ferro Cacequi) que ainda hoje pode ser percebida na cidade como uma “mancha ferroviária” em forma de “meia lua”, próxima às ruas José de Alencar e Tomás Antônio Gonzaga.

As outras duas modificações (saídas das antigas Estrada de Ferro Porto Alegre e Estrada de Ferro Passo Fundo), substituídas pela atual saída única, com triângulo e a variante Santa Maria - Arroio do Só foram iniciadas em 1952 e ficou concluída em 1962. Segundo a Revista Refesa, 1968 as modificações foram motivadas pela:

[...] A necessidade de melhor circulação de cargas no centro ferroviário de Santa Maria determinou a construção de um novo recinto. O seu desenvolvimento foi previsto com várias etapas. Variantes e melhoria de linha foram destaque na VFRGS (Refesa, 1968, edição especial comemorativa dos 10 anos da RFFSA p. 19-21).

Ao comparar o mapa de 1944, com a apresentação dos traçados ferroviários sobre imagens de satélite do Google Earth mais recente (Figura 3) a Avenida Rio Branco, antiga Avenida Progresso fica claro as modificações e rearranjos.

Figura 3 - Traçados ferroviários antigos (laranja) e atuais (vermelho) na área urbana de Santa Maria, em uma imagem de satélite do Google Earth, com o Norte levemente deslocado para comparação com o mapa de 1944.



Fonte: <http://vfco.brazilia.jor.br/estacoes-ferroviarias/vfrgs/mapa-trilhos-ferrovia-Santa-Maria.shtml>

O traçado da ferrovia na zona norte da cidade de Santa Maria pode ser compreendido não apenas a questões de engenharia (topografia), pois outras variáveis (interesses) podem ter sido determinantes para que houvesse o corte topográfico da coxilha onde hoje está assentada à encosta Itagiba. Não existia esta encosta antes do corte topográfico que hoje delimita os seguintes bairros: Salgado Filho a Sul da Ferrovia onde fica a Vila Kennedy e o Bairro Chácara das Flores a norte onde localiza-se a Vila São Rafael e o corte topográfico ao sul desta Vila. Neste sentido, cabe salientar que os processos erosivos e denudacionais na Vila São Rafael foram modificados podendo ter se tornado mais acelerados devido as alterações antrópicas.

Além das modificações na colina, que modificou a conformação do relevo deixando-o artificial, há hoje ocupação antrópica irregular sobre a encosta Itagiba e moradias regulares

nas demais áreas da Vila São Rafael. Observa-se que na área de ocupação irregular as construções são carentes em infraestrutura e sofrem maiores danos com os processos denudacionais. A ocupação irregular explica-se pelo valor dos imóveis e condições sociais de extrema pobreza havendo um processo de segregação socioeconômico marcante na Vila São Rafael. Neste sentido, as famílias de menor poder aquisitivo se veem obrigadas a ocupar áreas ilegais e de risco.

2.2.2 O processo de ocupação da área de estudo

O Bairro Chácara das Flores consta oficialmente segundo a Prefeitura Municipal de Santa Maria como bairro oficial desde o ano de 1986. Na nova divisão em bairros de Santa Maria ocorrida no ano de 2006, houve mudança em seu território havendo a anexação das unidades residenciais: Balneário das Pedras Brancas e Desmembramento Fernando Friedrich que até o ano de 2006 faziam parte do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro.

Sendo assim, o bairro Chácara das Flores, pertencente a cidade de Santa Maria, é caracterizado como uma unidade de vizinhança que contém doze unidades residenciais (Quadro 1).

Quadro 1 - Unidades residenciais do Bairro Chácara das Flores.

| | Unidade residencial | Localização | Limites | Obs. |
|----------|-----------------------------------|---|--|-------------|
| 1 | Balneário das Pedras Brancas | 29° 39' 51.50" S 53° 48' 57.67" O | A unidade residencial urbana que confronta com a continuação da Rua Passo dos Weber, ao sul, distando aproximadamente 30 metros a oeste da Rua João Jacinto Gauer. | |
| 2 | Chácara das Flores | | Toda a área do perímetro deste Bairro sem denominação específica. | |
| 3 | Chácara das Rosas | 29° 40' 12.42" S 53° 48' 58.06" O | A unidade residencial urbana localizada entre as Ruas Fernando Friedrich e Castro Alves, confrontando ao oeste com a Rua Reverendo Adolfo Ungaretti. | |
| 4 | Desmembramento Fernando Friedrich | 29° 39' 59.47" S 53° 48' 53.93" O | A unidade residencial urbana cujos lotes tem a seguinte delimitação; ao norte, com a continuação da Rua Passo | |

| | | | | |
|----|----------------------|---|---|------------------------------------|
| | | | dos Weber; leste, com a Rua João Jacinto Gauer; ao sul, com a Rua Fernando Friedrich; ao oeste, com a Rua Reverendo Adolfo Ungaretti. | |
| 5 | Vila Cerro Azul | 29° 40' 10.06" S 53° 49' 14.88" O | A unidade residencial urbana localizada a oeste da Vila das Flores, entre a Vila Itagiba, o Arroio Wolf e a linha férrea Santa Maria/Uruguaiana, cujos lotes confrontam para a Rua La Paz e um corredor que liga esta Vila com a Rua Castro Alves. | |
| 6 | Vila das Flores | 29° 40' 12.84" S 53° 49' 05.68" O | A unidade residencial urbana que confronta a leste com a Rua Sílvio Romero; ao sul, com a Rua Castro Alves; a oeste com o Arroio Wolf e ao norte com uma sanga afluente do Arroio Wolf. | |
| 7 | Vila Itagiba | 29° 40' 01.46" S 53° 49' 17.02" O | A unidade residencial urbana localizada ao sul da Rua Passo dos Weber e ao nordeste deste Arroio. | Onde localiza-se a Encosta Itagiba |
| 8 | Vila Sant'Anna | 29° 40' 01.69" S 53° 49' 04.20" O | A unidade residencial urbana cujos lotes confrontam para as seguintes vias: ao norte com a Rua Passo dos Weber; a leste, com a Rua Reverendo Adolfo Ungaretti; ao sul, com uma sanga, afluente do Arroio Wolf e a oeste com a Rua Sílvio Romero. | |
| 9 | Vila Santa Terezinha | 29° 39' 41.48" S 53° 49' 28.54" O | A unidade residencial urbana, cujos lotes entestam com as Ruas Humaitá, Miraguari, Xingu, Agudo, Araças, Das Marcelas, Passo dos Weber e outra rua sem denominação, paralela a Rua das Marcelas. | |
| 10 | Vila São Rafael | 29° 40' 02.90" S 53° 49' 31.47" O | A unidade residencial urbana que confronta ao sul com a Rua Passo dos Weber, distando aproximadamente 150 metros ao leste da Avenida Borges de Medeiros, cujos lotes confrontam com as Ruas Passo dos Weber, Presidente Juscelino Kubistchek, Um, Dois, Três, Quatro, Cinco, Seis e Sete. | Área de estudo |
| 11 | Vila Tiarajú | 29° 39' 49.12" S 53° 49' 48.60" O | A unidade urbana, que limita a leste com a Rua 8 de Maio e Hidráulica; ao sul, com a Vila Vitória e a oeste com o | |

| | | | | |
|----|--------------|---|---|--|
| | | | Bairro Caturrita. | |
| 12 | Vila Vitória | 29° 40' 00.66" S 53° 49' 45.41" O | A unidade residencial urbana que confronta ao norte com a Vila Tiarajú; a oeste, com a Avenida Borges de Medeiros; ao sul, com a linha férrea Santa Maria/Uruguaiana e a oeste, com o Bairro Caturrita. | |

Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Maria (2017).

Segundo dados do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o Bairro Chácara das Flores se encontra dentre os 50 bairros oficiais de Santa Maria: é o 25º bairro mais populoso, o 31º bairro em extensão territorial, o 25º bairro mais povoado (densidade demográfica), o 26º bairro em percentual de população na terceira idade (com 60 anos ou mais), o 39º bairro em percentual de população na idade adulta (entre 18 e 59 anos), o 12º bairro em percentual de população na menoridade (com menos de 18 anos), um dos 39 bairros com predominância de população feminina, um dos 30 bairros que não contabilizaram moradores com 100 anos ou mais.

A população total no Bairro Chácara das Flores (IBGE, 2010) corresponde a 3.939 pessoas, onde 1912 são homens (48,54%) e 2.027 são mulheres (51,46%).

2.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

2.3.1 Geologia e Pedologia

Na cidade de Santa Maria há predominantemente a presença de substrato litológico formado por rochas sedimentares e, em menor proporção, por rochas vulcânicas que compõem a Bacia Sedimentar do Paraná, bem como depósitos associados aos canais fluviais. As rochas sedimentares representam vários ciclos deposicionais e processos diagenéticos em área continental com variações definidas pelas diferentes fácies, nas sequências de mesma idade, e por alterações do clima, nas sequências de idades diferentes. Já as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, surgiram a partir de sucessivos derrames de lavas formadas pelo vulcanismo fissural ocorrido na Bacia do Paraná, durante o processo de separação do continente de Gondwana (OLVEIRA, 2007; CPRM, 2007).

O Quadro 2 mostra a coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul onde estão presentes as formações litológicas que ocorrem na região de Santa Maria.

Quadro 2 - Coluna estratigráfica na Região de Santa Maria no Rio Grande do Sul.

| Era | Período | Época / Idade | Grupo | Formação | Litologias |
|--|-----------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|--|
| CENOZÓICA | Neógeno | Holoceno ±10 milhões de anos | - | Depósitos Aluvionares | Conglomerados, arenitos conglomeráticos, siltitos e lamitos maciços ou com laminação plano-paralela e estratificação cruzada acanalada. |
| | | Cretáceo | ±130 milhões de anos | Serra Geral | Fácies Caxias: derrames de composição intermediária a ácida, riolacitos a riolitos granofíricos de cor cinza clara a média e vitrófiros de cor preta ou castanha subordinados, com disjunção tabular dominante. |
| Fácies Gramado: derrames basálticos granulares finos e médio, melanocráticos cinza, com horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, intercalados com arenito eólico. | | | | | |
| MESOZÓICA | Jurássico | ±135 milhões de anos | | Botucatu | Arenitos médios a finos de cor rosa, com estratificação cruzada, oriundo de ambiente continental desértico, depósitos de dunas eólicas. |
| | Triássico | Superior | Rosário do Sul | Caturrita | Arenitos, conglomerados, siltito areno-argiloso e folhelho, contendo tetrápodes fósseis e troncos de coníferas, ambiente continental, depósitos fluviais e deltas lacustres. |
| | | Médio | | Santa Maria | Membro Alemoa: siltito argiloso maciço, contendo fauna de tetrápodes fósseis, ambiente continental correspondendo a depósitos de canais fluviais de moderada sinuosidade, de planície de inundação e lacustre. |
| | | Inferior | | Sanga do Cabral | Membro Passo das Tropas: arenito e arenito conglomeráticos com pelitos subordinados, contendo elementos da flora de <i>Dicroidum</i> Corpos tabulares ou lenticulares alongados, brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito, ambiente continental, fluvial entrelaçado, contendo fragmentos de vertebrados fósseis (anfíbios e reptéis). |
| | | ±230 milhões de anos | | | |
| | | ±250 milhões de anos | | | |

Fonte: Adaptado de Gasparetto et al (1988); CPRM (2006).

A Vila São Rafael agrega afloramentos rochosos de duas litologias distintas: a Formação Santa Maria (Membro Alemoa) e a Formação Caturrita, onde evidencia-se o contato superior discordante que separa os lamitosossilíferos da Formação Santa Maria dos sedimentos flúvio-lacustres da Formação Caturrita, onde predomina uma superfície ondulada que marca o limite entre essas duas Formações Litológicas (BORTOLUZZI, 1974).

Em seu trabalho realizado em 1974, Bortoluzzi descreve a Formação Caturrita na área de estudo, Vila São Rafael, verificando na base do corte do nível da estrada de ferro até a cota de 126 metros, a presença de lamitos vermelhos fraturados; em direção ao contato, pode-se observar na parte superior do corpo do lamito, que termina por apresentar um nível irregular de uma lama, sugerindo a presença de um solo fóssil, denominado como Pré-Botucatu.

Já a Formação Santa Maria, nesta mesma obra (Bortoluzzi, 1974), que está localizada na porção leste e sul da Vila São Rafael, é caracterizada por ser constituída de uma “sequência de siltitos e arenitos argilosos, estratificados e com diversas cores, que variam do rosa avermelhado a cinza esverdeado. Na área estudo, essa Formação compreende somente a fácies do Membro Alemoa. No entanto, é de extrema importância destacar que a Formação Santa Maria é composta por duas fácies, que representam os membros: Passo das Tropas (inferior e não presente na área de estudo) e o Alemoa (superior e presente na área de estudo).

O Membro Passo das Tropas é constituído predominantemente por arenitos médios a grosseiros, com coloração que varia de amarelo a rosa, friáveis, feldspáticos, por vezes conglomeráticos, com seixos e grânulos de quartzo e bolas de argila, de origem fluvial. Essa camada é permeável e possui aquífero livre e confinado, constituindo o aquífero mais importante para o município, dado a sua larga exploração. Já na parte superior dessa unidade, têm-se uma sequência de siltitos e arenitos argilosos, estratificados e com cores variadas, os quais são semipermeáveis (GASPARETTO et al, 1988; MACIEL FILHO, 1990).

O Membro Alemoa é representado por uma sequência de lamitos de coloração vermelha, compactos, maciços, praticamente impermeáveis e apresenta níveis mais claros de concreções calcárias. Essa unidade apresenta problemas de expansividade, o que acarreta em problemas para a infraestrutura predial, através das rachaduras nas paredes (GASPARETTO et al, 1988; MACIEL FILHO, 1990).

Com relação ao processo de intemperização dessa unidade, Maciel Filho (1990), o caracterizou inicialmente como físico, demonstrando que as fissuras colunares de base quadrada, hexagonal ou octogonal, além de fissuras octaédricas com mergulhos entre 50 e 70 graus e fissuras horizontais que se multiplicam à medida que se aproximam da superfície e conduzem uma completa desagregação do material nos horizontes superficiais.

Maciel Filho (1990) salienta que o fissuramento na Formação Santa Maria (Membro Alemoa) ocorre devido ao processo de inchamento e retração das argilas, em razão na variação da quantidade de água, onde é notável a abertura de algumas dessas fissuras que podem chegar a 1cm ou mais, conforme o seu estado de ressecamento.

Com relação ao comportamento hidrogeológico, na unidade do Membro Alemoa ele é praticamente impermeável. Isso ocorre porque a parte superior funciona como uma capa impermeável enquanto os siltitos e os arenitos argilosos da base são semipermeáveis. Devido a impermeabilização, a água fica retida no solo superficial, mantendo-o geralmente muito úmido. A importância dessa camada é funcionar como selo isolante entre o que está acima e abaixo dela (MACIEL FILHO, 1990).

Diante disso, destaca-se que essa unidade (Formação Santa Maria – Membro Alemoa) apresenta solos geralmente rasos, com cerca de 50 cm, do tipo argissolo que possuem baixa resistência aos processos erosivos e baixa fertilidade da fração argila. Com relação a erosão, o solo quando é desprovido de vegetação, fica sujeito à formação de sulcos e ravinas que se aprofundam rapidamente e acabam retirando até o solo saprolítico. Nesse sentido, Maciel Filho (1990) ressalta que essa unidade é que apresenta o maior número de cicatrizes de ravinamento.

A Formação Caturrita localiza-se nas porções oeste e norte da Vila São Rafael, às margens da ferrovia e apresenta as seguintes características físicas, conforme destaca Bortoluzzi (1974, p.35)

O arenito é predominantemente fino a muito fino, incluindo porém grãos grosseiros a muito grosseiros que podem localmente tornar-se predominantes. A cor é em geral púrpura, passando a vermelho-claro ou amarelo-ferrugem quando alterado; as estratificações são cruzadas do tipo produzido por correntes, e de pequena amplitude (micro-estratificação cruzada); localmente aparecem estratificações planares ou acanaladas. O arenito é muito feldspático, estando o mineral em adiantado estado de alteração, o que empresta à rocha um aspecto salpicado. Esta sedimentação também está situada acima da superfície de discordância, pertence portanto à parte basal da Formação Botucatu, na região de Santa Maria.

De origem fluvial, essa formação litológica (Formação Caturrita) foi definida quanto ao substrato rochoso, como Membro da Formação Botucatu, conforme definiu (BORTOLUZZI, 1974). Assim, este material é constituído por camadas de arenitos finos a médios, com coloração variando do rosa ao cinza claro de composição essencialmente quartzosa e matriz argilosa, contendo em algumas partes teor considerável de feldspato, intercalados frequentemente por camadas ou lentes de siltitos de espessura menor e cor

avermelhada. Já o arenito basal é constituído por espessas camadas de siltito argiloso, podendo haver uma camada de intraclastos de diferentes tamanhos e graus de esfericidade.

É importante destacar que a Formação Caturrita pode ser dividida em duas fácies: uma arenosa e outra argilosa e siltosa semelhante aos lamitos da Formação Santa Maria. Por possuir características fluviais essa formação litológica, permite situá-las como um meio de transição entre o ambiente úmido lacustre que originou a Formação Santa Maria e o ambiente árido que resultou no grande deserto da Formação Botucatu (MEDEIROS, 1980).

É importante destacar que uma das características marcantes que diferencia Formação Santa Maria (Membro Alemoa) e a Formação Caturrita, é a facilidade de infiltração da água sobre a Formação Caturrita. Essa infiltração permite que a intemperização seja rápida manifestando-se principalmente pela descoloração de grãos de arenito (remoção parcial do óxido de ferro que forma o cimento do arenito) contribuindo para o amolecimento e desagregação da rocha. Nas fácies pelíticas, onde há menor infiltração d'água, a remoção do cimento evolui lentamente sendo presenciados fissuramentos (MACIEL FILHO, 1990).

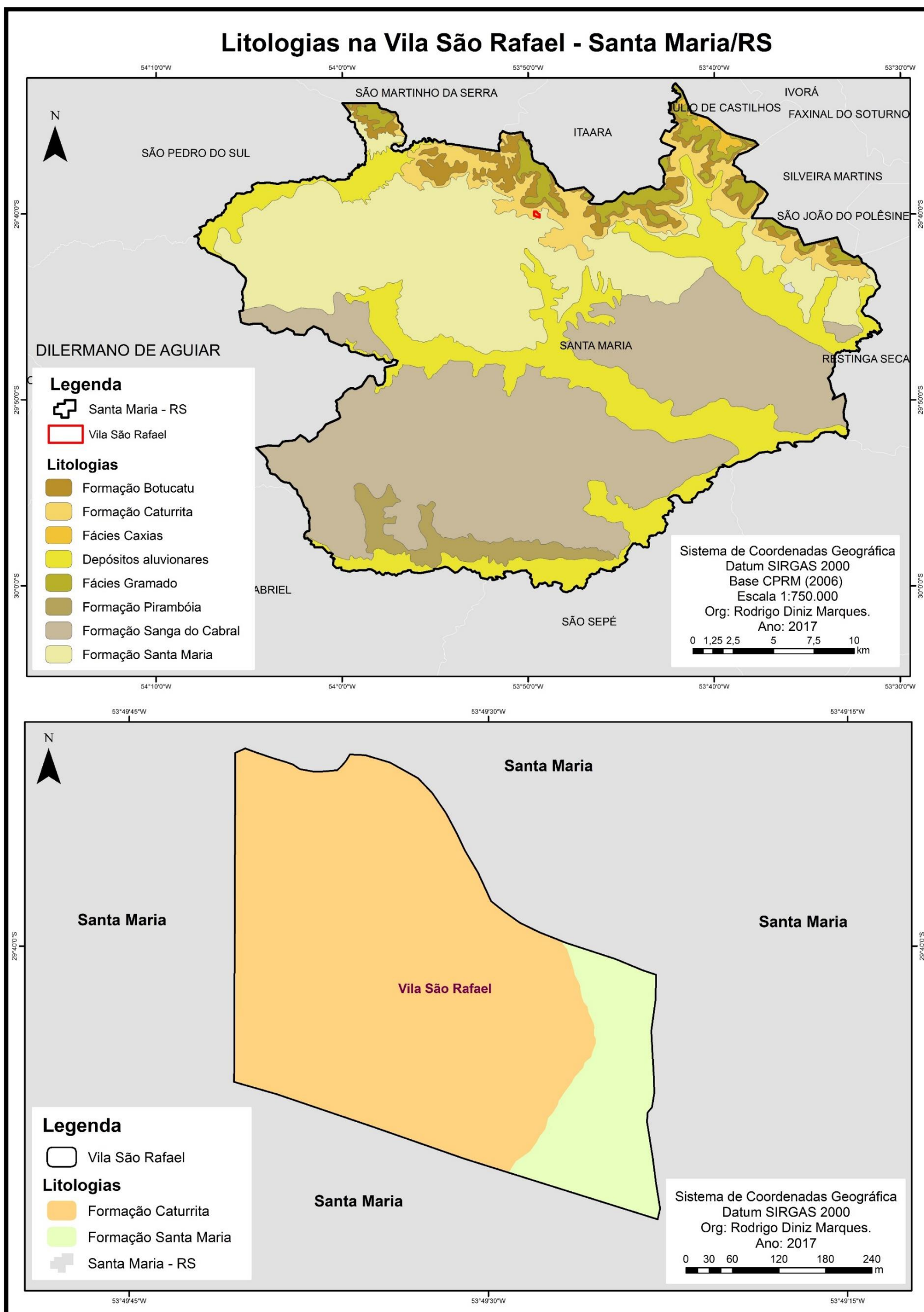
Maciel Filho (1990) ainda destaca que na Formação Caturrita, onde predomina a fácies siltico-argilosa (parte superior) formam-se aquíferos suspensos que são responsáveis por surgências nas encostas. Isso explica facilmente o uso de captações por poços por moradores da Vila São Rafael, ainda que possuam rede de água nas suas residências.

Destaca-se que o comportamento hidrogeológico dessa formação é bastante complexo, pois há aquíferos, camadas semipermeáveis e argila expansiva que diminui a permeabilidade, sendo o arenito basal geralmente grosseiro e permeável. Com isso, a alimentação dos aquíferos se processa, na área de exposição da formação, por infiltração através do solo residual ou por meio do solo coluvionar (MACIEL FILHO, 1990).

É importante salientar que os solos argissolos permitem infiltração maior e o Podzólico Bruno Acinzentado uma infiltração menor. Há ainda uma recarga indireta por drenagem descendente a partir do arenito (Formação Botucatu) ou do basalto. Como existe uma permeabilidade horizontal maior no contato com o arenito, há tendência para a formação de fontes nesses locais. Na área onde ocorre o contato inferior com a Formação Santa Maria, há outra linha de fontes mais importantes que drenam o arenito basal (MACIEL FILHO, 1990).

O mapa da Figura 4 mostra as litologias do Município de Santa Maria e a localização da Vila São Rafael.

Figura 4 - Formações litológicas que ocorrem no município de Santa Maria e na Vila São Rafael.



Fonte: CPRM (2006); Maciel Filho (1990).

A Vila São Rafael além de possuir as litologias da Formação Santa Maria - Membro Alemoa (Leste) e a Formação Caturrita (Oeste), também teve a sua linha de encosta alterada para o traçado da linha férrea, ficando exposta a ação intempérica que transforma a sua conformação topográfica. A referida encosta, popularmente conhecida como Encosta Itagiba, após ter sido alterada para o traçado da linha férrea ficou exposta aos processos de intemperismo, modificando a conformação topográfica (inclinação). Nesta área há ocupação irregular sobre a encosta a cerca de 30 anos, ficando evidente que o substrato rochoso, mesmo que exposto, é resistente aos processos de escorregamento (MACIEL FILHO, 1990).

Basicamente a geologia e a litologia de Santa Maria constituem um importante registro para os estudos da estratigrafia do Triássico Sul-brasileiro. Ficou conhecida a partir dos trabalhos realizados pelo Instituto de Geociências da Universidade do Rio Grande do Sul sobre a geologia da cidade (BORTOLUZZI, 1974). Já em 1990 foi publicada a Carta Geotécnica de Santa Maria que até o presente momento é o único trabalho detalhado da geologia na cidade de Santa Maria (MACIEL FILHO, 1990).

Portanto, o conhecimento da litologia presente da área de estudo é importante pela influência que o substrato litológico exerce sobre as propriedades físicas do solo e na camada superficial do solo. Estas propriedades podem apresentar diferenças à ruptura, plasticidade, aderência e, portanto, afetar os processos erosivos (HILLEL, 1980).

2.3.2 Clima

2.3.2.1 Caracterização climática de Santa Maria

Conforme a classificação estabelecida por Köppen, o clima do município de Santa Maria é do tipo fundamental Cfa - Mesotérmico Brando ou também denominado como Clima Subtropical com verão quente. Com relação as temperaturas em Santa Maria, Pereira et al (1989) discutem que as médias anuais são entre 18° e 20°C no centro sul do município, e entre 16° e 18°C na porção norte. O mês mais frio apresenta temperatura média entre 13° e 15°, média das mínimas variando entre 8° e 10° e mínima absoluta inferior a 0°C. Destaca-se ainda que no mês mais frio ocorrem temperaturas muito baixas; já no mês mais quente a temperatura média é superior a 24°C, com média das máximas variando entre 28° (ao norte) e 32°C (restante do município), e máximas absolutas superiores a 40°C (SARTORI, 2003).

Quando discorria sua dissertação de mestrado em 1979, Sartori assistia ao rápido crescimento da área urbana e já chamava a atenção para a influência das edificações nas

condições climáticas de uma determinada área. Em um estudo mais específico, Saydelles (2005) analisa o campo térmico e o fenômeno de ilhas de calor urbano no município de Santa Maria e seu entorno e relaciona suas oscilações térmicas e espaciais, a partir da interação das variáveis urbanas e naturais frente à imposição de tipos de tempos e condições sinóticas de inverno. O autor ainda destaca que as edificações interferem na circulação do ar, bem como provocam o sombreamento de algumas áreas e a formação de “Ilhas de Calor Urbano” com diferenças de até 10°C de temperatura na relação centro-periferia.

Os ventos predominantes são de leste, influenciados pela direção geral do Rebordo do Planalto (E-W), que provoca a inflexão dos ventos S e SE, canalizando-os ao longo da Depressão Periférica Sul-Riograndense. Os ventos mais fortes e quentes são advindos do quadrante N (Vento Norte), que ocorre mais no inverno e no início da primavera, sendo que algumas rajadas podem atingir os 100 km/h. Os ventos mais frios são os de S e SW e ocorrem quando a Massa Polar Atlântica tem trajetória pelo interior do continente, sendo esse chamado popularmente de “Vento Minuano”. Os nevoeiros ocorrem com maior frequência de maio de setembro na Depressão, e no Rebordo do Planalto, ocorre a formação de nevoeiros de encostas influenciados pela presença das frentes frias (SARTORI, 2003).

Já a distribuição das precipitações em Santa Maria reflete a disposição dos compartimentos geomorfológicos, onde se sobressai a influência da escarpa da Serra Geral (porção norte do município), que provoca o efeito orográfico nas chuvas e determina o aumento na precipitação. Além disso, influi no vento de direção norte que ao descer a serra se intensifica e se aquece, tornando-se mais quente e seco do que é no topo do Planalto (SARTORI, 1979).

Ao buscar uma abordagem mais genética para os fenômenos atmosféricos da região, Sartori (1979) ao estudar o clima de Santa Maria, realizou uma análise dinâmica da circulação atmosférica regional, salientando que, a sequência de tipos, são a resposta para essa circulação. Assim, a referida autora ao analisar a participação dos Sistemas Extratropicais (Massas e Frentes Polares) e Intertropicais (Massas Tropicais e Correntes Perturbadas) na região, constata que, em 90% dos dias do ano, o controle do tempo é feito por meio dos Sistemas Polares que determinam as principais características do clima, sendo responsáveis pelos períodos de diminuição da temperatura e pelas chuvas (PEREIRA et al, 1989).

Sartori (2003) observa que as precipitações pluviométricas são regulares durante todo o ano, não havendo a ocorrência de estação seca, com índices pluviométricos anuais que variam entre 1500 mm e 1600 mm, sendo os meses de setembro e outubro os mais chuvosos e, o de novembro, o mês que menos chove.

A caracterização do número de dias com chuva pode ser realizada através de funções de distribuição de probabilidade para variáveis aleatórias contínuas, tendo em vista os totais de dias com chuva em determinado período. A análise do número de dias com chuva através de funções de distribuição de probabilidade pode não ser possível devido à grande variabilidade interanual, relacionada aos fenômenos El Niño e La Niña (FONTANA; ALMEIDA, 2002)

2.3.2.2 *Períodos de retorno esperados, em anos, da chuva em Santa Maria, em função da intensidade e da duração das chuvas*

O período de retorno das chuvas no município de Santa Maria que leva em consideração a frequência pluviométrica baseada na estatística é de suma importância para compreender os períodos de retorno (T) de um evento máximo anual pluviométrico, podendo ser definido esse período em anos, no qual esse padrão (índice) pode se igualar ou exceder mensurando assim uma média, a cada (T) anos (ELTZ, REICHERT e CASSOL, 1992).

O período de retorno é uma função matemática (Função *Gumbel*) e baseia-se em dados (precipitação) registrados no município de Santa Maria, no período de 1963 a 1989 em 27 anos (ELTZ, REICHERT e CASSOL, 1992).

É importante salientar (Tabela 1) que a intensidade e a média de durações das chuvas, além do desvio-padrão. Pois são esses valores ao serem aplicados nas equações do período de retorno que permitem o cálculo da intensidade e duração da chuva desejada (ELTZ; REICHERT; CASSOL, 1992).

Tabela 1 - Valores da intensidade média (μ), desvio padrão (σ) e parâmetro α para as diferentes durações de chuva (D).

| D | μ | σ | α |
|------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| H | | mm/h | |
| 1/6 | 85,76 | 34,5 | 0,0037 |
| 1/3 | 70,86 | 21,15 | 0,0061 |
| 1/2 | 59,75 | 17,54 | 0,0731 |
| 1 | 39,59 | 9,67 | 0,1327 |
| 2 | 25,24 | 5,43 | 0,2363 |
| 4 | 15,74 | 2,79 | 0,4588 |
| 6 | 12,24 | 2,19 | 0,586 |
| 8 | 10,11 | 2,28 | 0,5634 |
| 12 | 7,27 | 1,84 | 0,6959 |

| | | | |
|-----------|------|------|-------|
| 24 | 4,13 | 1,19 | 1,079 |
| 48 | 2,45 | 2,42 | 1,678 |

Fonte: Modificado de Eltz, Reichert e Cassol (1992).

Na pesquisa de Eltz, Reichert e Cassol (1992) pode-se estimar que haverá, pelo menos uma vez a cada 20 anos, ocorrência de uma chuva com intensidade de 61mm/h com duração de uma hora, ou, pelo menos uma vez a cada 50 anos, uma chuva de 17mm/h, com duração de 8h consecutivas.

Cabe salientar que há eventos de precipitação que saem completamente da reta de tendência, mas sua frequência fica acima dos 20 anos, segundo Eltz, Reichert e Cassol (1992).

Um destes eventos faz-se importante mencionar devido a ocorrência de deslizamento de uma residência na encosta Itagiba. Embora raro segundo a Organização Meteorológica Mundial, ocorreu no ano de 2015 quando a cidade de Santa Maria (RS) registrou a segunda maior volume de chuva no mundo ocupando o segundo lugar no ranking das cidades que registraram os maiores volumes de chuva em todo o mundo, apresentando 181 mm em 24 horas (09/10/2015). O município só perdeu para Hatia, cidade localizada em uma ilha de Bangladesh, onde o acumulado foi de 256 mm (WMO, 2017).

Também é preciso entender e observar (Tabela 2) que a intensidade da chuva pode ser calculada pelo método de distribuição extrema para duração e período de retorno.

Tabela 2 - Intensidade de chuva calculada pelo método de distribuição extrema para durações e períodos de retorno selecionados.

| Duração | Tempo de retorno (anos) | | | | | |
|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| H | mm/h⁽¹⁾ | | | | | |
| 1/6 | 81 | 116 | 139 | 162 | 191 | 212 |
| 1/3 | 68 | 89 | 104 | 118 | 136 | 149 |
| ½ | 57 | 75 | 87 | 99 | 113 | 125 |
| 1 | 38 | 48 | 55 | 61 | 69 | 75 |
| 2 | 24 | 30 | 34 | 37 | 42 | 45 |
| 4 | 15 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 |
| 6 | 12 | 14 | 16 | 17 | 19 | 20 |
| 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 17 | 19 |
| 12 | 7 | 9 | 10 | 11 | 13 | 14 |
| 24 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

| | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|

Fonte: Adaptado de Eltz, Reichert e Cassol (1992).

A intensidade e a duração das chuvas portanto (Tabela 4) apresenta os diferentes períodos de retorno das precipitação. Eltz; Reichert; Cassol, 1992 mostram que todas as equações possuem elevado coeficiente de determinação e são significativos com uma probabilidade de 0,0001. Neste sentido Eltz; Reichert; Cassol, 1992 também demonstram (Tabela 3) o parâmetro das regressões e intensidade da chuva para os períodos de retorno.

Tabela 3 - Parâmetros das regressões (a, b, c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm/h, e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (R²) e de variação (CV).

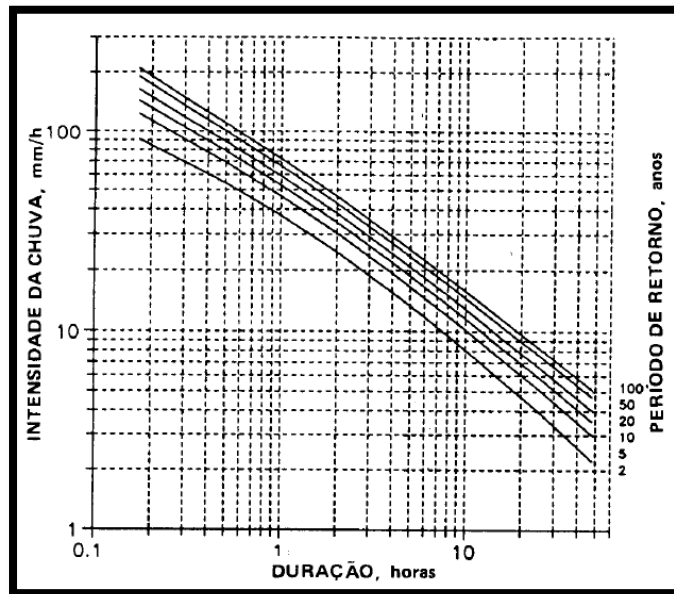
| T | log I = a + b (log D) + c (log D)² | | | | |
|-------------|--|----------|----------|----------------------|-----------|
| | A | B | C | R² | CV |
| Anos | | | | | |
| 2 | 1,5707 | -0,5527 | -0,1033 | 0,999**** | 1,7 |
| 5 | 1,6681 | -0,5977 | -0,0641 | 0,999**** | 1,6 |
| 10 | 1,722 | -0,6174 | -0,0467 | 0,999**** | 1,6 |
| 20 | 1,7679 | -0,632 | -0,0338 | 0,998**** | 1,7 |
| 50 | 1,8208 | -0,6467 | -0,0207 | 0,998**** | 1,8 |
| 100 | 1,8566 | -0,6555 | -0,0129 | 0,998**** | 1,8 |

Legenda: *** Significativo ao nível de 0,0001.

Fonte: Eltz, Reichert e Cassol (1992) e modificado pelo autor.

Foi demonstrado (Figura 5) a partir das equações apresentadas na Tabela 4, a estimativa da intensidade, duração e o período de retorno de chuva de Santa Maria – RS revelando que a intensidade pode ser estimada para uma duração e período de retorno, e este ser estimado para determinada duração de chuva (ELTZ, REICHERT e CASSOL, 1992).

Figura 5 - Períodos de retorno esperados T, em anos, da chuva em Santa Maria, em função da intensidade e da duração das chuvas.



Fonte: Eltz, Reichert e Cassol (1992).

Na cidade de Santa Maria, a precipitação com maior período de retorno esperados (T), em função da intensidade e da duração das chuvas é aproximadamente 20 mm num intervalo de tempo de 3 horas (ELTZ, REICHERT e CASSOL, 1992).

Portanto, foi a precipitação (20 mm/ 3 horas) - precipitação com maior período de retorno esperado que foi utilizado no Ensaio de Inderbitzen para simular a precipitação em laboratório (simulação de vazão).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 EROSÃO: BASES CONCEITUAIS

A expressão erosão deriva do latim “*erodere*” e o seu significado está vinculado aos processos de desgaste do relevo com a retirada do material e o transporte deste material desagregado e inconsolidado (grãos e minerais). A erosão é um dos principais processos dinâmicos que ocorre na superfície e subsuperfície, sendo responsável pela modelagem do relevo caracterizando a conformação da topografia e da paisagem. Condicionado por agentes como: o clima, a água, o vento, o gelo, o relevo, a natureza do material e ação antrópica é definido como um conjunto de fenômenos naturais que envolvem a remoção de materiais detríticos provenientes da decomposição e desagregação de rochas e solos. A erosão, portanto é um processo definido como: a desagregação, o transporte e a deposição do solo, subsolo e rochas em decomposição por meio da ação: da água, dos ventos e do gelo (GALETI, 1982)

Neste sentido, Bertoni e Lombardi Neto (1990, p. 45) define que “a erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva”, pois a água pluvial atua sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade, diâmetro e energia distintas. Segue o escoamento com, velocidade e volume variando também de acordo com a declividade, comprimento de rampa e absorção de água pelo solo. Referente as forças passivas, há a resistência do solo à erosão a qual está vinculada a propriedades físico-hídricas e a mecânica de solos bem como a capa vegetal que o protege ou acelera esse processo.

Por sua vez, Bertoni e Lombardi Neto (1999) definem erosão salientando a importância das ações antrópicas considerando assim como processo de desagregação, transporte e deposição de partículas componentes do solo causados pela ação da água ou através do vento, atribuindo ao homem (remoção da cobertura vegetal) o uso do solo um papel relevante neste processo. Em sintonia com este autor, Morgan (2005, p. 11)¹, conceitua o termo erosão como:

A erosão do solo é um processo de duas fases que consiste na separação de partículas individuais da massa do solo e seu transporte por agentes erosivos, como água corrente e vento. Quando a energia suficiente não está mais disponível para transportar as partículas, ocorre uma terceira fase de deposição (MORGAN, 2005, p. 11).

¹ Tradução livre do autor. Texto original: “*Soil erosion is a two-phase process consisting of the detachment of individual soil particles from the soil mass and their transport by erosive agents such as running water and wind. When sufficient energy is no longer available to transport the particles, a third phase, deposition, occurs*” (MORGAN, 2005, p.11).

Em sua tese de doutorado, Bastos (1999) apresenta uma revisão sobre o tema erosão, destacando como algumas áreas de conhecimento trabalham com essa temática e qual o principal enfoque das mesmas. Com base nisso, o Quadro 3 representa as principais áreas de conhecimento que trabalham com o termo erosão e o enfoque dado para cada uma dessas áreas.

Quadro 3 - Enfoque dos estudos sobre a tema erosão em diferentes áreas do conhecimento.

| ÁREA DO CONHECIMENTO | | ENFOQUE |
|-----------------------------|--------------------------------|--|
| AGRONOMIA | Física dos Solos | Estudo das características físicas, químicas e mineralógicas que influenciam a erodibilidade dos solos dos horizontes superficiais e estudo de modelos de previsão da perda do solo. |
| | Manejo e Conservação dos Solos | Estudo do impacto de técnicas de cultivo e manejo no processo erosivo. |
| HIDRÁULICA | Hidráulica dos Canais | Estudo da erosão localizada dos solos pelo fluxo d'água em estruturas hidráulicas (ex: canais em terra). |
| GEOLOGIA | Geologia de Engenharia | Estudos concentrados no diagnóstico ambiental da erosão, nas condicionantes geológicas e geomorfológicas à erosão regional e no relato de obras para controle de erosão. |
| ENGENHARIA | Engenharia Geotécnica | Poucos trabalhos na modelagem dos mecanismos de erosão e em critérios de avaliação da erodibilidade dos solos. |
| GEOGRAFIA | Pedologia, Geomorfologia | Estudo das características físicas, químicas e mineralógicas que influenciam a modelagem do relevo (formas de relevo) |

Fonte: Modificado de Bastos (1999).

Conforme as proposições conceituais enfatizadas Camapum de Carvalho et al (2006), em seus trabalhos relacionados com as ciências da terra, o conceito de erosão é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre pela ação da água, do vento, das queimadas, do gelo, dos organismos vivos e da ação antrópica.

Os autores (BIGARELLA, 2003); (CASSETI, 1994); (CHRISTOFOLETTI, 1980); (GUERRA,1999) salientam nesta mesma linha que os processos erosivos dependem também de fatores externos como: erosividade pluviométrica, infiltração, escoamento superficial, declividade e o comprimento de rampa, além de fatores internos, como a desagregabilidade e

a erodibilidade do solo. A erosão portanto corresponde a um conjunto de fenômenos naturais, envolvendo a formação de materiais detríticos provenientes da desagregação e decomposição das rochas e dos solos. Importante esclarecer também que essa erosão é denominada natural porque atua constantemente na superfície terrestre e representa um dos principais agentes naturais de transformação fisiográfica do planeta, sendo afetado por agentes como: o clima, a ação das águas e do vento, características do relevo, atividade biológica nos solos e a ação antrópica.

Neste sentido Galetti (1982) pontua que independente de qual seja o agente, a erosão se processa em três fases:

- a) Desagregação: ocorre no momento em que as gotas de chuva atingem a superfície do solo, pois com o impacto, as gotas se fragmentam e respingam centímetros em um raio que depende principalmente do impacto e tamanho das gotículas, pois Bigarella, (2003) denomina esse processo de “splash” onde gotículas, após impacto levam consigo as partículas de solo soltas. Cabe salientar ainda que a amplitude da desagregação depende do tipo de solo, da cobertura vegetal e da erosividade da chuva.
- b) Transporte: as partículas de solo fragmentadas e soltas são transportadas pelo agente erosivo (água, vento, gelo). No tocante ao transporte pelas águas, as partículas menores são transportadas em suspensão e as partículas grossas são empurradas ou roladas. O destino das partículas e o quão distante essas partículas serão transportadas depende do tamanho das partículas, da força da água, da topografia do terreno e da presença ou não de obstáculos que interrompa o transporte.
- c) Deposição: também chamada de sedimentação, é nessa etapa que as partículas arrastadas pelo agente erosivo se depositam na superfície terrestre.

Nesse sentido, cabe destacar que a intensidade do processo erosivo é decorrente do volume de material que é desagregado e pela capacidade do escoamento em realizar o transporte de sedimentos. Assim, a intensidade da erosão é mensurada tanto pela quantidade de material desagregado quanto pela capacidade de transporte deste material inconsolidado.

Conforme Bastos (1999), as ciências da terra classificam a erosão quanto: (1) erosão geológica, que ocorre de forma natural sem intervenção humana, caracterizada pela desagregação e o transporte de agregados desprendidos do solo e do relevo pelos agentes erosivos, atuando de forma lenta e constante; (2) erosão acelerada ou erosão antrópica, consiste em um processo rápido e destrutivo, induzido principalmente pela ação humana por meio da transformação do relevo e do solo para o uso da terra, gerando desequilíbrio nas fases de erosão natural e sedimentação.

Pode-se considerar ainda que a erosão dos solos é considerada normal, quando ocorre um equilíbrio entre: a formação do solo e o seu desgaste natural. Assim, quando o processo de erosão é mais intenso (veloz) que a formação do solo, ocorre a erosão acelerada ou erosão antrópica (caso tenha sido provocada pela ação do homem). Neste sentido, esta situação pode ser determinada por condições intrínsecas: dos solos, das formações litológicas e das características do relevo que propiciam, basicamente, a substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal ou transformação topográfica no qual não proporciona proteção eficiente contra a erosão, dificultando o estabelecimento do processo pedogenético que recomporia a camada erodida (CUNHA, 1997).

3.1.1 Fatores controladores dos processos erosivos

3.1.1.1 Chuva

Os processos erosivos nos quais o agente erosivo principal é a água (precipitação meteórica) engloba praticamente toda a superfície do Planeta. No entanto, a maior atuação destes agentes dá-se em climas equatoriais e tropicais úmidos e áreas de latitudes médias (faixas de baixa pressão da célula de Ferrel - circulação estática da atmosfera), pois nestas áreas os índices pluviométricos, são mais elevados do que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, agravando ainda mais a erosão (clima tropical típico com duas estações bem-definidas: verão chuvoso e inverno seco) no qual o processo tende a acelerar pois sabemos que nessas áreas as terras são desmatadas para a produção agrícola e madeira. Assim, os solos ficam desnudos de cobertura vegetal acarretando na incidência direta das gotículas de chuva sobre o solo. (GUERRA, 1994).

Segundo Guerra; Cunha (1998), a erosão do solo é condicionada também por fatores que contribuem para alterar as variações nos índices de erosão como: precipitação (intensidade e duração), solos (textura, estrutura, permeabilidade, características químicas e mineralógicas), cobertura vegetal (retirada ou implementação de cobertura vegetal não natural), relevo (declividade e comprimento de rampa) e uso antrópico do solo (urbanização, agricultura).

Baseando-se nas discussões e proposições de Elizeo Popolizio no ano de 1975, Bigarella (2003) escreve que a água da chuva ao atingir a superfície terrestre, escoar em

superfície e a parte que infiltra pode fluir horizontalmente em subsuperfície acima do horizonte hortoniano (impermeável) ou ser armazenada em lençóis freáticos e aquíferos.

O conceito de “splash” aparece nos trabalhos realizados por Guerra e Mendonça (2004), onde os autores salientam como relevantes à erosão: a intensidade, a duração e a frequência das chuvas bem como as propriedades físicas e geométricas das gotículas d’água (velocidade da queda, diâmetro da gota, energia cinética da chuva) para os autores influenciam diretamente na erosão. Desse modo, as precipitações de maior intensidade e frequência possuem uma maior energia cinética armazenada durante a sua queda e consequentemente possui maior poder erosivo.

A chuva, portanto, é um dos fatores climáticos de grande relevância para os processos denudacionais.

3.1.1.2 Relevo

Com relação ao relevo, topografia do terreno e conformação topográfica, pode-se dizer que a influência na intensidade do processo erosivo se dá basicamente a partir da declividade e do comprimento da rampa, pois essas características do relevo interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial oriundo das precipitações pluviométricas (BASTOS, 1999).

Neste sentido, o comprimento da rampa e a declividade, são diretamente proporcionais a velocidade do escoamento superficial e os índices erosivos. Portanto, a capacidade de destacamento e transporte das partículas de solo é mais veloz em terrenos mais íngremes e menores nos terrenos mais planos (GALETI, 1985; OLIVEIRA E BRITO, 1998; BASTOS, 1999).

Ainda em relação a declividade Crepani et al (2001) também salienta que há relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética; assim quanto maior a declividade, maior a energia potencial das águas e sua transformação em energia cinética. Portanto, maior é a velocidade das massas de água (velocidade) e o transporte de detritos. Com isso, quanto maior a declividade, maior a suscetibilidade dessas áreas aos processos erosivos.

Neste sentido, o comprimento de rampa também é um fator de extrema importância não menos importante que a declividade, pois a medida que o caminho percorrido pela água vai aumentando, não somente as águas ganham corpo (volume), mas também a energia cinética e a velocidade do escoamento superficial (BIGARELLA, 2003).

3.1.1.3 Unidades de Fragilidades Ambientais e Táxons

Para estabelecer diretrizes precisas e ações que possam ser implementadas no espaço geográfico faz-se necessário conhecer as Unidades de Fragilidades Ambientais (Ross, 1994), ao menos, sua síntese (identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais). Neste sentido, a priori é preciso salientar que Jurandyr Ross avalia as fragilidades ambientais naturais aplicadas ao planejamento territorial de caráter ambiental, baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977).

Assim, as Unidades de Fragilidades Ambientais e Táxons basicamente são definidas mediante um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Há, portanto, dependência entre os fenômenos e como consequência, o sistema apresenta-se distinto da soma das propriedades dos seus componentes (TRICART, 1977)

Essa abordagem por ser sistêmica agrega à geografia física conhecimentos que outrora foi isolado. As ações antrópicas, por exemplo, normalmente alteram o relevo, modificando o sistema gerando processos erosivos e denudacionais. Assim Tricart (op. cit.) realizou a distinção de três meios morfodinâmicos em função dos processos:

1. Meios estáveis (modelado evolui de modo constante e lento);
2. Meios intergrades ou transicionais (relativo equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos);
3. Meios fortemente instáveis (predominância da morfogênese, onde o sistema natural está subordinado).

Quanto às aplicações no planejamento ambiental, Ross (1990 e 1994), aperfeiçoou esses conceitos. Delimitou as Unidades Ecodinâmicas Estáveis como aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e foram preservados da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural.

Assim, alterou e denominou as Unidades Ecodinâmicas Instáveis como: aquelas as quais as intervenções do homem transformam os ambientes naturais através das atividades econômicas diversas (ROSS, 1990; 1994).

A utilização deste método das unidades em equilíbrio dinâmico para nas pesquisas justifica-se pelas interferências antrópicas. Pois, para diagnosticar as diferentes categorias hierárquicas das fragilidades é necessário analisar integradamente as formações litológicas da área, o solo, o processo de urbanização e ocupação ilegal e, assim, analisar as taxas denudacionais através da perda de material por precipitação pluviométrica.

A análise dos processos erosivos e denudacionais são avaliações e interpretações do relevo como fator preponderante na obtenção dos resultados assim há necessidade de um maior detalhamento Neste sentido Ross (1992) desenvolve os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, partindo dos pressupostos teóricos preconizados por Penck (1953, apud ROSS 1992), onde os processos endógenos e exógenos geram as formas grandes, médias e pequenas do relevo terrestre.

Assim, o relevo pertence a uma estrutura que o sustenta e mostra um aspecto escultural decorrente da ação climática pretérita. Com base nesses pressupostos, Ross (1992), propõe uma classificação do relevo em seis táxons, de acordo com o grau de detalhamento:

1º Táxon: corresponde a uma área com maior extensão superficial, sendo representada pelas Unidades Morfoestruturais (Domínios Morfoestruturais), cuja escala permite a plena identificação dos efeitos da estrutura do relevo. Esse táxon organiza a causa de fatos geomorfológicos derivados de aspectos amplos da geologia com elementos geotectônicos, os grandes arranjos estruturais e eventualmente a predominância de uma litologia conspícua (IBGE, 2009).

2º Táxon: corresponde as Unidades Morfoesculturais (Regiões Geomorfológicas) contidas em cada Unidade Morfoestrutural. Refere-se a compartimentos que foram gerados através da ação climática ao longo do tempo geológico. Nesse táxon incluem-se os planaltos, as serras e as depressões periféricas. Conforme Ross (1992), as unidades morfoesculturais, em geral, não possuem relação genética com as características climáticas atuais.

3º Táxon: corresponde as Unidades Morfológicas (ou Unidades Geomorfológicas) ou Padrões de Formas Semelhantes contidas nas Unidades Morfoesculturais. Trata-se de compartimentos diferenciados em uma mesma unidade, relacionados a processos morfoclimáticos específicos, com importante participação dos eventos tectônicos ou diferenciações litoestratigráficas, sem desconsiderar a atuação do clima presente.

4º Táxon: corresponde as Formas de Relevo (ou Modelados) individualizadas na unidade de Padrão de Formas Semelhantes. Essas formas, quanto a sua gênese, podem ser classificadas em: Agradação (planícies fluviais ou marinhas e terraços fluviais ou marinhos) ou Denudação (colinas, morros e cristas). Conforme o IBGE (2009), na composição do mapa geomorfológico são delimitados quatro tipos de modelados: os de acumulação, os de aplanamento, os de dissecação e os de dissolução.

5º Táxon: corresponde as partes das vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Conforme destaca Tominaga (2000), as vertentes de cada tipologia de

forma são geneticamente distintas e cada um dos setores dessas vertentes pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas diferentes.

6º Táxon: corresponde as pequenas formas de relevo que se desenvolvem por interferência antrópica direta ou indireta ao longo das vertentes. Conforme Ross (1992), são formas geradas pelos processos erosivos e acumulativos atuais, como ravinas, voçorocas, corridas de lama, assoreamentos e deslizamentos.

Com base na classificação taxonômica de Ross (1992) o estudo da progressão denudacional da Vila São Rafael abrange o 4º Táxon quando projeta o relevo no futuro (denudação de uma colina), o 5º Táxon quando detalha esse relevo projetando o recuo da encosta Itagiba (vertente sul da colina) no futuro e, por fim, o 6º Táxon quando analisa de forma integrada os processos erosivos e denudacionais diferenciando os processos erosivos que ocorrem na porção leste da encosta Itagiba da porção oeste da mesma encosta (sulcos, ravinas, deslizamentos).

3.1.1.4 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal também é outro fator importante no processo erosivo, pois ela propicia maior ou menor grau de proteção do solo. De acordo com Ayres (1960), a cobertura vegetal possui papel fundamental na erosão diminuindo ou aumentando a velocidade de escoamento das chuvas e facilitando ou dificultando a infiltração das águas no solo. Nesse sentido, Bertoni e Lombardi (1985) destacam que ela é a defesa natural de um terreno contra os processos erosivos.

São numerosos os efeitos da vegetação sobre os processos erosivos. Dentre eles há a proteção do solo, dispersão da precipitação, interceptação das chuvas, infiltração e melhoramento da física do solo, aumento da matéria orgânica e diminuição do escoamento das águas (BERTONI e LOMBARDI, 1985)

Por fim, Guerra; Silva; Botelho (1999) e Crepani et al (2001), descrevem a ação da vegetação e sua influência evitando o impacto direto das gotas de chuva, contribuindo para diminuir a compactação do solo (capacidade de absorção de água), aumentando a infiltração e suportando a vida no subsolo (aumentando a porosidade e a permeabilidade).

3.1.1.5 Solos

Para entender o comportamento dos processos erosivos, é importante que se leve em consideração as propriedades físicas do solo, pois estas propriedades combinadas com outros fatores (propriedades químicas e ações antrópicas) sentenciam a este solo uma maior ou menor susceptibilidade erosiva (GUERRA, 1998).

Também de acordo com Guerra, Silva e Botelho (1999), as propriedades físicas do solo, como a estrutura, textura, permeabilidade, densidade e as suas propriedades mineralógicas, químicas e biológicas, influenciam diretamente os processos erosivos. Portanto a natureza do solo influi de forma direta na maior ou menor susceptibilidade do solo frente aos processos erosivos.

Um exemplo são os solos arenosos que possuem maior velocidade de infiltração, quando comparados aos solos argilosos. Diante disso, Bigarella (2003) e Camapum de Carvalho et al (2006) reforçam que quando o material coloidal do solo apresenta grande expansão quando saturado, diminui o espaço poroso e conseqüentemente a infiltração. Portanto quando solos de granulometria fina se agregam, o espaço poroso aumenta e conseqüentemente a infiltração também tende a aumentar. E é nesse sentido que Bertoni e Lombardi Neto (1985) destacam que os solos arenosos são aqueles mais suscetíveis a erosão.

Não menos importante também é a textura do solo e a estrutura do solo, pois definem a porosidade do solo influenciando diretamente na permeabilidade do mesmo condicionando pouca coesão (solos arenosos) mais facilmente removíveis. Outro fator importante é a matéria orgânica que está correlacionada a estabilidade do solo, pois aumentam a capacidade de infiltração do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; GUERRA, 1998, 2005; GUERRA, SILVA e BOTELHO, 1999).

3.1.2 Erosão hídrica: conceituação e tipologias

A erosão hídrica representa o deslocamento de energia e matéria e este deslocamento possui como gênese o desequilíbrio de forças do sistema: a) água, b) solo e c) cobertura vegetal. Esse desequilíbrio, portanto, acarretará na perda de solo até que o equilíbrio das forças resultantes iguale-se. Neste sentido, é preciso destacar que a ação da hídrica possui grande relevância intensificando ou reduzindo os processos erosivos (GUERRA, 2005).

A erosão hídrica, portanto, age na desagregação dos agregados do solo e das rochas por impacto das gotículas d'água (precipitação meteórica), logo a seguir, ocorrem dois

processos: infiltração e escoamento superficial. A erosão laminar ocorre no processo de escoamento superficial no qual os fragmentos são transportados. Quando a intensidade da precipitação é maior culminando com outros fatores que favorecem a erosão como declividade, comprimento de rampa, forma das vertentes e transformações provocadas pelo homem no relevo ou topografia a erosão pode concentrar-se e formar sulcos, ravinas e voçorocas (CASAGRANDE, 2004).

Neste mesmo sentido, Lima (2010), destaca que a erosão hídrica ocorre pela retirada de partículas da rocha e do solo pela chuva por intermédio do escoamento superficial em lâminas de fluxos que as carregam e depositam a jusante. Esta deposição pode não ser o destino final e dar sequência a novas retiradas, escoamento e transporte e nova deposição num processo cíclico. Assim cabe salientar, Morgan (2005, p. 12 e 13)², que define:

O processo de erosão hídrica está intimamente relacionado com os caminhos tomados pela água nesse movimento através da cobertura vegetal e sobre a superfície do solo. Durante uma chuva, parte da água cai diretamente sobre a terra, seja porque não há vegetação ou porque ela passa por aberturas no dossel da planta. Este componente da chuva é conhecido como queda direta. Parte da chuva é interceptada pelo dossel, de onde ou retorna para a atmosfera por evaporação ou encontra o seu caminho para o chão, pingando das folhas, um componente denominado drenagem de folhas, ou descendo pela planta como caule. A ação do derramar direto e da drenagem das folhas produz erosão do planalto. A chuva que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou depressões na superfície ou pode infiltrar-se no solo, contribuindo para o armazenamento da umidade do solo, para o movimento lateral no solo abaixo do subsolo ou interfluxo ou, percolando mais profundamente, até a água subterrânea. Quando o solo é incapaz de absorver mais água, o excesso contribui para o escoamento superficial, resultando em erosão por escoamento superficial ou por ravinas e barrancos (MORGAN, 2005, p.12 e 13).

Resumidamente, pode-se concluir que a erosão hídrica ocorre quando o solo superficial fica saturado (encharcado), propiciando o escoamento superficial da chuva criando fluxos laminares que transportam partículas do solo e das rochas a jusante. Este processo depende do volume d'água, velocidade, frequência e intensidade da na transformação de

² Tradução livre do autor. Veja o texto original: “*The process of water erosion are closely related to the pathways taken by water in this movement through the vegetation cover and over the ground surface. During a rainstorm, part of the water falls directly on the land, either because there is no vegetation or because it passes through gaps in the plant canopy. This component of the rainfall is known as direct throughfall. Part of the rain is intercepted by the canopy, from where it either returns to the atmosphere by evaporation or finds its way to the ground by dripping from the leaves, a component termed leaf drainage, or by running down the plant stems as stemflow. The action of direct throughfall and leaf drainage produces rainsplash erosion. The rain that reaches the ground may be stored in small depressions or hollows on the surface or it may infiltrate the soil, contributing to soil moisture storage, to lateral movement downslope within the soil as subsurface or interflow or, by percolating deeper, to groundwater. When the soil is unable to take in more water, the excess contributes to runoff on the surface, resulting in erosion by overland flow or by rills and gullies*” (MORGAN, 2005, p.12 e 13).

energia mecânica potencial (gravidade) em energia mecânica cinética (velocidade associada a declividade e forma do relevo).

Nos estudos desenvolvidos por Bertoni e Lombardi (1985), Maciel Filho (1997) e Infanti Jr. (1998) podemos resumir que a erosão causada a partir da ação da água pode desencadear-se por: salpicamento (*splash*), laminar ou superficial, sulcos e voçorocas. E todos esses processos podem ocorrer simultaneamente.

3.1.2.1 *Erosão por salpicamento*

O salpicamento é a gênese dos processos erosivos ocasionados por precipitação meteórica. Acarretam na retirada e transporte dos agregados da rocha e do solo, pois “as gotas de chuva podem ser consideradas como bombas em miniatura que golpeiam a superfície do solo, rompendo os grânulos e torrões, reduzindo-os a partículas menores e, em consequência, fazendo diminuir a capacidade de infiltração de água do solo”. O impacto de uma gota num solo úmido forma uma “cratera”, compactando a área central do impacto deslocando partículas soltas para fora do raio compactado (LOMBARDI NETO, 1985).

Assim os principais processos erosivos dos solos respondem pelo impacto das gotas de chuva, sobretudo em solos desnudos (ausência de cobertura vegetal) promovendo a desagregação das partículas e também o escoamento superficial das águas, permitindo o transporte dessas partículas (SALOMÃO, 1999).

3.1.2.2 *Erosão laminar ou superficial*

A erosão laminar basicamente é a remoção uniforme de solo ao longo da vertente, formando ou não sulcos, ravinas e voçorocas. Está, portanto, condicionada ao escoamento superficial da água da chuva e ao transporte de agregados desprendidos do solo ou rocha pelo impacto das gotas de chuva.

A erosão laminar consiste em um processo contínuo de escoamento da água da chuva, desagregando de forma progressiva e relativamente uniforme os horizontes superficiais do solo. Esse processo erosivo ocorre de forma frequente em áreas agrícolas, durante o período de preparo do solo e plantio, onde o solo encontra-se desprovido de cobertura vegetal (GALERANI, 1995).

Neste sentido, esse processo erosivo também é considerado escoamento difuso na qual o arraste de partículas pelas águas denomina-se: erosão laminar. Esse fluxo de água com solo

desloca-se a jusante nas vertentes com aparência de um lençol d'água, removendo de forma progressiva finas laminas de materiais terrosos, principalmente as partículas mais finas (GUERRA, 1999).

A erosão laminar que acarreta o desgaste e o arraste uniforme na área sujeita aos processos erosivos, é avaliada como um dos tipos mais intensos de erosão em razão de estar relacionada a distribuição do destacamento das partículas de solos, ocorrendo de maneira suave e uniforme por toda a sua extensão (praticamente imperceptível) causando infertilidade dos solos por lixiviação no meio rural e denudação (perda de solo) na área urbana que pode afetar estruturas (MAGALHÃES, 2001).

3.1.2.3 *Erosão em sulcos ou ravinas*

No processo de erosão que acarreta a formação de sulcos, o agente responsável pela desagregação e o transporte de partículas ou agregados é o escoamento da água da chuva concentrado. O cisalhamento atuante (rompimento dos agregados e transporte em canais lineares à jusante) é influenciado pela descarga líquida e pela velocidade do escoamento do fluxo (MEYER et al, 1975; FOSTER, 1982).

Os sulcos ocorrem devido ao escoamento superficial concentrado em função das irregularidades da vertente ocorrendo a incisão vertical que pode ser mais ou menos profunda no terreno (BAPTISTA, 1997).

Os sulcos também constituem pequenas incisões no terreno, forma filetes rasos, perpendiculares às curvas de nível, representando áreas onde a erosão laminar é mais intensa (CERRI, SILVA e SANTOS, 1997)

Os sulcos e ravinas podem ser diferenciados: sulcos são caracterizados como “pequenos canais com até 10 cm de profundidades que são gerados pela concentração do escoamento superficial” e ravinas são “canais com profundidades entre 10 cm e 50 cm, onde começa a ocorrer a instabilidade dos taludes” (CAMAPUM DE CARVALHO, 2006)

A erosão formada por sulcos é um processo complexo e suas consequências estão atreladas a: erosividade da chuva, características do solo e as características da superfície. No entanto pode-se resumir que a erosão em sulcos depende basicamente de dois diferentes processos: desagregação da massa do solo pelo impacto das gotas de chuva e o transporte do solo desagregado pelo escoamento (FREITAS, 2008).

Por fim, define-se a erosão em sulcos como a segunda fase na evolução de um processo físico provocada pela erosão hídrica do solo. É caracterizada pela transformação na

forma do escoamento (de difuso à sulcos), pois essa transformação acarreta na mudança de lâmina de escoamento para cisalhamento onde ocorre aumento da espessura e da capacidade do escoamento (LAFAYETTE, CANTALICE e COUTINHO, 2011).

3.1.2.4 *Voçorocas*

As voçorocas são sulcos mais profundos que as ravinas³ no terreno. Sua gênese advém do escoamento das águas ser: construídas pelas águas superficiais ou fluxo de água em subsuperfície mais profundas que infiltram no solo e ao atingir um horizonte menos permeável e/ou impermeável passam a se deslocar horizontalmente, Bigarella (2003) chama esse horizonte de “horizonte hortoniano”. Estes processos erosivos provocam deslocamento de agregados, deslizamentos e desmoronamentos (GALETI, 1985; BIGARELLA, 2003).

As voçorocas são entendidas, portanto, como feições erosivas mais estágios mais avançados, caracterizando-se pelo avanço das ravinas em profundidade até que as mesmas atinjam o nível d’água do terreno ou o lençol freático (IPT, 1991).

As voçorocas também podem ser caracterizadas como forma de relevo originada por vários processos morfogenéticos subordinados: fatores climáticos, litológicos, pedológicos, topográficos, fitogeográficos e antrópicos (VIEIRA, 1975).

Pode-se compreender, assim, que voçorocas como ravinas de grandes dimensões originadas pela concentração de fluxos hídricos normalmente associadas a terrenos arenosos no entanto podendo ocorrer também em solos de origem granítica e basáltica (VILLAR E PRANDI, 1993).

Consistem em formas agressivas de erosão com grande capacidade destrutiva e de difícil controle. Podem ocorrer em diferentes formas de encostas resultantes de alguma alteração no meio físico (modificações topográficas). As voçorocas são caracterizadas como feições erosivas típicas de clima tropical e subtropical, que geram grandes problemas ambientais associados à degradação do solo (ZUQUETTE, CARVALHO E YAMANOUTH, 2007).

A definição dá-se em canais onde ocorre a concentração de fluxo superficial d’água. Formam-se principalmente pelas variações nos graus de resistência a erosão, que geralmente se dá a partir de pequenas mudanças: elevação e declividade dos terrenos. O processo de voçorocamento consiste assim num estágio avançado de erosão acelerada correspondendo a

³ Sulcos profundos.

passagem dos processos erosivos em sulcos e ravinações ao alcance do lençol freático onde aparece a surgências de veios d'água (MAGALHÃES, 2001).

3.1.2.5 *Movimentos de massa*

Para fechar as discussões estabelecidas sobre os processos erosivos é preciso destacar que os movimentos de massa constituem outra forma de erosão bastante importante para a análise e a compreensão da área de estudo. Os movimentos de massa são reconhecidos como processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre importantíssimos. Pois constituem movimento coletivo de materiais terrosos, argilosos e rochosos, independentemente de qual foi a origem dos processos erosivos, suas causas, a velocidades ou formas (CASTRO, 1998; BIGARELLA, 2003).

Os movimentos de massa, portanto, subdividem-se em: escorregamentos, deslizamentos e desmoronamentos. Os escorregamentos (ocorrem quando a resistência do solo é menor que a ação da gravidade) rompendo o equilíbrio de forças que os mantinham estáveis. É preciso salientar que esse equilíbrio pode ser rompido ou provocado por forças externas como: escavação ou corte no sopé do talude (BIGARELLA, 2003).

É importante lembrar que os deslizamentos e desmoronamentos ocorrem ao longo dos planos de cisalhamento, onde a porção de solo ou rocha fragmenta-se em blocos ocorrendo movimentação abrupta deslocando grande volume de material (BIGARELLA, 2003).

3.1.3 Erosividade da chuva, erodibilidade do solo e limites de consistência.

Outros fatores condicionantes à erosão são a erosividade da chuva e a erodibilidade do solo. Estes são dois fatores físicos importantes para entendermos a magnitude e a intensidade da erosão (LAL, 1998).

Os processos erosivos, assim, dependem tanto de fatores externos como o potencial da erosividade da chuva - escoamento superficial, quanto de fatores internos relacionados à desagregação - erodibilidade do solo (CAMAPUM DE CARVALHO, 2006)

Basicamente a erosividade pode ser relacionada à força que coordena e dirige os agentes erosivos acarretando em desagregação do solo e seu transporte. A erosividade da chuva dá-se parte ao impacto direto das gotas de chuva e outra parte ao escoamento que a chuva gera. A capacidade erosiva, no entanto é atribuída a proporção e distribuição das

gotículas e sua energia cinética no momento do impacto. Já a erodibilidade pode ser compreendida como sendo o grau de resistência ou fragilidade do solo à erosão (LAL, 1988).

Neste sentido a erodibilidade representa a facilidade na qual as partículas de solos são destacadas e transportadas. Também regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, sendo responsáveis pelo comportamento do solo frente a erosão. Cabe salientar ainda que esses processos são influenciados pelas propriedades físicas do solo como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e os constituintes químicos influenciando assim a erosividade e a erodibilidade que corresponde a quantidade de solo desprendido por unidade de área, tempo e tensão aplicada compreendendo a maior ou a menor suscetibilidade dos solos erodirem (VEIGA; LAL, 1988)

No tocante as propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pode-se constatar que são as mesmas que afetam a velocidade da infiltração da água no solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água. Assim como as que modificam a resistência ao salpicamento, abrasão e transporte da lâmina dos agregados pelo fluxo superficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1995; BASTOS, 1999).

As propriedades físicas do solo, portanto, estão diretamente ligadas à capacidade de desagregação e o transporte das partículas, sendo que a maior ou a menor capacidade de desagregação depende, quase que em sua totalidade, das propriedades físicas e químicas do solo (SANTOS e MERSCHMANN, 2001)

Por fim, é importante destacar que a erodibilidade não é sinônimo de erosão. A erosão depende de fatores que alteram os processos erosivos como: declividade do solo, características das chuvas e a cobertura vegetal. Já a erodibilidade é um fator intrínseco e característico de cada tipo de solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978)

Já os limites de consistência influenciam a erosão e a denudação modificando a intensidade dos processos erosivos e o relevo. O teor de argila modifica a coerência de uma formação, algumas se convertem em plásticas, com o que se deformam e fluem com facilidade pelas vertentes (WERLANG, 2004).

O limite de liquidez é o menor teor de umidade com que uma amostra de um solo pode ser capaz de fluir. Embora tal capacidade seja mais relacionada com o grau de saturação do solo do que com o teor de umidade, os ensaios para determinar o limite de liquidez de solos finos têm o teor de umidade como parâmetro, por causa da dificuldade de medir e controlar o grau de saturação (KIEHL, 1979).

O limite de plasticidade é o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plástico e semissólidos do solo. Quando não se consegue moldar uma determinada porção de solo (por exemplo, um solo com grande porcentagem de areia), dizemos que ele é não plástico (WERLANG, 2004).

O índice de plasticidade é a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade. Define a zona em que o solo se acha no estado plástico. Fornece um critério para se ajuizar o caráter argiloso de um solo. É nulo para as areias. Somente com o conhecimento do índice de plasticidade não se pode afirmar que quanto maior ele seja, tanto mais plástico será o solo. Sabe-se, ainda, que as argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o índice de plasticidade (WERLANG, 2004).

O limite de contração do solo é o teor de umidade onde ocorre a transição entre o estado de consistência sólida e semissólida, ou, convencionalmente, o máximo teor de umidade a partir do qual uma redução dessa umidade não ocasiona diminuição do volume do solo. Também pode ser definido como o menor teor de umidade capaz de saturar uma amostra do solo. O grau de contração é a razão da diferença entre os volumes inicial (V_i) e final (V_f) após a secagem da amostra, para o volume inicial (V_i) (WERLANG, 2004).

3.1.4 Solifluxão

O termo solifluxão representa o movimento lento dos detritos, quando estes se encontram saturados de água. No processo de solifluxão os detritos transportados formam um conjunto de fragmentos de rochas de inúmeros tamanhos. O material fino é normalmente removido pelas águas superficiais deixando o material mais grosseiro depositado na superfície. Comumente dá-se um aspecto de um “mar” ou um “rio” de blocos onde a intensidade e a forma depende de certas condições climáticas (PENK, 1972).

A solifluxão constitui um importante agente denudacional quando ocorre o saturamento do solo e onde a declividade é um fator que condiciona o rastejamento rápido em encostas de inclinação moderada (PENK, 1972).

A certa profundidade ocorre modificações na camada superficial do solo pois a mesma satura-se com água da parte superior do solo (infiltração) onde este processo seria o responsável pela “verdadeira” solifluxão quando a água passa a escoar horizontalmente na camada subsuperficial do solo impermeável - horizonte hortoniano (BIGARELLA, 2003).

É preciso pontuar que a solifluxão e o intemperismo das rochas ocorrem de modo lento, basicamente dá-se nos horizontes subsuperficiais do solo que saturados passam a

deslocar-se horizontalmente levando a camada superficial lentamente dependendo da resultante das forças gravitacionais (ARAYA e HERVÉ, 1972; MATSUOKA, 1991).

Já Margarida Maria Penteadó (1974, p. 100) caracteriza a solifluxão como “[...] o movimento de massa do solo encharcado, servindo de lubrificante entre uma camada de argila encharcada ou uma camada rochosa basal impermeável”.

Por sua vez, Christofletti (1980, p. 29) destaca que a solifluxão “[...] corresponde aos movimentos coletivos do regolito quando este se encontra saturado de água”. Deixando claro que esse fenômeno dá-se na presença de uma camada impermeável ou horizonte impermeável que impede a penetração da água, provocando a concentração e a saturação da camada sobrejacente.

A solifluxão é caracterizada também por apresentar movimentos lentos ao longo de uma vertente, cujo regolito ou camada impermeável encontra-se saturado com água. Embora comuns em climas frios a solifluxão não é restrita ao solo congelado, sendo comum a qualquer zona onde a água não pode escapar de uma camada saturada de regolito (SELBY, 1985; BLOOM, 1996; MATSUOKA, 2001).

O termo solifluxão é utilizado na literatura europeia e/ou americana para o movimento vertente abaixo do material do solo, sob condições de degelo (conceituação clássica) onde o termo caracteriza movimento lento e quase imperceptível de massas de solo e rochas saturadas com água no entanto o conceito abrange também movimento de massa lento que ocorrem em países de clima tropical (BIGARELLA, 2003).

Assim, pode-se destacar que a solifluxão é um deslizamento muito lento que vai até ao limite de penetração das águas de infiltração. Pois o material muitas vezes pode ficar saturado de água e se comportar como lama deslizando sobre uma camada impermeável. Neste sentido o conceito de solifluxão é detalhado por Bigarella (2003, p. 1046) que esclarece:

A solifluxão constitui um tipo de movimento de massa dentro da capa superficial, que ocorre quando se processa o encharcamento do manto de intemperismo. A massa saturada de água começa a solifluir lentamente como corpo viscoso de extrema plasticidade, movimentando em desordem uma massa de elásticos finos em mistura com material bastante grosseiro. A massa solifluente desloca-se lentamente vertente abaixo em consequência do próprio peso. Na solifluxão é essencial, apenas, a presença de uma camada impermeabilizante, que não permita a infiltração das águas a maiores profundidades, promovendo assim a saturação e a perda de estabilidade da parte superior do regolito. A solifluxão ocorre nas mais variadas declividades das vertentes, dependendo apenas da ocorrência de pluviosidade suficiente para promover o encharcamento do solo.

Ressalta-se, assim, que nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil, a solifluxão não é apenas um movimento próximo à superfície atingindo maiores profundidades, uma vez que

o manto de intemperismo das regiões mais quentes é geralmente mais espesso (BIGARELLA, 2003).

3.2 DENUDAÇÃO

Entre tantos processos que atuam na superfície terrestre, a denudação é essencial para a dinâmica de evolução do relevo. Sua ação básica é o desgastar e reorganizar a topografia e o relevo, utilizando a energia do relevo (transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética) modificando e dando novo molde a conformação do relevo. A denudação é condicionada por processos como: intemperismo, erosão, transporte, deposição e movimentos de massa influenciados pela ação da gravidade (CASSETI, 1994).

Entende-se por denudação, a perda de agregados tanto superficiais quanto subsuperficiais de uma determinada área (LEEDER, 1991; VALADÃO, 1998)

É importante salientar que a denudação não possui uma definição rigorosa, pois basicamente consiste na remoção de sedimentos de uma área e muitas vezes é utilizada como sinônimo de erosão. No entanto os dois processos são distintos: a denudação refere-se a todo o material erodido que é completamente removido da área da bacia, enquanto que a erosão refere-se a perda, apenas por remoção mecânica, de material intemperizado a partir dos processos geomorfológicos (RITTER, 2002).

A terminologia atribuída a denudação tem sido empregada na Geomorfologia para designar a remoção do material inconsolidado resultante do intemperismo nas rochas, através da ação erosiva. Implica portanto no desgaste da superfície terrestre que expõe rochas cada vez mais profundas. Neste sentido os termos erosão e denudação são muito próximos, pois primeiro refere-se aos processos e o segundo as consequências (BIGARELLA, 2003).

A denudação basicamente é um conjunto de processos que removem e rebaixam a superfície terrestre pela interação de processos intempéricos e erosivos. É responsável pelo deslocamento lento e gradual das formas de relevo da superfície terrestre sendo a água o principal agente (CREPANI, MEDEIROS e PALMEIRA, 2004)

Também é preciso salientar que a denudação como qualquer processo que causa o desgaste ou reorganização do relevo atua por meio dos processos denudacionais: intemperismo, movimentos de massa, erosão, transporte e deposição. Os agentes principais são: a água, o vento, as ondas e o gelo em movimento, lembrando que todos eles influenciados pela ação da gravidade (CASSETI, 1994; CHRISTOPHERSON, 2012).

Neste mesmo sentido é importante lembrar que a denudação ocorre portanto em função dos processos: intempéricos (químico, físico e biológico) havendo diferenças marcantes entre a denudação mecânica e denudação química. No entanto os processos somam-se resultando na denudação total (CARSON e KIRKBY, 1972)

A denudação mecânica basicamente é definida pelo rebaixamento da superfície através do transporte de agregados desprendidos das rochas e solos associados a erosão. É portanto resultante do equilíbrio entre os processos erosivos e os materiais da área afetada (SUMMERFIELD, 1991)

A denudação é, também, a contabilização final de todos os agregados que foram retirados do manto de alteração por meio da água e que são drenados para fora da área (NAHON, 1991; WHITE e BLUM, 1995; WHITE et al, 1998).

A denudação possui papel relevante na transformação topográfica e do relevo (rebaixamento). Inclusive a composição perdida na área, pode ser convertida em estimativa de perda da superfície e ser utilizada como parâmetro de tempo (LEEDER, 1991; SUMMERFIELD, 1991).

3.2.1 Determinação das taxas de denudação

As taxas de denudação em escala local possui como principais controladores os fatores litológicos e os fatores específicos de erodibilidade. São eles que basicamente controlam o fornecimento de sedimentos e carga dissolvida. No entanto numa escala global as taxas de denudação são determinadas principalmente pelo relevo, pela tectônica e em menor extensão pelo clima (SUMMERFIELD, 1991).

A determinação da taxa de denudação ou erosão não é simples. Pois há uma série de fatores envolvidos no processo de intemperização e remoção dos detritos. Os principais são: as características climáticas, o tipo de relevo (forma, altimetria e natureza das rochas) entre outros (BIGARELLA, 2003).

Cabe salientar que a taxa de denudação é obtida por meio de dados sedimentométricos mensurados pela carga de sedimentos contida nos rios ou medidas desta perda numa determinada área. Também é importante lembrar que as áreas mais suscetíveis a erosão possuem maiores taxas de denudação e normalmente estão assentadas nas cabeceiras de drenagem. Outros fatores atuam mitigando ou aumentando as taxas denudacionais como: declividades elevadas (BIGARELLA, 2003)

As taxas de denudação, portanto, correspondem ao volume de material proveniente da alteração das rochas de uma determinada área em um dado período de tempo. Já a mensuração das taxas denudacionais pode ser realizada contabilizando a perda de material por meio das águas pluviais e fluviais numa determinada área (SALGADO et al, 2004; SOUCH, 2004)

3.2.2 Controladores do processo de denudação

A denudação é controlada por fatores que controlam o volume de sedimentos deslocados para fora da bacia hidrográfica. É preciso perceber que a denudação mecânica, por exemplo, não ocorre apenas como consequência da infiltração da água no manto de intemperismo, pois ela também pode acarretar em movimentos de massa como: erosão laminar, ação mecânica das chuvas, dos rios e do vento. Já quanto a intensidade do processo denudacional total (denudação geoquímica + denudação mecânica) é consequência direta da inter-relação de fatores como: o clima, a litoestrutura e a tectônica. Assim, o relevo, embora influencie diretamente no processo de escoamento superficial e subsuperficial também é condicionado sofrendo influência menor quando comparado as consequência do clima, da litoestrutura e do tectonismo (SUMMERFIELD, 1991).

O clima constitui um fator essencial na determinação das taxas e intensidade denudacional. A água é o principal reagente químico do intemperismo e também o principal meio de transporte dos elementos provenientes da dissolução constituindo o principal agente geomorfológico para o processo de denudação mecânica (POWER e SMITH, 1994).

Ainda faz-se necessário destacar que os processos denudacionais que ocorrem em regiões tropicais úmidas e semiúmidas apresentam tendência de ser elevadas. Já que os climas com abundância d'água possuem condições para lixiviar rapidamente os solos e desagregar e dissolver rochas. Essas condições denudacionais transformam rapidamente o relevo (curto intervalo de tempo) diminuindo o estoque de minerais alteráveis e friáveis e transportando os agregados a jusante para fora da bacia hidrográfica. Assim em regiões com estabilidade tectônica e climas úmidos há um rápido decréscimo das cotas altimétricas (SWANTESSON, 1994; THOMAS, 1994).

Faz-se necessário lembrar que nas regiões tropicais úmidas onde ocorreram mudanças climáticas para o semiárido durante a Era Cenozoica (aproximadamente 65 milhões de anos) houve intensa remoção de espessos mantos de intemperismo. As taxas denudacionais, portanto, sofreram variações temporais intensas dentro do ciclo paleoclimático na qual foram

mais elevadas durante a fase de transição do clima úmido ao semiárido e menor durante das fases seca e úmida (SWANTESSON, 1994; THOMAS, 1994).

Também é preciso pontuar sobre as regiões de clima temperado onde as taxas de denudação tendem a se manter médias e/ou baixas, devido a disponibilidade de água nessas regiões e as temperaturas mais baixas, não permitem intensos processos de intemperismo e erosão (SALGADO, 2006).

Outro fator que controla a intensidade da denudação é o tectonismo. Assim, áreas em soerguimento sofrem processos denudacionais mais intensos do que aquelas que se encontram em condições de relativa estabilidade tectônica (PINET; SOURIAU, 1988).

Portanto, qualquer alteração na topografia (relevo) seja esta alteração natural (tectônica, movimentos isostáticos – epirogênese positiva ou negativa) acarretará em alterações nos processos denudacionais. Assim, como alterações climáticas que podem aumentar ou diminuir os índices pluviométricos e o tipo de agente erosivo. Esses fatores apresentam sinergia positiva e controlam a denudação alterando e removendo as partículas das camadas superficiais dos solos e das rochas (OLIVA; VIERS; BERNARD, 2003).

3.2.3 Correlação linear entre perda de sedimentos por precipitação e a construção linear da progressão denudacional

O trabalho realizado por Marques (2010) mostrou haver correlação linear entre perda de sedimentos por precipitação pluviométrica e quais são as frações granulométricas que sofrem os maiores perdas pela erosividade da chuva. Entender essa correlação linear foi importante para a construção da tese na qual a correlação linear entre a perda de sedimentos em laboratório (ensaio de Inderbitzen) é generalizada para o relevo e a projeção denudacional e recuo da encosta Itagiba dá-se linearmente na Vila São Rafael.

A Tabela 4 produzida por Marques (2010) mostra a relação entre a perda de sedimentos e a precipitação pluviométrica (Verão/Outono).

Tabela 4 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).

| Precipitação (mm) | Perda total de sedimentos (g) |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 105,8 | 223,193 |
| 88,2 | 200,944 |
| 75,8 | 183,666 |
| 61,6 | 125,971 |
| 56,2 | 113,835 |
| 55,7 | 115,014 |
| 39,4 | 80,744 |
| 38,4 | 78,511 |
| 36,5 | 76,136 |
| 32,6 | 66,058 |
| 28,8 | 63,306 |
| 24,5 | 51,242 |
| 16,2 | 34,531 |
| 15,5 | 31,403 |
| 8,4 | 16,736 |
| 5,8 | 12,205 |
| 5,1 | 11,938 |
| 3,5 | 13,075 |
| 2,4 | 11,404 |

Fonte: Marques (2010).

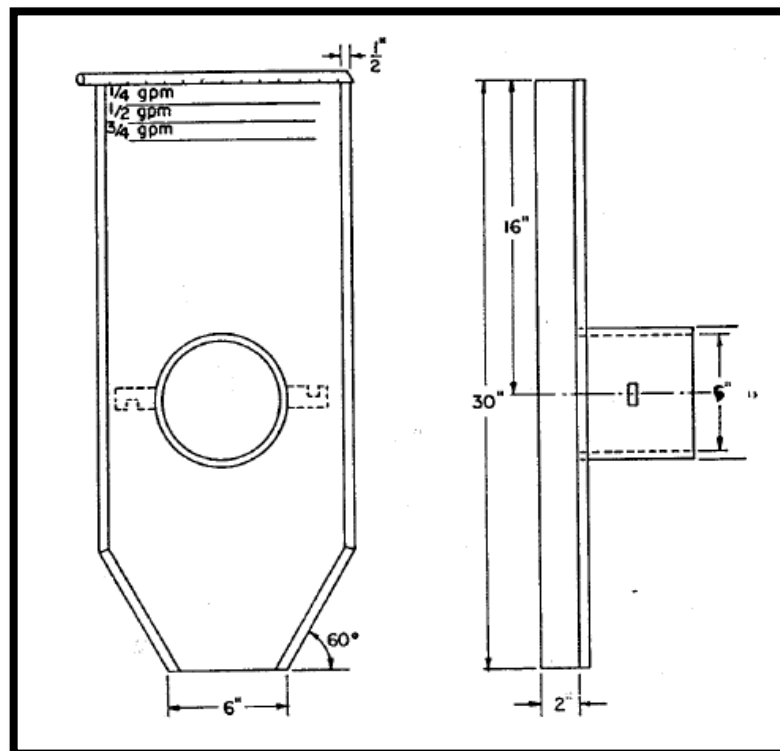
Os dados obtidos por Marques (2010) mostram que existe correlação linear positiva entre a precipitação e a perda total de sedimentos, e essa correlação é aproximadamente 1 (um) não apenas neste período mas nos quatro semestres de pesquisa sendo que neste exemplo (semestre) a correlação foi: $R^2 = 0,9897$.

Os resultados de Marques (2010) foram, portanto, importantes para estabelecer por meio do Ensaio de Inderbitzen, uma projeção da denudação linear $F(x) = ax + b$ na Vila São Rafael.

3.2.4 Ensaio de Inderbitzen

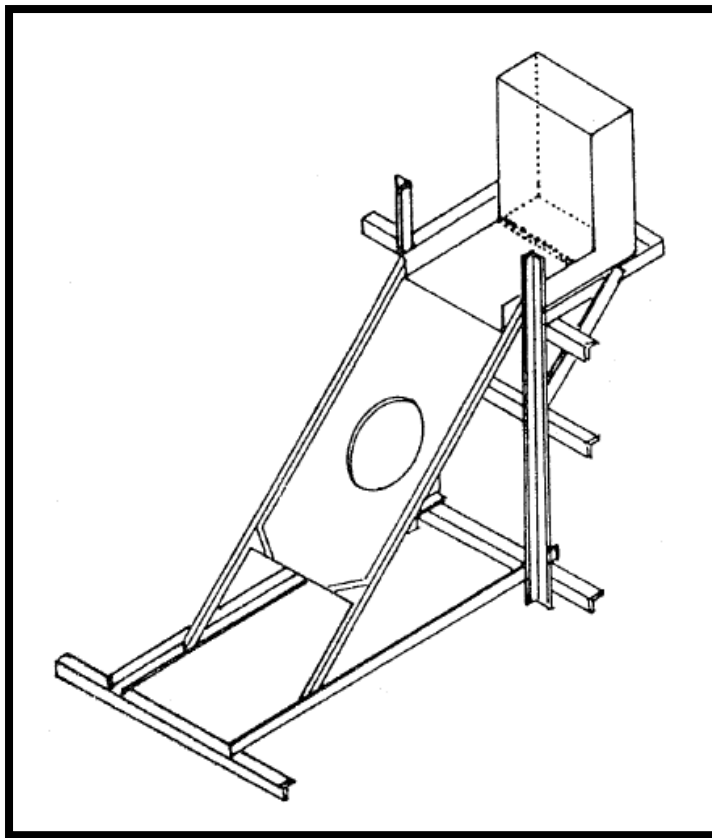
Esse ensaio foi inventado por Inderbitzen no ano de 1961 e divulgado como: “*An erosion test for soils*”. Define-se por meio deste ensaio a perda de solo que é mensurada em amostras extraídas em cilindros a qual é levada ao plano da mesa do ensaio evitando o máximo de deformação do campo até o laboratório. Essa superfície que coincide com o plano variável da rampa, recebe vazão hídrica controlada por um rotâmetro fazendo fluir sobre a superfície da amostra uma quantidade X d’água simulando distintas precipitações. Nesse sentido, destaca-se que esse ensaio possui como objetivo realizar uma simulação aproximada do efeito do escoamento superficial das chuvas permitindo assim realizar análises sobre os diferentes resultados conforme a vazão do fluxo, seu tempo de atuação, declividade da rampa e as propriedades dos solos (densidade e umidade). Cabe salientar que nesse ensaio não há como simular o splash (desagregação de partículas provocados pelo impacto da água) durante a precipitação. A Figura 6 representa o equipamento original do ensaio de Inderbitzen (BASTOS, 1999; ÁVILA, 2009).

Figura 6 - Concepção original do equipamento do ensaio de Inderbitzen.



É preciso salientar que o ensaio de Inderbitzen foi introduzido no Brasil na década de 1970 para a análises da erodibilidade dos solos na pesquisa “Estabilidade de Taludes” (Figura 7) que, entre 1975 e 1978, foi difundida pelos Instituto de Pesquisas Ferroviárias (IPR), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) e pela TRAFECON Consultoria e Projetos de Engenharia (BASTOS, 1999).

Figura 7 - Equipamento de Inderbitzen empregado na pesquisa Estabilidade de Taludes entre 1975 e 1978.



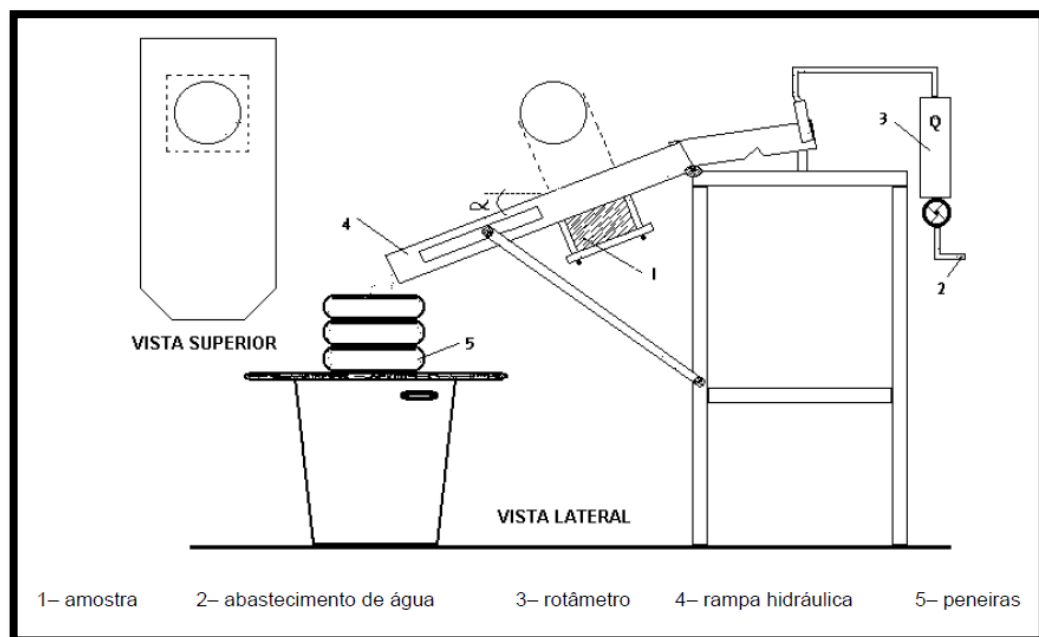
Fonte: Fonseca e Ferreira (1981, apud BASTOS, 1999).

No entanto, o uso do ensaio de Inderbitzen após sua difusão só voltou a ser utilizado na década de 1990. Assim, Bastos (1999) ao realizar o ensaio de Inderbitzen construiu um novo equipamento no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Figura 8).

O equipamento é dotado de uma rampa hidráulica (chapa metálica) com 25 cm de largura e 60 cm de comprimento, composta também de um orifício central onde é introduzida a amostra de solo confinada em uma anel de PVC. Esta rampa é articulada, de modo a

permitir a variação na sua inclinação de 0 a 54°. O fluxo de água na rampa é alimentado diretamente da rede hidráulica e o controle e medida da vazão realizados por um registro e rotâmetro. A amostra é instalada de tal forma que a sua superfície coincide com o fundo da rampa. O sistema de coleta e seleção do material erodido é constituído por baldes plásticos de 60 litros e por um conjunto de peneiras nas malhas 4,8 mm (peneira #4), 2,0 mm (peneira #10), 0,42 mm (peneira #40) e 0,074 mm (peneira #200) (BASTOS, 1999)

Figura 8 - Esquema representativo do equipamento de Inderbitzen desenvolvidos por Bastos (1999) no LMS/UFRGS.



Fonte: Bastos (1999).

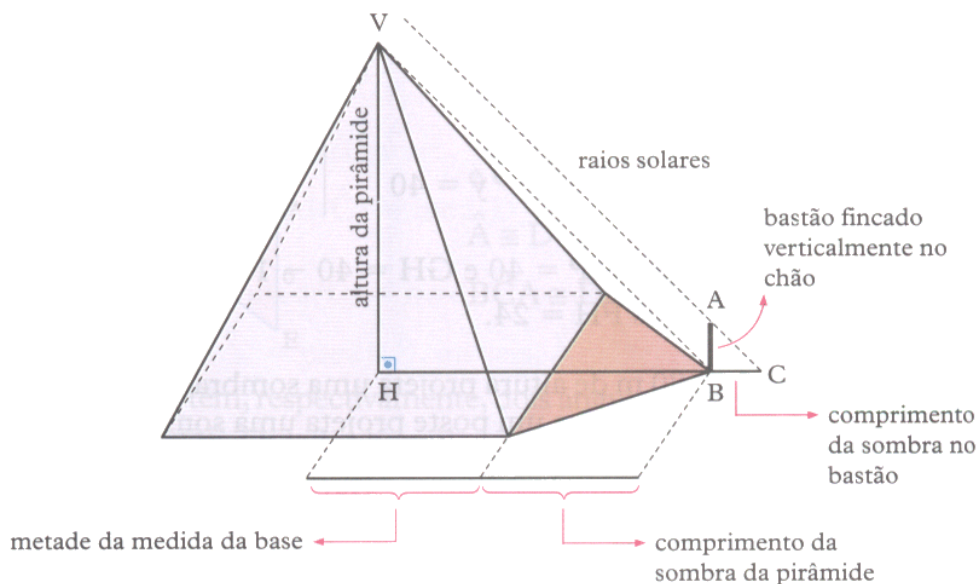
O ensaio de Inderbitzen possui assim a vantagem de poder simular aproximadamente o efeito do escoamento superficial sobre o solo, permitindo analisar diferentes resultados conforme a mudança da vazão, o tempo de atuação, a declividade da tampa e as propriedades do solo, como a densidade e a umidade (ÁVILA, 2009).

3.2.4.1 Teorema de Tales e a generalização dos dados do ensaio de Inderbitzen para a área de estudo.

A generalização dos dados de perda de sedimentos em laboratório (ensaio de Inderbitzen) para a área de estudo (denudação da Vila São Rafael e recuo da encosta Itagiba) foi realizada aplicando o Teorema de Tales.

O Teorema de Tales foi desenvolvido pelo filósofo, astrônomo e matemático grego Tales de Mileto (624 a.C.- 558 a.C.). Tales realizou seu experimento observando a sombra da pirâmide de Quéops no Egito. Calculou a altura da pirâmide de Quéops, com base na sombra que ela projetava (Figura 9).

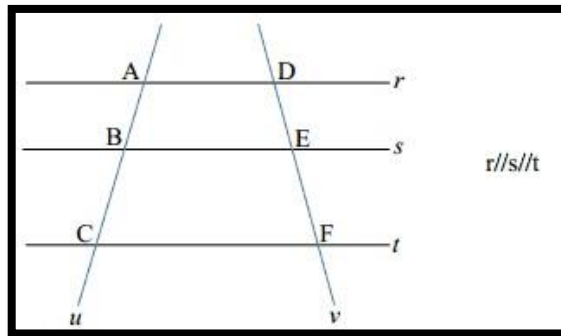
Figura 9 - Teorema de Tales e o Cálculo da Altura (H).



Fonte: <https://www.google.com.br>.

Tales é considerado o precursor da geometria descritiva, e deu embasamento para as equações advindas de seu teorema: razão e proporção. O Teorema de Tales é compreensível a partir de considerações iniciais de elementos básicos: um feixe de retas paralelas r , s e t que cortam as retas transversais u e v (Figura 10).

Figura 10 - Teorema de Tales e o Feixe de Retas Paralelas.



Fonte: <https://www.google.com.br>.

Observa-se que o feixe de retas é formado por apenas três retas paralelas e duas transversais, e salientando que outros feixes podem ser formados com maior número de retas paralelas contidas num mesmo plano.

No feixe acima, destacam-se os seguintes elementos:

1. Pontos correspondentes: A e D, B e E, C e F;
2. Segmentos correspondentes: AB e DE, BC e EF, AC e DF.

Neste sentido o teorema de Tales pode ser entendido da seguinte maneira:

3. Se duas retas transversais são cortadas por um feixe de retas paralelas, então a razão entre quaisquer dois segmentos determinados em uma das transversais é igual à razão entre os segmentos correspondentes da outra transversal.
4. No feixe de retas exemplificado anteriormente, podemos destacar, de acordo com o Teorema de Tales (Figura 11), as seguintes razões:

Figura 11 - Teorema de Tales e o Resultado das Razões e Proporções.

$$\begin{array}{l}
 \checkmark \frac{AB}{BC} = \frac{DE}{EF} \\
 \checkmark \frac{AC}{AB} = \frac{DF}{DE} \\
 \checkmark \frac{AC}{BC} = \frac{DF}{EF}
 \end{array}$$

Fonte: <https://www.google.com.br>.

Este teorema, portanto, será importante para generalização dos dados de perda de sedimentos em laboratório - ensaio de Inderbitzen (equação 12 - metodologia) com a projeção denudacional na área de estudo na qual os dados do ensaio de Inderbitzen serão utilizados como base de dados cartográficos para a construção dos mapas de denudação da Vila São Rafael e recuo da encosta Itagiba aplicando também a relação linear de Marques (2010) que mostrou haver correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação.

3.3 CARTOGRAFIA E INSTRUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Falar sobre a importância dos mapas no âmbito da ciência geográfica, muitas vezes, pode ser entendido como algo óbvio. Todavia, a compreensão da dimensão real entre a Geografia e a Cartografia é de extrema complexidade, pois, se de um lado, as atividades de registro e inventário dos lugares receberam a denominação de Geografia (desde a Antiguidade Clássica), de outro em um determinado momento histórico, ela separou-se da Geografia, tornando-se uma disciplina específica que ao longo tempo, traçou algumas relações com a ciência geográfica (GERARDI, 2000).

Conforme Gerardi (op. cit.), na escola Regional, que originou-se na França, no fim do século XX com Paul Vidal de La Blache, ocorreu uma intensa utilização da Cartografia, que se justificou pelo fato de que a imagem cartográfica era o instrumento legitimador do método geográfico em questão, uma vez que a identidade da região era dada pela síntese obtida na sobreposição de mapas temáticos.

Posteriormente, no período da Renovação da Geografia, a Cartografia teve um papel bastante diferenciado dentre as duas correntes polarizadas a partir desse momento: Geografia Pragmática e Geográfica Crítica.

Na primeira corrente, há a sobrevivência da representação cartográfica (bases cartográficas), como suporte para a construção de modelos matemáticos, que atualmente é amplamente utilizado nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) que, na essência, coincidem com os princípios da escola de La Blache, com maior sofisticação tecnológica, porém, com menor vinculação a um método geográfico. Já no âmbito da Geografia Crítica, ocorreu uma situação um pouco diferente, pois ocorreram muitas críticas ao método abordado, procedimentos e posições políticas adotadas, que recaíram sobre os mapas e as atividades cartográficas, no âmbito dos trabalhos geográficos, revelando as relações de poder institucionalizadas na prática cartográfica (GERARDI, 2000b).

Com relação a Geografia do século XX, a maior contribuição foi conseguir um reconhecimento por parte da comunidade científica na época dos pós-guerra, dos benefícios que a análise espacial regional frente aos métodos quantitativos combinando com outras formas do conhecimento, contribuíram para a solução de problemas que envolvem a organização e o planejamento, e que demonstram muita eficiência em aplicações de diferentes natureza e impulsionam grandes investimentos em desenvolvimento de tecnologias.

Corroborando com isso, é importante destacar que no âmbito da ciência geográfica, os mapas servem como um meio essencial de comunicação, onde seu principal objetivo é fornecer informações referentes ao espaço geográfico. Maceachren e Kraak (1997) ressaltam que ao se fazer o uso de técnicas computacionais em estudos técnicos e científicos, os mapas são úteis para a análise das características dos fenômenos geográficos, dar suporte a tomada de decisão, sintetizar soluções e apresentar resultados. Os autores ainda defendem que a importância dos mapas ultrapassa a simples comunicação da informação, quando utilizados como um instrumento para a análise visual, no processo de visualização cartográfica. Com isso, os mapas ganharam maior destaque com o advento da tecnologia computacional, a partir da necessidade de documentos georreferenciados.

Nesse sentido, a cartografia digital desenvolveu-se como uma ferramenta muito importante para a elaboração e a manipulação de produtos em formato digital, sendo considerada uma inovação no ramo cartográfico, facilitando o trabalho de seus usuários automatizando as atividades, denotando maior flexibilidade e precisão no produto final. Diante disso, surge o Geoprocessamento que engloba toda a tecnologia da cartografia digital, em conjunto com outras tecnologias, como o sensoriamento remoto e os SIG's.

Moreira (2001) define que o Geoprocessamento corresponde a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações sobre objetos ou fenômenos geograficamente identificados, que são empregados em diversas aplicações na ciência.

Corroborando com isso, pode-se dizer que o Geoprocessamento corresponde a um conjunto de técnicas computacionais, que operam sobre o banco de dados, onde ocorre o processo de georreferenciamento que transforma a informação espacial relevante e que se encontra apoiada nas estruturas de percepção ambiental, proporcionando o máximo de eficiência dessa informação.

Com o objetivo de buscar a máxima correspondência com aquilo que existe e se encontra distribuído na superfície terrestre, a cartografia avançou e atualmente dispõe de uma gama de ferramentas computacionais que não apenas facilitam o trabalho dos profissionais,

bem como, possibilitam, também, a difusão de informações para as diversas áreas do conhecimento, pois é notória a condição de que a Geografia, impreterivelmente, utiliza os mapas como um dos seus principais instrumentos de trabalho. No atual momento, em que a tecnologia se encontra cada vez mais explorada pelas ciências, os mais diversos usos podem provir de tais instrumentos e facilitar o trabalho do geógrafo. Diante disso, os SIG's surgem como ferramentas de trabalho a serem adotadas e podem ser utilizadas como um instrumento de análise espaço-temporal para a modelagem e a simulação de situações, que apoiam-se em aplicações relacionadas ao fornecimento de subsídios à elaboração da política de uso da terra, planejamento e gerenciamento de equipamentos urbanos e monitoramento ambiental (QUEIROZ, 1996).

Fitz (2008) define que estes sistemas integram o conjunto de ferramentas matemáticas e computacionais que se desenvolvem no grupo das geotecnologias e que são apontadas como as novas tecnologias ligadas as geociências e demais áreas, que trazem “[...] avanços significativos ao desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico” (FITZ, 2008, p. 11).

Soares (2006) destaca que todo o SIG apresenta duas características fundamentais que os definem como uma poderosa ferramenta de análise espacial: (1) Permite introduzir ou integrar em um único banco de dados, informações provenientes da cartografia, imagens de satélite, dados de cadastros rurais ou urbanos e dados do Modelo Digital de Elevação (MDE); (2) Oferece ferramentas para combinar várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, visualização, atualização e plotagem total ou parcial do conteúdo de seu banco de dados espaciais.

É importante salientar que os SIG's, aliado ao Geoprocessamento dos dados, tem a sua utilização baseada nos princípios da Cartografia. Com isso, torna-se obrigatório que sejam seguidas regras para a elaboração dos produtos cartográficos digitais, como: escala, localização, sistema de coordenadas, além de um sistema de referência para computar/correlacionar os resultados de medições (denominado *Datum*).

Com relação a escala, é importante destacar que esta torna-se imprescindível, visto que é a partir dela que dar-se-á início do processo de elaboração do mapeamento desejado e o tamanho das representações. A escala é uma “[...] informação que deve constar em qualquer mapa ou carta e pode ser representada, geralmente, pela escala numérica e/ou gráfica” (ROSA e BRITO, 1996, p. 26).

A localização, por sua vez, é outro aspecto que é fundamental para os estudos cartográficos. Ela torna-se possível por meio dos sistemas de coordenadas, que pode ser a Geográfica e a Universal Transversa de Mercator (UTM).

Com relação ao posicionamento, no decorrer da década de 1970, iniciou-se o processo de solução, quando os norte-americanos lançaram a proposta do *Navigation System with Timing and Ranging* (NAVSTAR) *Global Position System* (GPS), marcando uma importante etapa da história da navegação, que revolucionou quase todas as atividades que necessitavam determinar posições no espaço (MONICO, 2007).

O referido autor destaca que em paralelo aos norte-americanos, os russos desenvolveram um sistema muito similar, que foi denominado *Global Orbiting Navigation Satellite System* (GLONASS/GNSS), cujo objetivo é a determinação de coordenadas para objetos na superfície terrestre, visto que o ser humano sempre buscou solucionar esse problema científico, pois sua curiosidade sempre foi extrema com relação a sua localização e a de outras feições terrestres.

Concordando com isso, Trentin e Bazzan (2013) salientam que o GLONASS/GNSS é o sistema de posicionamento mais empregado entre os métodos geodésicos, topográficos, aerofotogramétricos, de navegação marítima e aérea, além de envolver a maioria dos dados que possuem coletas de informações a campo na área do geoprocessamento.

Para concluir, é importante salientar que, atualmente, as técnicas de geoprocessamento aliados aos produtos de percepção remota oferecem inúmeras possibilidades de análises e estudos de áreas com potencial erosivos e suscetibilidade a movimentos de massa, utilizando a análise digital do relevo por meio dos MDE's (SILVEIRA et al, 2014).

Conforme Albuquerque (2008), a utilização do Modelo Digital de Elevação (MDE) em ambientes de SIG's, além de representar o relevo de uma forma tridimensional, demonstra que é possível a extração de atributos morfométricos, que podem ser usados como medida espacial para descrever processos geomorfológicos atuantes. Com isso, através do geoprocessamento encontra-se disponível modelos e procedimentos para as análises geomorfológicas, que permitem uma investigação detalhada das relações entre as entidades pertencentes a um determinado sistema. Estes procedimentos se baseiam na existência de um banco de dados digitais, que são capazes de executar, incansavelmente depois da busca absolutamente exaustiva de ocorrências singulares ou combinadas de características de entidades, que se encontram registradas no banco de dados espaciais (SILVA, 2001; ALBUQUERQUE, 2008).

Sendo assim, evidenciam-se as técnicas e ferramentas dos SIG's utilizadas no decorrer da pesquisa, onde as técnicas de Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto contribuem para a criação e a expansão do banco de dados e da metodologia de trabalho, auxiliando assim, a Geografia a lidar com as “novas portas tecnológicas” para a compreensão do espaço geográfico.

4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A realização do trabalho norteou-se pelo método dedutivo. O trabalho foi construído seguindo uma sequência lógica e estruturada em diferentes níveis: compilatório, correlatório, semântico e normativo (LIBAULT, 1971). A compartimentação da área de estudo deu-se com base na classificação taxonômica de Ross, 1992 na qual o estudo da progressão denudacional da Vila São Rafael abrangeu o 4º Táxon por projetar a denudação de uma colina (relevo) no futuro, o 5º Táxon por detalhar a colina numa área menor projetando o recuo da encosta Itagiba (vertente sul da colina) no futuro e, por fim, o 6º Táxon por analisar de forma integrada os processos erosivos e denudacionais diferenciando os processos erosivos que ocorrem na porção leste da encosta Itagiba da porção oeste da mesma encosta como: sulcos, ravinas, deslizamentos (ROSS, 1992).

Assim o trabalho foi construído *a priori* realizando embasamento teórico, trabalho de campo, observação empírica da área de estudo, coleta de dados e construção da base cartográfica (nível compilatório) no qual a ciência geográfica passa a exigir comprovação ultrapassando a fase empírica.

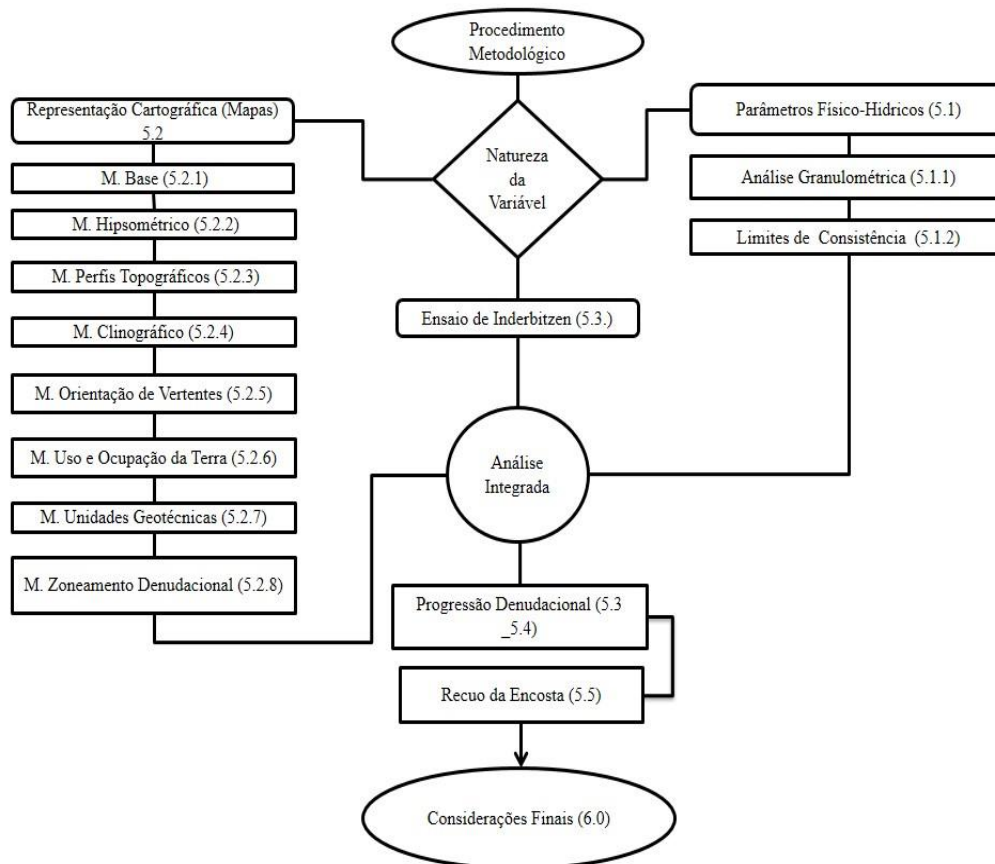
No nível compilatório foram coletadas amostras de solo superficial na área de estudo e avaliados os parâmetros físicos-hídricos da camada superficial do solo que está assentada sobre duas Formações Litológicas: Formação Caturrita e Formação Santa Maria – Membro Alemoa. As análises dos parâmetros físicos-hídricos em nível compilatório agregaram para a interpretação das diferenças encontradas nos processos erosivos e também a denudação e recuo da encosta Itagiba.

Posteriormente, deu-se sequência por meio do nível correlatório onde foi mensurado e estimada a denudação (progressão denudacional) e o recuo da encosta Itagiba por meio de ensaios de Inderbitzen adaptado (perda de solo em laboratório). No nível correlatório os dados-base da pesquisa do ensaio de Inderbitzen foram utilizados em equações matemáticas (Teorema de Tales) onde houve a abstração à realidade - projeções denudacionais e recuo da encosta Itagiba. No nível correlatório também foi construída a base de dados cartográficos (etapas para a construção do mapa de denudação e recuo da encosta Itagiba). O próximo nível (semântico) foi orientado pelas relações do nível correlatório, pois foram selecionados os dados e proposições que serviriam à pesquisa por meio de decisão lógico-matemática e teórica representando, assim, uma etapa complexa. No nível correlatório, deu-se o desfecho ao

trabalho traduzindo os resultados obtidos à projeção denudacional e recuo da encosta Itagiba avaliando e relacionando os dados dos parâmetros físico-hídricos e os processos erosivos que podem ser correlacionados à denudação (projeção denudacional). Este processo final deu-se no último nível que é o nível normativo onde os resultados são traduzidos em normas e aproveitados (LIBAULT, 1971).

O método científico adotado seguiu uma lógica geral, tácita, explicitamente empregada para apreciar os méritos da pesquisa. Não existem modelos que contemplem metodologicamente e teoricamente a complexidade da realidade do espaço geográfico. Assim, foi importante adaptar o método à pesquisa e a pesquisa ao método, mesmo ciente, que há distorções e alterações frente a realidade uma vez que os resultados laboratoriais foram generalizados para o campo (NAGLE, 1974). O trabalho seguirá o fluxograma (Figura 12) que representa as etapas da metodologia que foram cumpridas para a realização da tese.

Figura 12 - Fluxograma representando a proposta metodológica para a análise da área de estudo.



4.2 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS APLICADOS

4.2.1 Parâmetros físicos-hídricos do solo superficial

Avaliou-se os parâmetros físicos-hídricos da camada superficial do solo (a 5 cm) onde os processos erosivos condicionam a perda de sedimentos por erosão e, portanto, a denudação na área de estudo. Optou-se pelos limites de consistência e análise granulométrica porque estes índices são importantes para compreender o comportamento da camada superficial do solo frente a erosividade da chuva e, posteriormente, relacioná-los a projeção denudacional e recuo da encosta Itagiba. Foram coletadas amostras de solo superficial nos Pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) sobre a Vila São Rafael para os ensaios dos limites de consistência e análise granulométrica e os pontos escolhidos para coleta foram os mesmos pontos onde foram coletadas as amostras de solo superficial para o ensaio de Inderbitzen (mapa zoneamento). Os critérios para a escolha dos pontos foram: a) Que abrangesse pontos sobre ambas as formações litológicas (Formação Caturrita, Formação Santa Maria e o contato litológico); b) Que espacialmente abrangessem uma malha em toda a área de estudo ocupando aproximadamente em xadrez todos os quadrantes zoneados (mapa de zoneamento).

4.2.1.1 Limites de consistência

O limite de liquidez foi mensurado utilizando-se o Aparelho Casagrande e o ensaio segundo a NBR 6459/84. Logo após a conclusão do ensaio realizado em laboratório o limite de liquidez foi calculado a partir da equação 1:

$$LL = W_n (N/25)^{0,12} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

LL – Limite de liquidez;

W_n – Teor de umidade e

N – N° de golpes.

Neste ensaio foram realizados três repetições onde em seguida foram calculados a média determinando assim o limite de liquidez de cada ponto (P1 à P8). Teor de umidade foi obtido a partir da equação 2:

$$W_n = (P_u - P_s) / P_s * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

P_u – Peso úmido e

P_s – Peso seco.

O limite de plasticidade foi obtido utilizando-se a metodologia da NBR 6457/84. Logo em seguida após o término do ensaio, o limite de plasticidade foi obtido a partir da equação 3:

$$LP = (P_u - P_s) * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

P_u – Peso úmido e

P_s – Peso seco

Neste sentido o limite de plasticidade foi determinado a partir da média das três repetições feitas no ensaio. Já o índice de Plasticidade foi obtido a partir da equação 4:

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

IP – Índice de plasticidade;

LL – Limite de liquidez e

LP – Limite de plasticidade.

Cabe salientar que os índices podem ser enquadrados em três classes:

fracamente plásticos..... $1 < IP < 7$

medianamente plásticos..... $7 < IP < 15$

altamente plásticos $IP < 15$

O limite de contração foi obtido a partir da NBR 6457. A partir da equação 5.

$$LC = W_n - A \quad (\text{Equação 5})$$

onde:

LC = Limite de contração;

W_n = Teor de umidade e

A = Diferença entre $(V - V_0) / P_s * 100$

O(A), foi obtido a partir da expressão:

$$A = (V - V_0)/P_s * 100 \quad (\text{Equação 6})$$

onde:

A = Diferença entre (V-VO)/Ps * 100

V – Volume da cápsula;

V₀ – Volume do solo seco e

P_s – Peso seco

O grau de contração (GC) foi obtido através da seguinte expressão

$$GC = (V - V_0)/V * 100 \quad (\text{Equação 7})$$

onde:

V₁ = volume inicial do corpo de prova (volume da cápsula de contração);

V₂ = volume do corpo de prova após a contração

Após o cálculo este foi enquadrado segundo os seguintes tipos:

C < 5%bom

5% < C < 10%regular

10% < C < 15%pobre

C > 15%péssimo

4.2.1.2 Análises granulométricas

As amostras de solo da camada superficial do solo coletadas nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) foram submetidas a ensaios de granulometria no Laboratório de Sedimentologia da UFSM.

O procedimento laboratorial utilizado para a análise granulométrica da camada superficial do solo nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) foi realizado em etapas de peneiramento para as partículas da fração areia e de sedimentação para as frações silte e argila conforme NBR 7181/84:

1. Na análise das areias separou-se uma quantidade de solo seco com auxílio do repartidor de amostras garantindo quantidade de material para se obter uma amostra suficiente para realização do ensaio;

2. Posteriormente desmancharam-se todos os torrões existentes para que, ao passar pela peneira, restassem somente os grãos realmente maiores que a malha;

3. Passando este material na peneira 2mm, fez-se a lavagem do material passante e posteriormente insere-se em estufa a fim de prosseguir o ensaio com peneiras de malhas menores correspondentes a areia média e fina. Após esse procedimento obteve-se o resultado da porcentagem simples e acumulada do material retido nas peneiras e a porcentagem de material passante. Com estes dados pode-se produzir gráficos logarítmicos de distribuição das frações do solo em curvas granulométricas.

4. O cálculo dos diâmetros equivalentes as frações finas (silte e argila) foi feito a partir dos resultados obtidos durante a sedimentação de certa quantidade de sólidos em meio líquido (hexametáfosfato de sódio), através do método da pipetagem.

Diluiu-se as partículas em uma solução de 125 ml de hexametáfosfato de sódio diluído em 1L de água e homogeneizou-se. O método da pipeta consiste em obter resultados através das mudanças de concentração de materiais em suspensão numa proveta mediante pipetagens na profundidade e em tempos determinados. Baseia-se na velocidade de queda das partículas em um meio aquoso, sendo que as partículas maiores são as primeiras a sedimentar.

Para classificar os componentes do solo de acordo com o diâmetro dos grãos, foi utilizado a escala USDA⁴ e a de Atterberg. A porcentagem do tamanho dos grãos será dividida em areia, silte e argila. Com a comparação dos valores das porcentagens das frações que compõem as Formações Caturrita e Formações Santa Maria – Membro Alemoa e também a de cada horizonte obtêm-se a textura das Formações e do Solo sobre as Formações utilizando-se o triângulo textural de acordo com (LEMOS; SANTOS, 1996).

4.2.2 Representação cartográfica

4.2.2.1 Elaboração do modelo digital de elevação (MDE)

Para a realização do modelo digital de elevação (MDE) optou-se por realizar o levantamento pelo Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), que consiste marcar

⁴ Escala do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

uma série de pontos no terreno, que foi utilizado como base para o modelo digital de elevação (MDE).

Com a utilização do receptor Ruide 90, coletou-se 80 pontos na área de estudo (APÊNDICE 2), com tempo de coleta sendo aproximadamente cinco minutos. No *software Topcon Tools 7.5.1* realizou-se o pós-processamento dos referidos pontos, utilizando como base de precisão para posicionamento vertical e horizontal, à estação de Santa Maria (SMAR) pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo⁵ dos Sistemas GNSS (RBMC), adicionando a cada um dos pontos a altura da antena do receptor (2,027 metros).

Por fim, utilizou-se as efemérides precisas por meio do “GNSS *Calendar and Utility*”⁶, obtendo uma precisão em torno de 5 centímetros em cada um dos pontos (Figura 13).

⁵ Conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas. (IBGE, s/d).

⁶ Ferramenta de busca (em outras fontes) as efemérides e ajuste de órbita dos satélites (<http://www.gnsscalendar.com/>).

Figura 13 - Levantamento dos 8 pontos (GNSS) na área de estudo.



A variável mais importante dessa coleta é a altitude, visto que, o objetivo final do levantamento de pontos é a criação de um modelo digital de elevação. Nesse sentido, o funcionamento básico de um sistema GNSS é ligado a um elipsoide, isto é, a altitude coletada está vinculada ao modelo matemático (altitude geométrica⁷) utilizado pelo receptor (WGS-84). Porém, o que é relevante para o estudo é a altitude atribuída ao geoide (altitude ortométrica⁸). A distância medida entre o elipsoide e o geoide, medido ao longo da normal é conhecido como altura geoidal ou ondulação geoidal (TULER, 2016). Portanto, se adquirir a altitude ortométrica, pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$H = h - N$$

em que “H” é a altitude ortométrica, “h” a altitude geométrica e “N” a ondulação geoidal.

O IBGE, por meio do MAPGEO-2015, fornece a possibilidade de calcular a ondulação geoidal, por interpolação, através de coordenadas geodésicas (TULER, 2016). Posteriormente, basta aplicar a fórmula e se transformará a altitude do receptor GNSS para ortométrica, conforme ilustrada no anexo A.

4.2.2.2 Mapa base da área de estudo

Para a elaboração do mapa base da vila São Rafael, utilizou-se o *shapefile* dos setores censitários do IBGE para o estado do Rio Grande do Sul. Com uso do algoritmo “dissolver”, foi criada uma camada vetorial de bairros de Santa Maria. Além disso, adquiriu-se junto ao Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN) a malha digital dos sistemas viário e hídrico. As curvas de nível foram adquiridas por meio do MDE através da ferramenta “contorno” (GDAL - presente no QGIS), com equidistância de 5 metros. Por fim, o mapa foi finalizado no novo compositor do QGIS 2.18.15.

4.2.2.3 Mapa hipsométrico da área de estudo

A base de dados cartográfica utilizada foi resultado de um levantamento GNSS e pós-processamento dos pontos, conforme já mencionado. A interpolação do modelo digital do

⁷ Altura Elipsoidal ou Altitude Geométrica (h) é a distância em metros baseada na normal do elipsoide, formada entre o ponto “P” e o elipsoide (TULER, 2016).

⁸ Altitude Ortométrica (H) é a distância em metros a partir da vertical do lugar, resultante da superfície do terreno (ponto “P”) e o Geoide (TULER, 2016).

terreno (MDT) foi realizada através do algoritmo “*topo to raster*” do *Arcmap* 10.5. As ferramentas de interpolação de outros sistemas de informação geográfica (SIG's), utilizam somente uma metodologia (principalmente TIN ou IDW) para executar tal tarefa (interpolação). Já o *Arcmap* faz uma mescla, que o procedimento de interpolação (ARCGIS PRO, s/d)⁹:

[...] foi projetado para aproveitar os tipos de dados de entrada normalmente disponíveis e as características conhecidas das superfícies de elevação. Esse método usa uma técnica de interpolação de diferenças finitas iterativa. Ele é otimizado para ter a eficiência computacional de métodos de interpolação local, como a interpolação de inversão de distância ponderada (IDW), sem perder a continuidade de superfície de métodos de interpolação global, como Krigagem e Spline. É essencialmente uma técnica de spline de placa fina discretizada para a qual a penalidade de aspereza foi modificada para permitir que o DEM montado acompanhe mudanças abruptas no terreno, tais como fluxos, cordilheiras e penhascos. (ARCGIS PRO, s/d).

A representação das classes altimétricas, baseou-se em tons de verde, para as regiões com altitudes mais baixas, seguidas de amarelo, vermelho e marrom, conforme sugerido por Loch (2006). Sobre o número de classes que um mapa hipsométrico deve possuir, não existe uma convenção definida (LIBAULT, 1975; MARTINELLI, 2003), porém, deve ser algo entre 3 e 7 classes, para que se possa ter uma amostra representativa do local em estudo. O Quadro 4 apresenta as classes estabelecidas e seu respectivo intervalo para a vila São Rafael.

Quadro 4 - Classes altimétricas consideradas para a elaboração do Mapa Hipsométrico da vila São Rafael, Santa Maria, RS.

| Classes | Intervalo de Altitude (m) | Variável Visual Cor |
|----------|---------------------------|----------------------|
| 1 | 108-115 | R:138; G:204; B:98. |
| 2 | 115-122 | R:220; G:240; B:158. |
| 3 | 122-129 | R:255; G:223; B:154. |
| 4 | 129-136 | R:246; G:144; B:83. |
| 5 | 136-146 | R:215; G:25; B:28. |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

⁹ Tradução livre do autor. Veja o texto na íntegra em inglês: [...] has been designed to take advantage of the types of input data commonly available and the known characteristics of elevation surfaces. This method uses an iterative finite difference interpolation technique. It is optimized to have the computational efficiency of local interpolation methods, such as inverse distance weighted (IDW) interpolation, without losing the surface continuity of global interpolation methods, such as Kriging and Spline. It is essentially a discretized thin plate spline technique for which the roughness penalty has been modified to allow the fitted DEM to follow abrupt changes in terrain, such as streams, ridges and cliffs. (ARCGIS PRO, s/d).

Também, realizou-se a poligonização (transformação de raster para vetor), afim de se quantificar a área de cada uma das classes. O cálculo de área e perímetro foi realizado na calculadora de campo do *software* QGIS, e finalizado no novo compositor de impressão, adicionando norte, coordenadas, título, escala e informações complementares.

4.2.2.4 Mapa clinográfico da área de estudo

O mapa de declividade ajuda a compreender o comportamento da superfície terrestre, isto é, a sua inclinação. A declividade é calculada por uma expressão matemática, relacionando a altura (distância vertical) entre dois pontos e sua distância no plano. Sua confecção tem como princípio a utilização da algoritmo “r.slope” (ferramenta do GRASS GIS - presente no QGIS). O modelo digital do terreno utilizado para a confecção do mapa de declividade é o mesmo do mapa hipsométrico. Para a sua organização, teve como origem a metodologia proposta por De Biasi (1992):

- < 5% - Limite urbano industrial, utilizados internacionalmente, bem como em trabalhos de planejamento urbano efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo.
- 5-12% - Este limite possui algumas variações quanto ao máximo a ser estabelecido (12%), pois alguns autores adotam as cifras de 10% e/ou 13%. A diferença é muito pequena, pois esta faixa define o limite máximo do emprego da mecanização da agricultura.
- 12-30% - O limite de 30% é definido por legislação Federal – Lei 6766/79 – que define o limite máximo para urbanização sem restrições.
- 30-47% - O Código Florestal, fixa o limite de 25° (47%), como limite máximo de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas.
- >47% - O artigo 10 do Código Florestal prevê que na faixa situada entre 25° (47%) a 45° (100%), “não é permitida a derrubada de florestas, [...] só sendo tolerada a extração de toros, quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes” (DE BIASI, 1992, p. 47).

Para reclassificar o raster de declividade para o intervalo de classes proposto por De Biasi (1992), utilizou-se a ferramenta “r.recode” e transformou-se para *shapefile* para a quantificação de cada uma das classes na calculadora de campo. A finalização do mapa usou a variável visual cor com implantação zonal (Quadro 5).

Quadro 5 - Classes de declividade consideradas para a elaboração do Mapa de declividade da vila São Rafael, Santa Maria, RS.

| Classes | Intervalo de Declividade (%) | Variável Visual Cor |
|---------|------------------------------|----------------------|
| 1 | <5 | R:255; G:245; B:150. |
| 2 | 5-12 | R:255; G:226; B:75. |
| 3 | 12-30 | R:234; G:105; B:0. |
| 4 | 30-47 | R:230; G:30; B:30. |
| 5 | >47 | R:135; G:60; B:0. |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Foram estabelecidos, portanto, 5 (cinco) classes de declividades com intervalos de declividade: classe 1 (menor de 5), classe 2 (5-12), classe 3 (12-30), classe 4 (30-47), classe 5 (maior de 47).

4.2.2.5 Mapa de uso e ocupação da terra

Os conceitos atribuídos à cobertura e ao uso da terra guardam íntima relação entre si e costumam ser aplicados alternativamente. Geralmente as atividades humanas estão diretamente relacionadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial. Dados de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens de satélite, podem ser correlacionados com a cobertura da terra e usados para mapear o tema. Entretanto, como o sensor remoto não registra a atividade diretamente, mas características da superfície da terra que retratam o revestimento do solo, as atividades de uso da terra correlacionadas à cobertura, precisam ser interpretadas a partir de modelos, tonalidades, texturas, formas, arranjos espaciais das atividades e localização no terreno (IBGE, 2013).

Para a confecção do mapa de uso e ocupação da terra utilizou-se uma imagem do *Google Earth Pro* da vila São Rafael, datada de 07/05/2017. A mesma foi georreferenciada e, posteriormente, marcando os diferentes usos de terra, classificando-os em: área urbanizada¹⁰, campestre¹¹ e florestal¹² (usos presentes na área de estudo). Os mencionados usos da terra são

¹⁰ “Como situação urbana foram consideradas as áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas” (IBGE, 2013, p. 49).

¹¹ “Entende-se como áreas campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso”. (IBGE, 2013, p. 98).

¹² “Considera-se como florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 m, incluindo-se aí as fisionomias da Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), da Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo (com cipó, bambu, palmeira ou sororoca), da Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a

sugeridos no “Manual Técnico de Uso da Terra” do IBGE. As cores adotadas (Quadro 6) nesse trabalho são de acordo com as apresentadas na obra acima (IBGE, 2013). Além disso, calculou-se a área e perímetro de cada uma das classes, utilizando a calculadora de campo do QGIS e a finalização dos mapas se deu no novo compositor de impressão do QGIS.

Quadro 6 - Classes de uso da terra consideradas para a elaboração do Mapa do uso e ocupação da terra da vila são Rafael, Santa Maria, RS.

| Classes | Uso da Terra | Variável Visual Cor |
|---------|-----------------|----------------------|
| 1 | Área Urbanizada | R:255; G:168; B:192. |
| 2 | Campestre | R:214; G:255; B:168. |
| 3 | Florestal | R:115; G:168; B:0. |

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Desta forma foram atribuídas três classes para o uso da terra na Vila São Rafael. A classe 1 corresponde a área urbanizada, a classe 2 corresponde a áreas campestres e a classe 3 correspondem a áreas florestais.

4.2.2.6 Mapa de identificação de perfis topográficos

A base para a construção dos perfis topográficos foi o modelo digital de elevação confeccionado a partir dos pontos pós-processados, que já foram explicados no decorrer dos procedimentos metodológicos. Para a confecção dos perfis utilizou-se o complemento “*Profile Tool*”, no qual, atribuindo o ponto inicial e final do perfil, o mesmo é gerado, podendo ser salvo como imagem. Posteriormente, realizou-se os cálculos de escala de cada um dos seis perfis topográficos e adicionou-se informações complementares. O mapa com a localização dos perfis (no MDE), foram organizados no compositor de impressão do QGIS.

4.2.2.7 Mapa de unidades geotécnicas e fluxograma da água superficial

Para a confecção do mapa de unidades geotécnicas da área em estudo, utilizou-se a Carta Geotécnica de Santa Maria (MACIEL FILHO, 1990). A mesma foi georreferenciada no

estação desfavorável (seca e frio) além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da *Araucaria angustifolia*, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua) e das áreas de mangues.” (IBGE, 2013, p. 90).

sistema de referência de coordenadas (SRC) SAD-69 e, posteriormente, reprojeta para SIRGAS 2000/UTM 22 S. Após o procedimento anterior, digitalizou-se as unidades geotécnicas presentes na área de estudo. Usando a ferramenta “r.flow”, utilizando o MDE da vila São Rafael, gerou-se as linhas de fluxo e, com ajuda do mapa de orientação de vertentes, marcou-se o fluxo de água superficial. O mapa foi finalizado no novo compositor de impressão do QGIS.

4.2.2.8 *Mapa de zoneamento denudacional*

A delimitação das áreas representativas e seus limites no mapa de zoneamento denudacional baseou-se: a) no limite das unidades geotécnicas - Formação Caturrita e Formação Santa Maria - Membro Alemoa (MACIEL FILHO, 1990); b) e na declividade do Terreno.

Para a elaboração do mapa de zoneamento denudacional primeiro foi necessário demarcar as área (zona denudacional) representada pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) onde foram coletadas amostras da camada superficial do solo. A delimitação baseou-se, portanto, na declividade média (mapa clinográfico); características litológicas (carta geotécnica de Maciel Filho, 1990) onde a Formação Caturrita, a Formação Santa Maria - Membro Alemoa e contato litológico entre estas formações serviram de base de dados. Como último critério buscou-se a construção de uma malha em xadrez que abrangesse a totalidade da área de estudo. A área de estudo possui dimensões pequenas (180.929,38 m²) assim optou-se por coletar 8 (oito) amostras superficial do solo sobre as duas Formações Litológicas e o contato litológico abrangendo toda a área de estudo em malha xadrez, suas particularidades litológicas e clinográficas.

A área do Ponto 1 (P1) foi demarcada por representar o solo superficial que está assentado sobre a Formação Caturrita e próximo a Encosta Itagiba (representando a porção sul da Formação Caturrita, a Porção da Encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita e a declividade média desta área (P1 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade) representando assim os processos erosivos e denudacionais nesta zona.

A área do Ponto 2 (P2) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área que está sobre o Contato Litológico (Formação Caturrita x Formação Santa Maria – Membro Alemoa) representando uma área de transição entre duas Formações Litológicas e a declividade média desta área (P2 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade) onde os processos erosivos e denudacionais nesta porção da Encosta Itagiba

pudessem ser representados. Está área portanto faz parte da antiga ex-ocupação irregular que a Prefeitura Municipal de Santa Maria transferiu para a Vila Maringá.

A área do Ponto 3 (P3) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que compõe a parte leste da Encosta Itagiba e a declividade média desta área (P3 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade) está área portanto representa os processos erosivos e denudacionais que estão atuando sobre a ocupação irregular não removida pela Prefeitura Municipal de Santa Maria.

A área do Ponto 4 (P4) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que compõe a porção norte (distante portanto dos processos erosivos e denudacionais da Encosta Itagiba) afim de comparar os dados destas duas áreas (P4 com P3) pois nesta porção não ocorreu corte topográfico que alterasse significativamente a declividade do relevo. E também por este ponto (P4) representar a declividade média desta área (P4 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade). Esta área portanto representa os processos erosivos e denudacionais que estão atuando sobre uma área da Formação Santa Maria que não sofreu transformações topográficas representando melhor a erosão e a denudação que a área inteira seria submetida se não houvesse interferência antrópica na conformação do relevo.

A área do Ponto 5 (P5) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que compõe a interface do contato litológico com a Formação Caturrita e representa a porção leste desta interface litológica. Foi escolhido um ponto médio na porção central desta interface para representá-la em todo sentido norte-sul. Esta área portanto representa os processos erosivos e denudacionais que estão atuando sobre esta interface litológica. E também por representar uma média de declividade verificada em campo e no mapa de declividade).

A área do Ponto 6 (P6) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Caturrita que está localizada na porção central e a oeste da Vila São Rafael. Esta área representa assim os processos erosivos e denudacionais nesta área pois representam uma declividade média verificada em campo e no mapa de declividade).

A área do Ponto 7 (P7) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área assentada sobre a Formação Caturrita localizada na porção noroeste da Vila São Rafael. Esta área representa assim os processos erosivos e denudacionais nesta área pois representam uma declividade média verificada em campo e no mapa de declividade).

A área do Ponto 8 (P8) foi demarcada por representar o solo superficial sobre uma área assentada sobre o Contato Litológico da Formação Caturrita com a Formação Santa

Maria - Membro Alemoa e estar localizado na porção norte deste contato. Neste sentido distante das transformações antrópicas (corte topográfico para a instalação da ferrovia) onde os processos erosivos e denudacionais podem ser comparados com os dados laboratoriais do Ponto (P2) que encontram-se próximo destas transformações na conformação do relevo. O mapa foi finalizado logo a seguir no compositor de impressão do QGIS.

4.2.3 Progressão Denudacional

Os mapas de progressão denudacional formam construídos a partir dos resultados obtidos seguindo três etapas: a) ensaio de Inderbitzen adaptado; b) Generalização dos dados obtidos no ensaio de Inderbitzen para a Vila São Rafael por equações matemáticas - Teorema de Tales e c) Construção dos mapas de progressão denudacional da Vila São Rafael e o vídeo.

4.2.3.1 Ensaio de Inderbitzen adaptado.

Para a realização do ensaio de Inderbitzen, inicialmente foram coletadas amostras de solo superficial nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) na Vila São Rafael.

A escolha da localização da coleta das amostras de solo superficial - Pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) tomou como ponto de partida o mapa de zoneamento que foi construído correlacionando o limite das unidades geotécnicas (Formação Caturrita e Formação Santa Maria - Membro Alemoa) com a declividade do Terreno. Seguiram portanto os critérios: litológicos, de declividade e foram especializados buscando formar uma malha em xadrez sobre toda a área de estudo para representa-la. A opção de coletar 8 (oito) amostras deve-se ao pequeno tamanho da área de estudo. Os pontos tomados 8 (oito) ficaram bem distribuídos representando toda a área de estudo, sobrepondo a Formação Caturrita, a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, o contato litológico e também a declividade média de cada ponto (mapa de declividade).

O Ponto 1 (P1) foi escolhido por representar o solo superficial que está assentado sobre a Formação Caturrita e próximo a Encosta Itagiba (representando a porção sul da Formação Caturrita, a Porção da Encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita e a declividade média de 4° (P1 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade) representando assim os processos erosivos e denudacionais nesta zona.

O Ponto 2 (P2) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área que está sobre o Contato Litológico (Formação Caturrita x Formação Santa Maria - Membro Alemoa)

representando uma área de transição entre duas Formações Litológicas e a declividade média de 2° (P2 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade)

O Ponto 3 (P3) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que compõe a parte leste da Encosta Itagiba e a declividade média de 8° (P3 - verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade)

O ponto 4 (P4) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que compõe a porção norte (distante portanto dos processos erosivos e denudacionais da Encosta Itagiba) afim de comparar os dados destas duas áreas (P4 com P3) pois nesta porção não ocorreu corte topográfico que alterasse significativamente a declividade do relevo. E também por este ponto (P4) representar a declividade média de 3° (P4 – verificada em trabalho de campo e no mapa de declividade).

O ponto (P5) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que compõe a interface do contato litológico com a Formação Santa Maria - Membro Alemoa e representa a porção leste desta interface litológica. Foi escolhido um ponto médio na porção central desta interface para representa-la em todo sentido norte-sul e também por representar uma declividade média de 2° verificada em campo e no mapa de declividade.

O ponto (P6) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área sobre a Formação Caturrita que está localizada na porção central e a oeste da Vila São Rafael. Esta área representa assim os processos erosivos e denudacionais nesta área pois representam uma declividade média de 5° verificada em campo e no mapa de declividade).

O ponto (P7) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área assentada sobre a Formação Caturrita localizada na porção noroeste da Vila São Rafael. Esta área também representa uma declividade média de 2° verificada em campo e no mapa de declividade.

O ponto (P8) foi escolhido por representar o solo superficial sobre uma área assentada sobre o Contato Litológico da Formação Caturrita com a Formação Santa Maria – Membro Alemoa e estar localizado na porção norte deste contato representando a declividade média de 5°.

A opção de coletar amostra de solo superficial deve-se ao fato de que sobre esse material que ocorre a denudação. A coleta de amostras de solo nos cilindros foi realizada como mostram as fotografias (Figura 14).

Figura 14 - Coleta das amostras de solo superficial na área de estudo.



Primeiramente selecionou-se oito cilindros com dimensões pré-estabelecidas que foram revisadas por meio de novas medições (paquímetro) não apresentando modificações, pois o volume interno dos cilindros coletores precisavam ser precisos uma vez que as amostras de solos superficiais iriam ocupar (preencher) o espaço interno do cilindro passando este volume também ser considerado o volume das amostras do solo superficial para cada coletor (cilindro). Portanto o volume interno dos cilindros (V_c) e o volume das amostras superficiais do solo (V_i) foram considerados iguais ao seu respectivo coletor (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 e C8) que apresentaram diâmetro interno iguais para todos os cilindros coletores. Assim os 8 (oito) cilindros coletores apresentaram diâmetro interno iguais ($D_i = 9,87$ cm) e portanto raio interno também idênticos ($R_i = 4,935$ cm). A altura dos cilindros (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7 e H8) com dimensões pré-estabelecidas também foram revisadas não sofrendo alterações. No entanto para cada cilindro apresentaram valores diferentes. Os valores encontrados para a altura dos cilindros (H) apresentaram as seguintes variações:

- . $H_1 = 4,98$ cm
- . $H_2 = 4,86$ cm
- . $H_3 = 4,91$ cm
- . $H_4 = 4,93$ cm
- . $H_5 = 4,88$ cm
- . $H_6 = 4,90$ cm
- . $H_7 = 4,95$ cm
- . $H_8 = 4,96$ cm

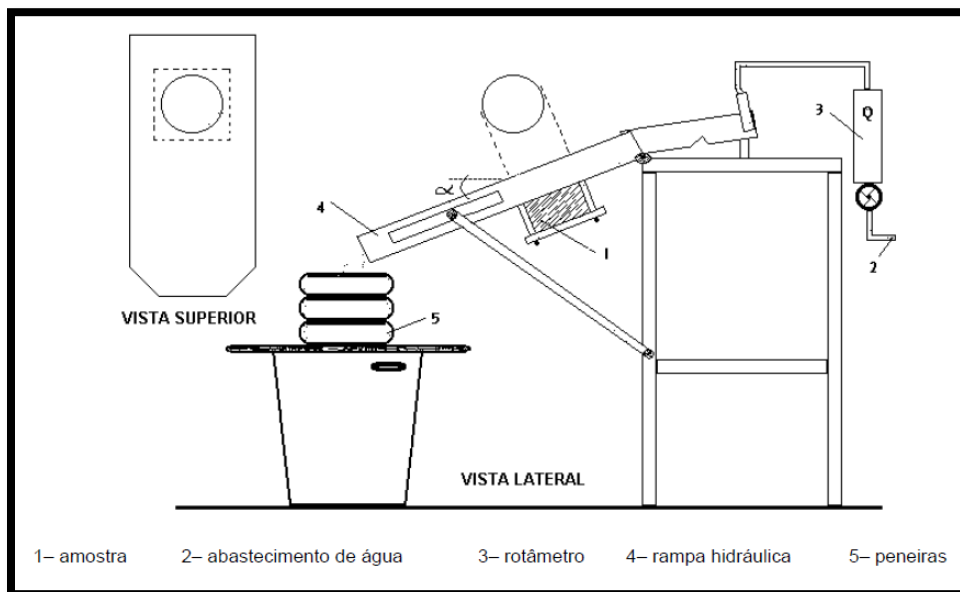
Para os cálculos dos respectivos volumes internos dos cilindros (V_i) em cm^3 foi considerado ainda a constante matemática ($\pi = 3,1415$) onde os valores foram substituídos na fórmula matemática para o cálculo de um cilindro: $V = \pi \times r^2 \times H$.

Para o ensaio de Inderbitzen foi utilizado equipamento idêntico ao equipamento original de Inderbitzen, 1961 utilizado por Bastos, 1999 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que contém uma rampa hidráulica em chapa metálica com 25 cm de largura e 60 cm de comprimento, dotada de um orifício central onde é introduzida uma amostra de solo confinada em uma anel de PVC. Esta rampa é articulada, de modo a permitir a variação na sua inclinação de 0 a 54°. O fluxo de água na rampa é alimentado diretamente da rede hidráulica e o controle e medida da vazão realizados por um registro e rotâmetro, instalados juntos junto ao ponto de alimentação.

A amostra é instalada de tal forma que a sua superfície coincide com o fundo da rampa. O sistema de coleta e seleção do material erodido é constituído por baldes plásticos de

60 litros e por um conjunto de peneiras nas malhas 4,8 mm (peneira 4), 2,0 mm (peneira 10), 0,42 mm (peneira 40) e 0,074 mm (peneira 200). Veja a Figura 15 que ilustra o equipamento de Inderbitzen desenvolvido por Bastos (1999).

Figura 15 - Esquema representativo do equipamento de Inderbitzen desenvolvidos por Bastos (1999) no LMS/UFRGS.



Fonte: Bastos (1999).

O ensaio de Inderbitzen foi realizado, portanto como uma simulação das condições do campo em laboratório. Simulou-se um evento de precipitação (chuva) e por meio da perda de sedimentos em laboratório estimou-se a denudação no campo.

O ensaio de Inderbitzen mensura, portanto, aproximadamente as consequências do escoamento superficial sobre o solo (amostra), permitindo analisar diferentes resultados conforme a mudança da vazão do fluxo, seu tempo de atuação, declividade da tampa e as propriedades do solo, como a densidade e a umidade (ÁVILA, 2009).

No experimento realizado neste trabalho as amostras de solo superficial coletadas em cilindros de volume interno pré-estabelecido foram submetidos ao ensaio de Inderbitzen no Laboratório de Geologia da UFSM.

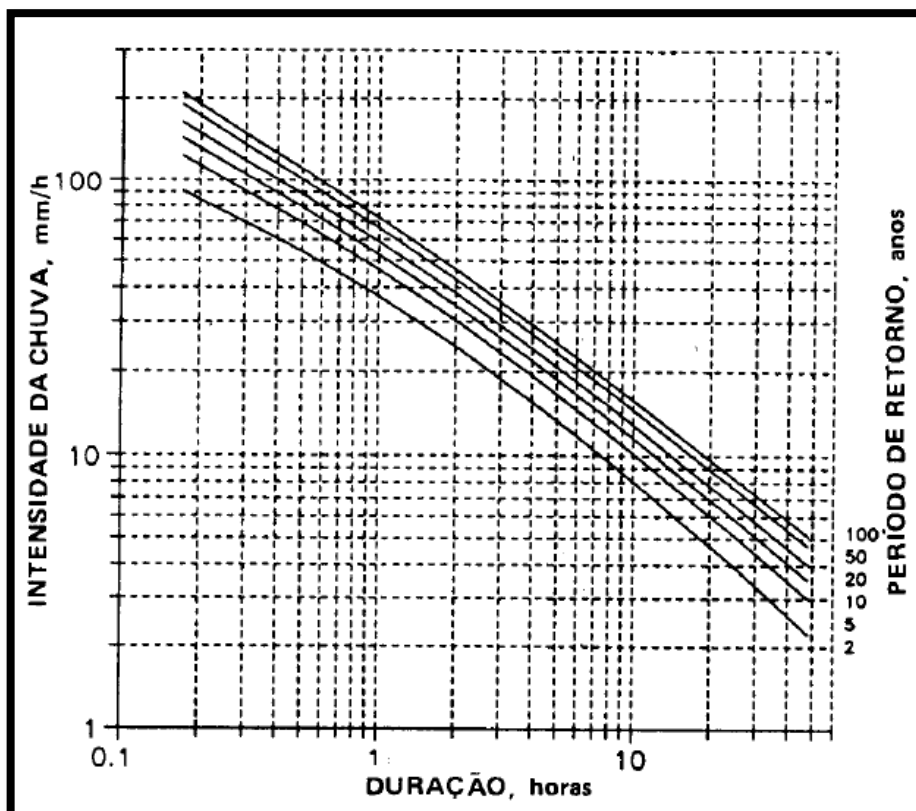
As amostras de solo superficial dos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) da Vila São Rafael foram submetidas a um plano inclinado no experimento com a mesma inclinação do local onde foi retirada a amostra de solo superficial (inclinação do campo) onde o ponto 1 (P1) foi submetido no experimento a inclinação de 4° (graus), o Ponto 2 (P2) foi submetido a

inclinação de 2° (graus), o ponto 3 (P3) submetido a inclinação de 8° (graus), o ponto 4 (P4) a inclinação de 3° (graus), o ponto 5 (P5) a inclinação de 2° (graus), o ponto 6 (P6) a inclinação de 5° (graus), o ponto 7 (P7) a inclinação de 2° (graus) e o ponto 8 (P8) a inclinação de 5° (graus).

Fez-se passar sobre as amostras de solo superficial uma vazão de 20 mm / 3 horas por com auxílio do rotâmetro calibrado para simular uma precipitação de 20 mm / 3 horas no ensaio de Inderbitzen. A utilização desta (vazão) que simulou a precipitação no ensaio deve-se aos estudos de Eltz, Reichert e Cassol (1992) que determinaram esta precipitação por meio de equações matemáticas e as variáveis: a) estimativa da intensidade, duração e o período de retorno das chuvas em Santa Maria como a chuva de maior período de retorno (T) em anos, em função da intensidade e da duração das chuvas (Figura 16).

Portanto a intensidade pode ser estimada para uma duração e período de retorno, e este ser estimado para determinada duração de chuva (ELTZ, REICHERT e CASSOL, 1992).

Figura 16 - Períodos de retorno esperados T, em anos, da chuva em Santa Maria, em função da intensidade e da duração das chuvas.



Portanto nos ensaios de Inderbitzen foi utilizado a precipitação com maior período de retorno esperados (T), em função da intensidade e da duração das chuvas: 20 mm num intervalo de tempo de 3 horas (ELTZ, REICHERT e CASSOL, 1992).

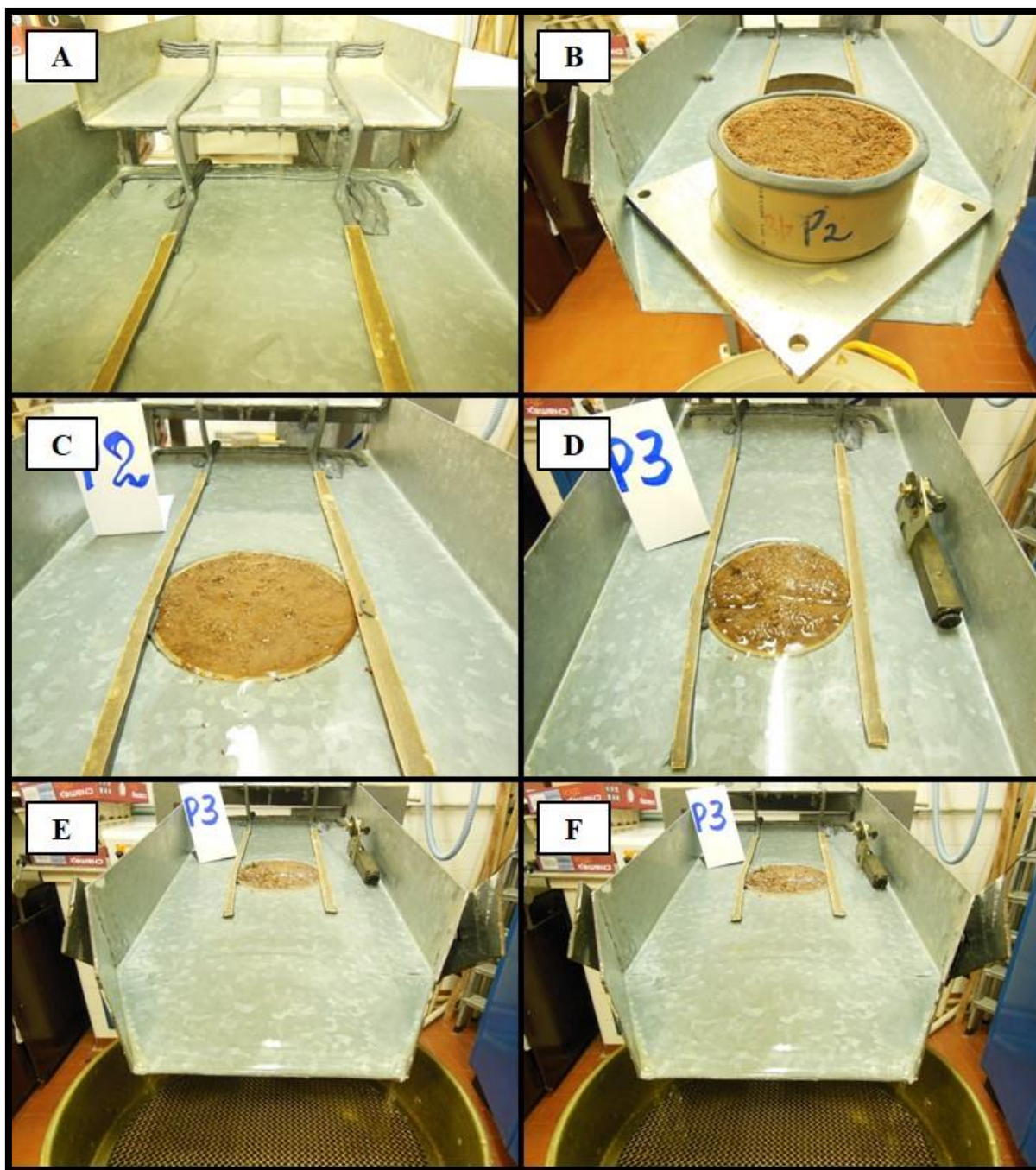
Portanto a precipitação de 20 mm/3 horas foi utilizada no Ensaio de Inderbitzen para simular a precipitação em laboratório (vazão/água liberada no rotâmetro). Este fluxo d'água foi liberado por uma mangueira 41 cm a “montante” do orifício onde a amostra foi fixada na rampa (plano inclinado do aparelho) fazendo a água passar sobre a amostra de forma laminar (sem impacto de qualquer fluxo diretamente sobre a amostra)

No ensaio de Inderbitzen realizou-se, portanto a simulação aproximada do efeito do escoamento superficial (erosividade da “chuva”) sobre a massa de solo (amostras) coletadas nos pontos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) nos coletores (cilindros) de dimensões laboratoriais conhecidas pertencentes ao Laboratório de Geologia da UFSM.

O experimento realizado no ensaio de Inderbitzen permitiu calcular a vazão do fluxo de água (rotâmetro) que passou sobre a massa de solo (amostras), o tempo de atuação, a declividade da rampa do experimento - ângulo (utilizou-se a mesma declividade verificada em campo), a coleta do material erodido, pesagem e as propriedades – densidade e umidade.

Cabe salientar que o ensaio de Inderbitzen foi adaptado. Neste trabalho modificou apenas a largura do escoamento (introduzindo canaletas laterais) uma vez que havia necessidade de toda precipitação passar sobre a amostra de solo não havendo perdas na simulação das precipitações como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Ensaio de Inderbitzen Adaptado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os sedimentos erodidos no ensaio foram peneirados no ensaio ao passar pela peneiras após “erodir”/desprender-se da amostra e ser transportados a jusante do plano inclinado do aparelho passando pelas peneiras chegando ao receptor final (balde).

Posteriormente os sedimentos erodidos foram secos na estufa modelo SL-100 do laboratório de sedimentologia UFSM e após a secagem foram pesados em balança de precisão no laboratório de sedimentologia.

Os dados obtidos no ensaio de Inderbitzen (material erodido) foram, portanto, pesados e seus valores serviram para calcular outras variáveis como o volume do material erodido (v) e a altura dos sedimentos erodidos (h) por meio de equações matemáticas e assim generalizados para a área de estudo representando a denudação e o recuo da encosta Itagiba. Para tanto é preciso entender este processo matemático para assim compreender a generalização destes valores.

4.2.3.2 Generalização dos dados obtidos no ensaio de Inderbitzen para a Vila São Rafael por equações matemáticas - Teorema de Tales.

Para a generalização dos dados encontrados no ensaio de Inderbitzen para a área de estudo partiu-se primeiramente para a definição da perda de sedimentos das amostras de solo em laboratório para os pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a mensuração dessas perdas em (peso) do sedimento erodido no ensaio.

As amostras de solo superficial contidas nos cilindros que foram retiradas em campo nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e que foram submetidas ao ensaio de Inderbitzen adaptado perderam sedimentos que foram pesados e por equações matemáticas (teorema de Tales) foram generalizados para as áreas representativas destes pontos (zoneamento denudacional) na área de estudo indicado por (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8). Portanto os resultados erosivos e denudacionais (perda de sedimentos nos ensaios) passaram a representar a área de estudo.

Calculou-se as áreas (zonas) no mapa de zoneamento (calculadora de campo - QGIS) onde as áreas (m^2) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) pois a perda de altura (altura do sedimento erodido em laboratório em P1 por exemplo) passou a representar a altura de sedimento erodido na área de P1 (zona) fazendo a comparação entre a altitude atual (georreferenciamento) e podendo projetar essa perda - altitude futura destas áreas utilizando-se dos dados de perda de sedimento (valores obtidos de perda de sedimentos (altura dos sedimentos erodidos) na construção das projeções denudacionais por métodos cartográficos. As etapas para a determinação da altura de sedimentos erodidos (tabela de valores que foi inserida no processo cartográfico) e posteriormente a elaboração do mapa de projeção denudacional e recuo da encosta Itagiba foram:

a) Primeiramente pesou-se (gramas) a massa (M) das amostras descontando o peso (gramas) do Cilindro coletor (cilindro de PVC) projetado para mitigar a deformação das amostras. O peso das amostras (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 e M8) foi verificado na balança do laboratório de geologia da UFSM.

b) A seguir calculou-se o volume (cm³) interno de cada cilindro (Vi). Para todos os cilindros utilizados foram encontrados o mesmo raio interno havendo diferenças apenas na variável altura do cilindro que foi mensurada pelo instrumento de medição do laboratório (paquímetro).

c) Posteriormente foram calculados a densidade cabendo também salientar que para todas as medidas foram descontadas o peso do cano de PVC. A densidade (D) das amostras de solo superficial nos Pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) foi mensurada dividindo o peso (g) da amostra de solo superficial (M), pelo volume (cm³) interno do cilindro ocupado pela amostra (V) calculada segundo a Equação 9:

$$D = M / V_i \quad \text{(Equação 9)}$$

A densidade (D) possui o mesmo valor para o total da amostra nos cilindros e para o material erodido. Portanto foi utilizado os dados da densidade (D) para calcular o volume do sedimento erodido (Ve) posteriormente.

d) Na sequência iniciou-se o ensaio de Inderbitzen Adaptado sendo coletado o sedimento erodido dos cilindros no ensaio obtendo-se a massa erodida (m1, m2, m3, m4, m5, m6, m7 e m8) que foi pesado na balança de precisão do Laboratório de Laminologia da UFSM.

e) Mensurou-se também o Volume Interno dos Cilindros (V) que corresponde também ao Volume Total da Amostra de Solo Superficial (V) pois os cilindros foram totalmente preenchidos e acomodados nos cilindros com o mínimo de deformação possível em relação ao estado natural do campo sendo coletado nos pontos ((P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot H \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

H = Altura do Cilindro e do Sedimento Inicial (cm).

r² = Raio Interno dos Cilindros (cm)

π = 3,1415 (Constante Matemática)

f) A seguir calculou-se o Volume do Sedimento Erodido (V_e) substituindo os valores encontrados para a Massa Erodida e Densidade (D) na Equação 10.

$$v = \frac{m}{D} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

m = Massa Erodida

D = Densidade

v = Volume de Sedimentos Erodidos

g) Posteriormente calculou-se a altura do sedimento erodido (h) aplicando o Teorema de Talles:

$$\frac{V}{H} = \frac{v}{h}$$

Onde:

V = Volume Interno da Amostra nos Cilindros

v = Volume Erodido dos Cilindros

H = Altura do Cilindro e da Amostra

h = Altura do Sedimento Erodido

h) Logo, utilizou-se a equação (Equação 11) resultante do Teorema de Tales:

$$h = \frac{H \cdot v}{V} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

h = Altura do Sedimento Erodido

H = Altura do Cilindro e da Amostra

v = Volume Erodido dos Cilindros

V = Volume Interno da Amostra nos Cilindros

i) Na sequência, utilizou-se novamente o Teorema de Talles aplicado a relação: razão e proporção com as variáveis: Altura do Sedimento Erodido (h) x Precipitação (20mm/3horas) por ser o evento de precipitação media que mais se repete na Cidade de Santa Maria – RS. Assim, considerando a Precipitação de 20 mm / 3 horas e a perda de sedimentos no cilindro (Altura do Sedimento Erodido pós Ensaio de

Inderbitzen) faz-se a relação (razão e proporção) calculando-se a Altura do Sedimento Erodido em 1 (um) ano:

20 mm/3h (ensaio) ----- h (Altura do Sedimento Erodido numa chuva (h₁ a h₈)
 1688 mm (ano) ----- h1 (Altura do Sedimento Erodido num ano (h₁ a h₈))

j) A seguir relacionou-se os valores encontrados para a Altura de Sedimentos Erodidos (h) por evento de precipitação (ensaio) com média de precipitação anual que é de 1688 mm (média das precipitações anuais em Santa Maria – RS).

Os resultados foram substituídos na equação 12 também derivada do Teorema de Talles da seguinte forma:

$$h1 = \frac{h \text{ (cm)} \times 1688 \text{ (mm)}}{20 \text{ (mm)}} \quad \text{(Equação 13)}$$

Onde:

h1= Altura do Sedimento Erodido em 1 (um) ano (cm)

h = Altura do Sedimento Erodido em 1 (um) evento de precipitação (ensaio) (cm)

k) Após encontrar a Altura do Sedimento Erodido (h1) em um ano projetaram-se esses valores linearmente para construir os mapas de progressão denudacional em: 10 anos (h10), 25 anos (h25), 50 anos (h50), 100 anos (h100) e 1000 anos (h1000) multiplicando-se a altura de um ano pelos respectivos anos.

Os resultados são valores lineares de perda erosiva para o futuro. E a fim de enxergar o futuro (denudação do relevo) foram construídos mapas de denudação da Vila São Rafael. E também mapas de recuo da Encosta Itagiba inserindo esses valores de perda em altura na área georreferenciada. Esses dados formaram, portanto a base de dados cartográficos: projeções denudacionais e cenário evolutivo do relevo. Neste sentido o passo a seguir foi cartográfico com a elaboração dos mapas.

4.2.3.3 Construção do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael e o vídeo

Os mapas de progressão denudacional foram elaborados com base nos dados obtidos no ensaio de Inderbitzen, altura do material erodido (h) que representa a variação da denudação em cada uma das áreas do zoneamento denudacional.

A altitude base para a confecção dos mapas de denudação foi a altitude ortométrica obtida após o pós-processamento, com a subtração da ondulação geoidal, obtida pelo software MAPGEO-2015, pela altitude geométrica (do receptor GNSS).

Com a altitude ortométrica dos 80 pontos, subtraiu-se a medida de perda de acordo com as áreas de influência do zoneamento para 1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 75 anos, 100 anos e 1.000 anos, na calculadora de campo, realizando-se na sequência a interpolação. Este processo foi idêntico ao procedimento realizado para o mapa hipsométrico, para cada um dos anos.

Já para a elaboração do modelo digital de elevação (MDL) para o volume de denudação (m^3) que trata-se de uma dimensão tridimensional (volume de determinado objeto) foi necessário calcular as dimensões: comprimento, largura e altura. Pois a relação existente entre comprimento e largura resulta em uma área e esta área quando multiplicada por sua altura, obtém-se o volume.

Assim, a fim de se estimar o volume de cada uma das classes hipsométricas, com base nos anos da progressão denudacional, relacionou-se a área de cada uma das classes do mapa hipsométrico atual e sua progressão (1, 10, 25, 50, 75, 100 e 1000 anos), resultando em um delta de variação, cujo objetivo é demonstrar se as classes ganharam ou perderam área com a progressão. Para entender o procedimento metodológico optou-se por mostrar passo a passo um exemplo (progressão de 1 ano) pois o procedimento utilizado neste exemplo foi o mesmo para todos os mapas.

Exemplo:

Na primeira classe hipsométrica (108-115), do Modelo Digital de Elevação - 1 ano, há 9.218,25 m^2 de área. Realizando uma subtração da área da mesma classe do modelo digital atual (9.168 m^2), temos uma diferença de 50,25 m^2 , demonstrando que a primeira classe do mapa ganhou 50,25 m^2 de área na progressão de um ano quando comparada com a atual.

Da mesma maneira, se subtrair a área da classe 105-115 metros da progressão de 10 anos, que é 9.365,75 m^2 , com a área da progressão de 1 ano (9.218,25 m^2), temos um delta de variação da progressão de 1 para 10 anos, concluindo que a classe em questão aumentou 147,50 m^2 . Esse foi o procedimento aplicado a todas as classes hipsométricas da progressão, calculando-se o delta de variação das áreas subtraindo a progressão de 1 ano com o MDE atual, a progressão de 10 anos com a de 1 ano, 25 anos com a de 10 anos, de 50 anos com a de 25 e assim, respectivamente. Ressalta-se que, se o delta da área (variação), for um número negativo, a classe perdeu área quando comparado com a progressão denudacional anterior, e caso seja positivo, ganhou área.

Para se obter a altura média da progressão denudacional, criou-se um critério baseado nos pontos utilizados para a interpolação do modelo digital de elevação, obedecendo à altura denudada com base no zoneamento, aplicadas as classes do mapa hipsométrico atual e suas progressões. Deste modo, a classe 108-115 metros da progressão de 1 ano possui um total de 16 pontos utilizados na interpolação, que serviu para gerar seu MDE. Dessa totalidade, 7 pontos estão localizados na área um (1) do zoneamento denudacional, onde vão perder 0,329 cm de altura em um ano; 3 pontos localizam-se na área dois (2) do zoneamento, com perda de 0,700 cm em um ano; outros 3 pontos estão situados na área três (3) do zoneamento denudacional, com perda de 0,970 cm. Além disso, outros 2 encontram-se na área quatro (4) do zoneamento, com perda de 0,573 cm ao ano e um ponto na área cinco (5) do zoneamento denudacional, que perde 0,827 cm por ano. Nesse sentido, exposto no quadro 1 - Média Altura Denudada da Classe 108-115 (1 ano), realizou-se uma média da altura denudada com base na classe Hipsométrica (108-115), de acordo com o zoneamento denudacional.

Para se calcular o volume denudado da classe Hipsométrica 108-115 metros, basta multiplicar o delta da área, adquirido por subtrair a área da progressão de um ano com a atual (50,25 m²) com a altura média da denudação (0,00580 m). Nesse sentido, tem-se 0,29 m³ de volume denudados de áreas mais altas para a classe 108-115 metros após um ano, para que a mesma aumente sua área.

Para estimar a altura média denudada para segunda classe Hipsométrica (115-122), temos 6 pontos utilizados na interpolação MDE da progressão de um ano. Assim, um ponto se situa na área 1 de zoneamento e outro na área 3 (perdendo 0,329 e 0,970 cm, respectivamente); dois pontos localizados na área 4 do zoneamento, com perda anual de 0,573 cm e outros dois pontos situados na área 5 do zoneamento denudacional, perdendo 0,827 cm anuais, totalizando os 6 pontos com distribuição espacial na área hipsométrica 2 (115-122), conforme listrado no quadro 1 - Média Altura Denudada da Classe 115-122 (1 ano), totalizando 0,00683 metros de altura média denudada. Assim, o volume ganho pela classe 2 (115-122 m) foi de 0,29 m³ (15,50 m² x 0,00683 m) na progressão de 1 ano. Esses procedimentos foram repetidos para se obter a altura média denudada de todas as classes hipsométricas e progressões denudadas. Veja o exemplo nos cálculos no Quadro 7.

Quadro 7 - Método utilizado para adquirir altura média da denudação por classe hipsométrica para a progressão de 1 ano.

Média Altura Denudada da Classe 108 – 115 (1 ano)

$$= \frac{\{(Hden. Zon1 \times n^{\circ}PZon1) + (Hden. Zon2 \times n^{\circ}PZon2) + (Hden. Zon3 \times n^{\circ}PZon3) + (Hden. Zon4 \times n^{\circ}PZon4) + (Hden. Zon5 \times n^{\circ}PZon5)\}}{\text{Total de Pontos da Classe Hipsométrica (108 – 115 m)}}$$

$$= \frac{[(0,329 \times 7) + (0,700 \times 3) + (0,970 \times 3) + (0,573 \times 2) + (0,827 \times 1)]}{16}$$

$$= \frac{9,286}{16}$$

$$= 0,580 \text{ cm ou } 0,00580$$

Média Altura Denudada da Classe 115 – 122 (1 ano)

$$= \frac{\{(Hden. Zon1 \times n^{\circ}PZon1) + (Hden. Zon3 \times n^{\circ}PZon3) + (Hden. Zon4 \times n^{\circ}PZon4) + (Hden. Zon5 \times n^{\circ}PZon5)\}}{\text{Total de Pontos da Classe Hipsométrica (115 – 122 m)}}$$

$$= \frac{[(0,329 \times 7) + (0,970 \times 1) + (0,573 \times 2) + (0,827 \times 2)]}{6}$$

$$= \frac{4,099}{6}$$

$$= 0,683 \text{ cm ou } 0,00683 \text{ m}$$

(Continua)

Média Altura Denudada da Classe 122 – 129 (1 ano) =

(Continuação)

$$\frac{\{(Hden. Zon1 \times n^{\circ}PZon1) + (Hden. Zon2 \times n^{\circ}PZon2) + (Hden. Zon3 \times n^{\circ}PZon3) + (Hden. Zon5 \times n^{\circ}PZon5) + (Hden. Zon6 \times n^{\circ}PZon6) + (Hden. Zon8 \times n^{\circ}PZon8)\}}{\text{Total de Pontos da Classe Hipsométrica (122 – 129 m)}}$$

$$= \frac{[(0,329 \times 2) + (0,700 \times 2) + (0,970 \times 5) + (0,827 \times 2) + (0,371 \times 1) + (0,034 \times 6)]}{18}$$

$$= \frac{9,137}{18}$$

$$= 0,507 \text{ cm ou } 0,00507 \text{ m}$$

Média Altura Denudada da Classe 129 – 136 (1 ano) =

$$\frac{\{(Hden. Zon1 \times n^{\circ}PZon1) + (Hden. Zon2 \times n^{\circ}PZon2) + (Hden. Zon5 \times n^{\circ}PZon5) + (Hden. Zon6 \times n^{\circ}PZon6) + (Hden. Zon7 \times n^{\circ}PZon7) + (Hden. Zon8 \times n^{\circ}PZon8)\}}{\text{Total de Pontos da Classe Hipsométrica (129 – 136 m)}}$$

$$= \frac{[(0,329 \times 8) + (0,700 \times 9) + (0,827 \times 6) + (0,371 \times 4) + (0,278 \times 4) + (0,034 \times 2)]}{33}$$

$$= \frac{16,558}{33}$$

$$= 0,501 \text{ cm ou } 0,00501 \text{ m}$$

(Continua)

(Continuação)

$$\text{Média Altura Denudada da Classe 136 - 146 (1 ano)} = \frac{\{(Hden.Zon1 \times n^{\circ}PZon1) + (Hden.Zon6 \times n^{\circ}PZon6) + (Hden.Zon7 \times n^{\circ}PZon7)\}}{\text{Total de Pontos da Classe Hipsométrica (136 - 146 m)}}$$

$$= \frac{[(0,329 \times 3) + (0,371 \times 2) + (0,278 \times 3)]}{8}$$

$$= \frac{2,563}{8}$$

$$= 0,320 \text{ cm ou } 0,00320 \text{ m}$$

Onde:

Hden.Zon"n"=Altura Denudada com base no Zoneamento Denudacional

n°PZon"n"=Número de Pontos localizados na Classe hipsométrica em questão com base no Zoneamento Denudacional

Para obter a altura média da denudação da terceira classe hipsométrica (122-129 m), tem-se um total de 18 pontos localizados dentro da referida classe, sendo 2 pontos situados na área denudacional um (1), com perda de 0,329 cm anualmente; 2 pontos presentes na área denudacional dois (2), perdendo 0,7 cm ao ano; 5 pontos na área denudacional três (3), com perda de 0,970 cm ao ano; 2 pontos situados no zoneamento cinco (5), denudando 0,827 cm ao ano; um ponto localizado no zoneamento seis (6), perdendo 0,371 cm ao ano e 6 pontos situados na zona denudacional 8, com perda anual de 0,034 cm, totalizando 18 pontos utilizados na interpolação do MDE, que estão localizados na classe hipsométrica 3. Conforme cálculo no quadro 9 - Média Altura Denudada da Classe 122-129 m, tem-se os procedimentos para se adquirir a altura média denudada da classe 122-129 metros para a progressão de um ano.

Como a classe 122-129 m perdeu 122,75 m² de área quando comparada ao MDE atual, atribuiu-se que a altura média da denudação seja negativa, pois perdeu sedimentos. Assim, multiplicando o delta da área (122,75 m²) com a altura média denudada da classe 122-129 (-0,00507 m), temos que o volume perdido dessa classe hipsométrica foi de 0,62m³.

Se tratando da quarta classe hipsométrica (129-136 m), totalizam-se 33 pontos localizados na classe com a mencionada altitude, distribuídos nos seguintes zoneamentos: 8 pontos localizados na região denudacional um (1), com perda de 0,329 cm ao ano; 9 pontos localizados na área denudacional dois (2), com sedimentação anual de 0,7 cm; 6 pontos situados na zona cinco (5), com perda de 0,827 cm ao ano; 4 pontos estão presentes na área de denudação seis (6), com 0,371 cm de perda anual; 4 pontos na região denudacional sete (7), com perda de 0,278 cm ao ano e 2 pontos localizados na zona denudacional oito (8), perdendo 0,034 cm anualmente. No quadro 9 - Média Altura Denudada da Classe 129-136, multiplicando a quantidade de pontos pela altura denudada pelo zoneamento, dividindo pelo total de pontos, tem-se que a altura média da denudação da classe hipsométrica 129-136 metros é de 0,00501 m.

Quando comparado a diferença de área do MDE atual para a progressão de um ano, visualiza-se que a quarta classe hipsométrica perde 2.202,75 m² de área, perdendo um volume de 11,04 m³, quando multiplicado a área perdida com a altura média da denudação. Destaca-se que, quando a classe perde área na comparação, a altura média denudada é negativa e, ao passo que ganha área, a altura média é positiva, visto que ganha volume de outras classes.

Por fim, a quinta classe hipsométrica (136-146) possui um total de 8 pontos utilizados na interpolação do MDE. Desta totalidade, 3 pontos estão situados na área denudacional um (1), com perda de 0,329 cm ao ano; 2 pontos estão localizados na área seis (6), perdendo

0,371 cm anualmente e outros 3 pontos estão presentes na região denudacional sete (7), com perda estimada em 0,278 cm ao ano. Ao multiplicar a quantidade de pontos pela denudação de cada uma das áreas, dividida pelo total de pontos situados dentro da classe hipsométrica, tem-se que a altura medida da denudação da classe 136-146 metros é 0,00320 metros, conforme ilustrado no quadro 9 - Média Altura Denudada da Classe 136-146.

Ao relacionar a área da classe 136-146 metros, percebe-se que a mesma ganha 2.259,75 m² de área na progressão de um ano, quando comparado com o MDE atual, ganhando 7,23 m³ de volume, sedimentado de áreas mais elevadas do entorno da área de estudo, utilizadas na interpolação do MDE.

Por fim os modelos digitais de elevação foram transformados para vetor, a fim de calcular a área e perímetro de cada uma das classes onde finalizou-se o mapa no compositor de impressão e utilizou-se as imagens para gerar o vídeo no software de edição de vídeos *Movie Studio Platinum 15.0*.

4.2.4 Construção do mapa de recuo da encosta Itagiba

Para a confecção do mapa de recuo da encosta Itagiba, utilizou-se o algoritmo “r.sim.sediment”, que permite inserir a média dos pontos representativos para as duas porções. A porção oeste representada pela média da altura dos sedimentos erodidos (ensaio de Inderbitzen) dos pontos (P1, P6, P7 e P8) e a porção leste representada pela média da altura dos sedimentos erodidos (ensaio de Inderbitzen) dos pontos (P2, P3, P4 e P5) utilizando, portanto o método de amostragem SIMWE (Ferramenta do GRASS no QGIS). Com base no MDE atual e a progressão denudacional de cada uma das áreas do zoneamento, foi possível gerar uma linha de comportamento da encosta em 1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 75 anos, 100 anos e 1000 anos. Com uma imagem atual do Google Earth, através do complemento “Quick Map Service”, organizou-se o mapa com a linha de recuo da encosta Itagiba (linhas, referenciadas em SIRGAS 2000/UTM 22 S, finalizando-os no compositor de impressão do QGIS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO SUPERFICIAL

5.1.1 Análises Granulométricas

5.1.1.1 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Oeste da Encosta Itagiba - Ponto 1

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 1 (P1) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Granulometria do Ponto 1.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 0,60 | 0,60 | 72,32 | 14,60 | 13,09 |
| | 0,50 mm | 5,44 | 6,04 | | | |
| | 0,250 mm | 31,91 | 37,95 | | | |
| | 0,125 mm | 24,80 | 62,76 | | | |
| | 0,062 mm | 9,57 | 72,32 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 4,42 | 76,74 | | | |
| | 0,016mm | 5,16 | 81,90 | | | |
| | 0,008mm | 2,71 | 84,61 | | | |
| | 0,004mm | 2,32 | 86,92 | | | |
| Argila | 0,002mm | 1,65 | 88,57 | | | |
| | 0,001mm | 1,15 | 89,72 | | | |
| | 0,0005mm | 1,10 | 90,83 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 9,17 | 100,00 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

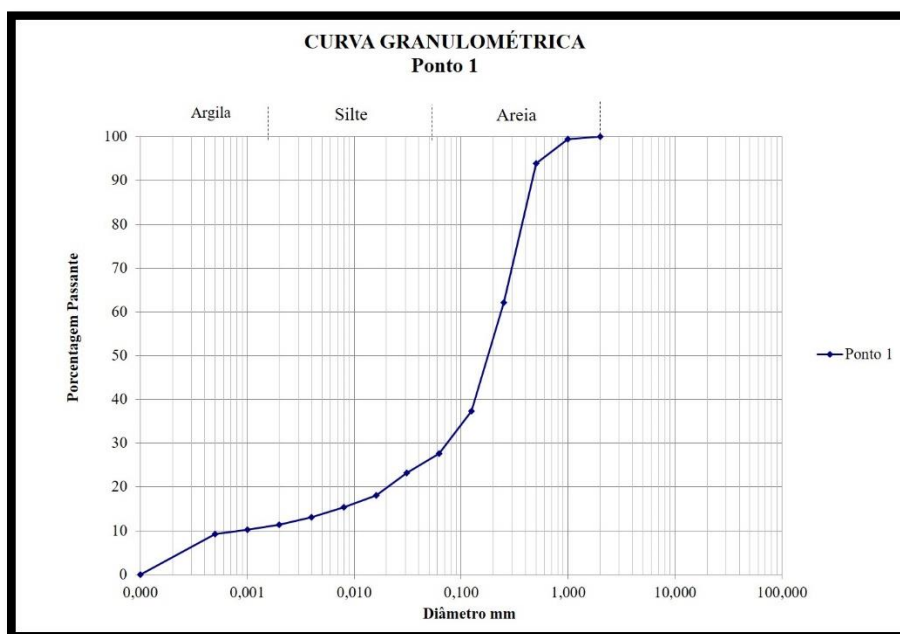
Os resultados obtidos mostram que há 72,32% da fração areia, seguido pela fração silte 14,60% e fração argila 13,09%. O solo neste ponto, segundo o triângulo textural, é denominado: areia franca.

Estes resultados permitem inferir que a resistência à erosão do solo do Ponto 1 (P1), caracterizado pelo predomínio da fração areia (materiais não coesivos), depende basicamente das forças de atrito que incluem inclusive a rugosidade da superfície das partículas, o ângulo de repouso e a inclinação da rampa (relevo) que alteram as forças gravitacionais exercendo força ou não para o desprendimento dos agregados do solo. Cabe salientar que a área (P1) foi modificada (corte topográfico para a instalação da ferrovia). Portanto, os processos erosivos

foram alterados aumentando a erosão devido o aumento da inclinação frente às frações granulométricas que compõe este solo.

Também é possível inferir que no Ponto 1 (P1) o solo superficial apresenta propriedade eletrostática. Esta propriedade física proporciona às moléculas de água e minerais - quando uma pequena quantidade de água preenche os espaços entre as partículas (poros), aumento à resistência frente à erosão. A Figura 18 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 1.

Figura 18 - Curva Granulométrica do Ponto 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Curva Granulométrica do Ponto 1 (P1) mostra que há má distribuição de partículas havendo concentração da fração areia (72%). Por meio da curva granulométrica e o percentual das frações granulométricas deste solo pode-se inferir que o solo é susceptível à erosão laminar e pode ser facilmente desagregado. Suas partículas podem ser facilmente transportadas em suspensão seguindo o fluxo superficial do mapa de unidades geotécnicas os agregados do solo desprendidos são transportados e depositados na porção sul da Encosta Itagiba (próximo à ferrovia). A análise das frações granulométricas e da curva granulométrica permite afirmar que este solo franco arenoso é permeável, leve, com baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica possuindo também alta taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente elevada perdas por percolação.

5.1.1.2 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Intermediária da Encosta Itagiba - Ponto 2

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 2 (P2) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 6:

Tabela 6 - Granulometria do Ponto 2.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 1,83 | 1,83 | 43,49 | 12,00 | 44,51 |
| | 0,50 mm | 6,91 | 8,74 | | | |
| | 0,250 mm | 15,00 | 23,74 | | | |
| | 0,125 mm | 13,23 | 36,97 | | | |
| | 0,062 mm | 6,52 | 43,49 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 2,54 | 46,03 | | | |
| | 0,016mm | 4,44 | 50,47 | | | |
| | 0,008mm | 3,01 | 53,49 | | | |
| | 0,004mm | 2,00 | 55,49 | | | |
| Argila | 0,002mm | 1,50 | 57,00 | | | |
| | 0,001mm | 1,19 | 58,18 | | | |
| | 0,0005mm | 1,55 | 59,74 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 40,26 | 100,00 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Tabela 6 mostra que há 43,49% da fração areia, seguido pela fração silte 12% e fração argila 44,51%. A textura do solo neste ponto (P2) segundo o triângulo textural é franco argilo-arenosa.

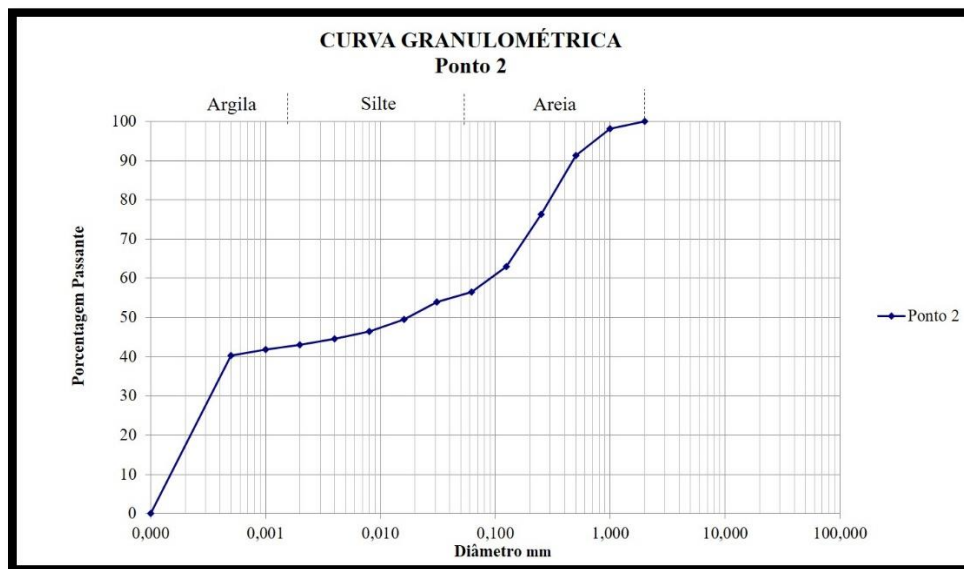
A camada de solo superficial (P2) apresenta resistência erosiva devido à capacidade de coesão - solo coesivo (teor de argila superior a 15%). Possui, portanto força de atração eletrostática entre as partículas de argila.

No entanto, a resistência erosiva deste solo (P2) por ser argiloso decresce diretamente proporcional a umidade. Isto é: quanto mais úmido estiver o solo (P2) maior o preenchimento dos poros com água o que pode condicionar solifluxão quando o solo atinge o limite de liquidez (passa a comportar-se como um fluido) e se as forças físicas não igualar a zero (declividade do terreno, pressão hidrostática lateral, fluxo de escoamento subsuperficial, resultante da força peso no plano inclinado...) ocorre movimento de massa - deslizamento.

Na área representada pelo Ponto 2 (P2) ocorre dois processos distintos: quando o solo está saturado tende a portar-se como um fluido diminuindo a resistência à erosão (limite de liquidez deste do Ponto (P2) de 43%) podendo ocorrer desde solifluxão e deslizamento como

já mencionado ou em estágios de umidade menores a formação de sulcos. No entanto, quando o solo está seco, a resistência erosiva incrementa porque existe um maior contato entre as partículas afetando desde o crescimento das plantas como o uso do solo para construção civil. As casas de alvenaria na porção central e leste da Encosta Itagiba possuem frequentes danos com rachaduras nas paredes. A Figura 19 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 2.

Figura 19 - Curva Granulométrica do Ponto 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A análise da curva granulométrica e do percentual das frações do solo no Ponto 2 (P2) permite inferir que trata-se de um “solo pesado” – solo de textura argilosa (percentual de argila acima de 35%).

O solo (P2) está no contato litológico entre a Formação Caturrita e a Formação Santa Maria – Membro Alemoa. Possui maiores características de textura de solos argilosos encontrados sobre a Formação Santa Maria com baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água.

A característica do solo (P2) que possui textura franco argilo arenosa é apresentar maior força de coesão entre as partículas (propriedade do argilo-mineral encontrado nesta Formação Litológica - esmectita 2:1) que além de dificultar a penetração, possui alta capacidade expansiva quando úmida e de contração mediante baixo teor de umidade. Quando secos são mais resistentes a erosão e facilmente compactados. No entanto quando submetidos

a condições de umidade (precipitação pluviométrica) por possuir a capacidade de expansão e contração – esmectita 2: 1, faz com que esta área representada por (P2) crie facilmente sulcos e ravinas onde o fluxo da água superficial canalizado cria incisões levando grande quantidade de material aumentando a denudação.

No entanto quando a precipitação atinge um índice crítico de saturação do solo este solo passa a comportar-se como um fluido podendo ocorrer solifluxão. Nesta área, portanto, pode apresentar deslizamentos.

5.1.1.3 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Leste da Encosta Itagiba - Ponto 3

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 3 (P3) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Granulometria do Ponto 3.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 6,69 | 6,69 | 46,18 | 10,28 | 43,54 |
| | 0,50 mm | 7,37 | 14,06 | | | |
| | 0,250 mm | 11,99 | 26,06 | | | |
| | 0,125 mm | 12,75 | 38,80 | | | |
| | 0,062 mm | 7,37 | 46,18 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 2,17 | 48,34 | | | |
| | 0,016mm | 4,10 | 52,44 | | | |
| | 0,008mm | 1,94 | 54,38 | | | |
| | 0,004mm | 2,08 | 56,46 | | | |
| Argila | 0,002mm | 1,34 | 57,80 | | | |
| | 0,001mm | 1,78 | 59,58 | | | |
| | 0,0005mm | 1,84 | 61,42 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 38,58 | 100,00 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A referida tabela mostra que há 46,18% da fração areia, 10,28% da fração silte e 43,54% da fração granulométrica argila. A textura do solo neste ponto (P3) segundo o triângulo textural é franco argilo arenosa.

A camada de solo superficial (P3) também apresenta resistência erosiva - capacidade de coerção - solo coesivo (teor de argila superior a 15%).

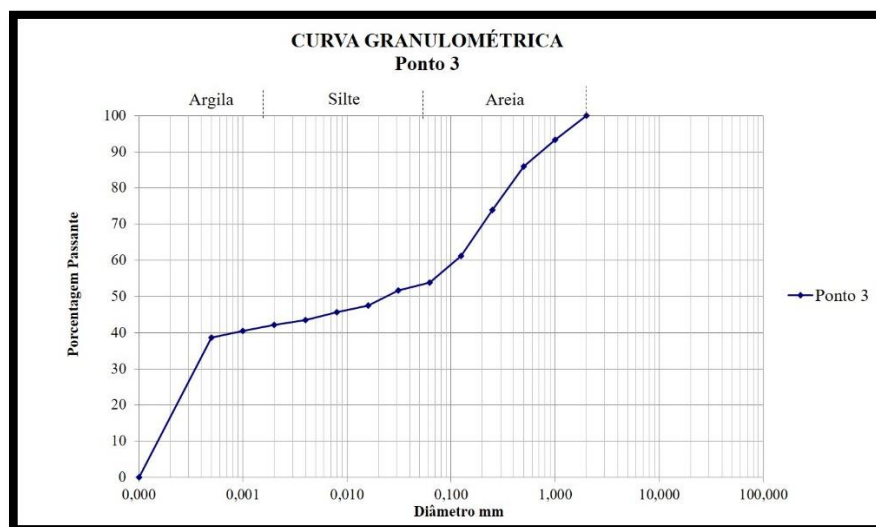
A capacidade de resistência à erosão em (P3) - Solo argiloso também decresce conforme aumenta a umidade. No entanto este solo por apresenta maior ângulo de declive na

8º soma-se à perda de material o fator declividade concomitantemente à umidade. Portanto quanto mais úmido estiver o solo (P3) maior o preenchimento dos poros com água o que pode condicionar solifluxão com mais facilidade na área representada por (P3). Este solo passa então a comportar-se como um fluido e pode deslizar antes mesmo de atingir o limite de liquidez de (P3).

A declividade do terreno, portanto, pode exercer neste ponto maior pressão hidrostática lateral - fluxo de escoamento subsuperficial (fluxo hortoniano) e subsuperficial que pode ocasionar movimento de massa – deslizamento.

Este solo também apresenta quando desprovido de umidade, resistência erosiva. Isto deve-se ao maior contato entre as partículas também. Nesta porção representada por (P3) as construções de alvenaria são bastante afetadas por rachaduras. A Figura 20 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 3.

Figura 20 - Curva Granulométrica do Ponto 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A análise da curva granulométrica e do percentual das frações do solo no Ponto 3 (P3) também permite inferir que trata-se de um solo de textura argilosa (teor de argila acima de 35%). A textura deste solo que está na porção leste da Encosta Itagiba e ao sul da área de estudo está assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa. Esta textura argilosa portanto é explicada pelas características de solos argilosos encontrados sobre a Formação Santa Maria.

Neste ponto (P3), portanto há características de solo de baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água contendo também as propriedades físico-hídricas do argilo-mineral que caracteriza a expansividade e a contração destes solos (esmectita 2:1).

A maior força de coesão entre as partículas (P3) também dificulta a penetração e quando muito saturados podem comportar-se como um fluido - estágio este posterior a criação de sulcos e ravinas podendo ocorrer solifluxão e deslizamento.

Como já mencionado a camada superficial de solo (P3) pode ser mais resistente a erosão num primeiro momento (seco). No entanto na área representada por (P3) forma-se facilmente sulcos e ravinas onde o fluxo da água superficial acaba fortalecido aumentando a incisão no solo e o arraste de partículas, a primeira camada a ser transportada são as carapaças minerais que contraíram mediante a baixa umidade do solo antes da precipitação (EMBRAPA, 2003).

5.1.1.4 *Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Leste da Vila São Rafael - Ponto 4*

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 4 (P4) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 - Granulometria do Ponto 4.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 1,94 | 1,94 | 65,32 | 20,55 | 14,13 |
| | 0,50 mm | 8,53 | 10,47 | | | |
| | 0,250 mm | 23,27 | 33,74 | | | |
| | 0,125 mm | 22,88 | 56,62 | | | |
| | 0,062 mm | 8,71 | 65,32 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 6,54 | 71,86 | | | |
| | 0,016mm | 7,71 | 79,57 | | | |
| | 0,008mm | 3,15 | 82,72 | | | |
| | 0,004mm | 3,16 | 85,87 | | | |
| Argila | 0,002mm | 2,17 | 88,05 | | | |
| | 0,001mm | 1,27 | 89,32 | | | |
| | 0,0005mm | 2,92 | 92,24 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 7,76 | 100,00 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Tabela mostra que há 65,32% da fração areia, seguido pela fração silte 20,55% e fração argila 14,13%. A camada superficial do solo em (P4) é denominado segundo o triângulo textura: franco arenosa.

A camada de solo superficial (P4) também está assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa e embora apresente teor de argila inferior a 15% possui teor de argila muito próximo a esse índice (14,13%).

O solo superficial do ponto (P4) que representa a zona (área P4) foi coletado na porção média da vertente da coxilha que drena o riacho Passo dos Weber. Apresenta característica franco arenosa possivelmente por ter sido área de um antigo capão que foi substituído por culturas agrícolas - plantação de mandioca, milho e pastagem animal. Atualmente há presença predominante de vegetação rasteira nas áreas mais afastadas do riacho Passo dos Webers sendo este solo superficial provavelmente proveniente das áreas a montante.

Observa-se que o solo torna-se cada vez mais argiloso quanto mais próximo do riacho Passo dos Webers onde aflora a Formação Santa Maria - Membro Alemoa nas margens do riacho (MARQUES, 2010).

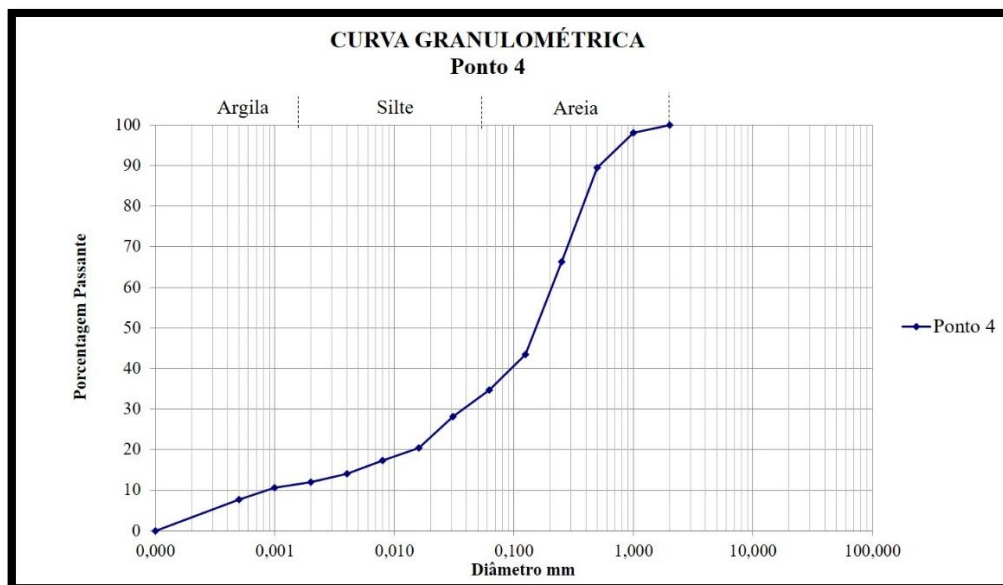
Portanto o solo em (P4) próximo ao riacho Passo dos Webers pode apresentar resistência erosiva (capacidade de coerção) e denudacional quando secos. No entanto apresentando também aumento proporcional à erosão e denudação conforme fica úmido.

A área representada por (P4) apresenta sulcos e ravinas principalmente próximo do riacho Passo dos Webers onde a cobertura vegetal foi totalmente ou parcialmente retirada.

Estas áreas próximas da passagem sobre o riacho Passo dos Webers na Rua Passo dos Webers apresentam incisões verticais características de solo argiloso da Formação Santa Maria - Membro Alemoa.

O ângulo de declive do solo (P4) é de 3 graus no entanto por estar próxima ao riacho Passo dos Webers percebe-se que a perda de material soma-se a erosão fluvial. Isto é: quanto mais próximo estiver o solo (P4) ao riacho Passo dos Webers maior o preenchimento dos poros com água o que pode condicionar solifluxão e deslizamento nas áreas representadas por (P4) principalmente com eventos extremos de precipitação. Assim o solo (P4) pode passar a comportar-se semelhante a um fluido e pode ocorrer movimentos de massa como deslizamento dependendo da declividade do terreno e das condições físico-hídricas (limite de liquidez). A Figura 21 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 4.

Figura 21 - Curva Granulométrica do Ponto 4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A análise da curva granulométrica e do percentual das frações do solo no Ponto 4 (P4) permite inferir que o solo em (P4) localizado na média vertente mais afastado do riacho Passo dos Webers - média vertente possui características de materiais não coesivos dependentes das forças de atrito: 1. Declive, 2. Rugosidade da superfície das partículas, 3. Ângulo de repouso e inclinação da rampa (relevo). Pois estes fatores podem ser mais representativos nesta porção representada por (P4) na média vertente, alterando assim forças que mantêm os agregados do solo coesos.

Nesta porção há moradias construídas sobre estes terrenos que necessitam reposição de aterros e formas de contenção de sedimentos (muros), pois os processos erosivos e denudacionais são percebidos mediante a perda de solo e são perceptíveis no decorrer do tempo.

5.1.1.5 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Intermediária da Vila São Rafael - Ponto 5

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 5 (P5) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 - Granulometria do Ponto 5.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 0,37 | 0,37 | 76,94 | 14,79 | 8,27 |
| | 0,50 mm | 4,86 | 5,22 | | | |
| | 0,250 mm | 24,33 | 29,55 | | | |
| | 0,125 mm | 33,34 | 62,89 | | | |
| | 0,062 mm | 14,05 | 76,94 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 5,83 | 82,77 | | | |
| | 0,016mm | 4,69 | 87,46 | | | |
| | 0,008mm | 1,99 | 89,44 | | | |
| | 0,004mm | 2,29 | 91,73 | | | |
| Argila | 0,002mm | 1,20 | 92,94 | | | |
| | 0,001mm | 1,44 | 94,37 | | | |
| | 0,0005mm | 2,40 | 96,77 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 3,23 | 100,00 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

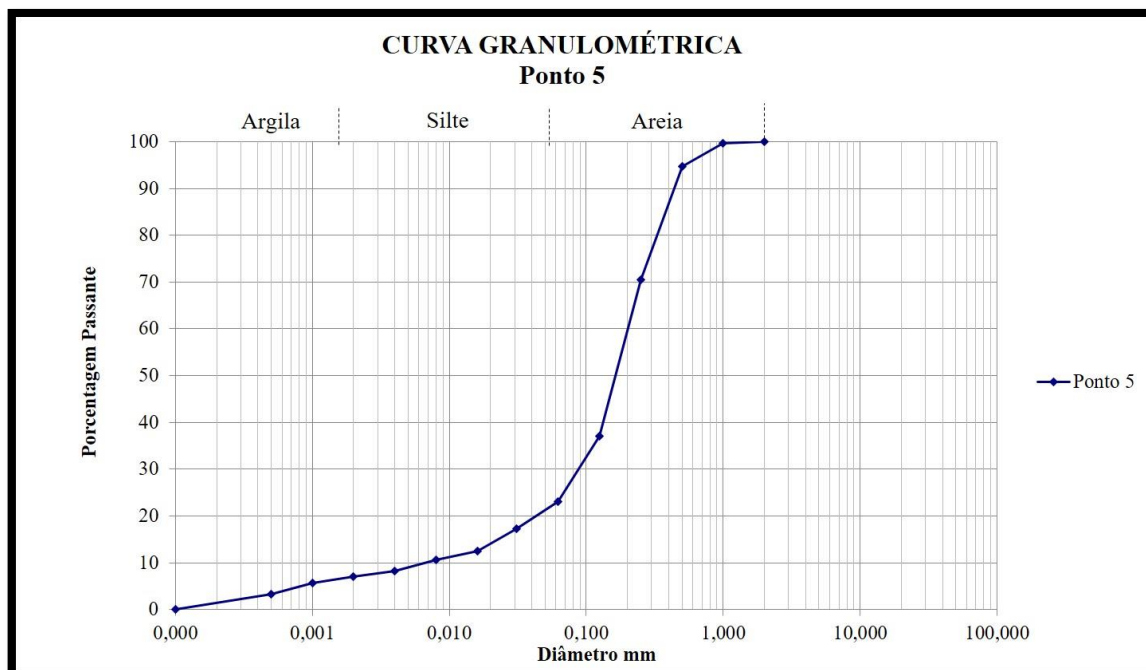
A Tabela mostra que há 76,94% da fração areia, seguido pela fração silte 14,79% e fração argila 8,27%. A camada superficial do solo neste ponto 5 (P5) segundo o triângulo textural é denominado: areia franca.

Esta camada superficial do solo (P5) apresenta características texturais que permite inferir devido ao predomínio da fração areia tratar-se também de um solo não coesivo.

Está assentado sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, no entanto, o material de origem (areia) tem provável origem também das cotas altimétricas mais elevadas que estão sobre a Formação Caturrita (colúvio).

A erosão do solo (P5) depende, portanto também das forças de atrito entre os agregados (superfície das partículas) e o declive do relevo. As partículas podem ser desprendidas facilmente e a erosão laminar pode levar facilmente as partículas em suspensão à jusante. Há a necessidade de contenção (muros), pois o solo é facilmente erodido. A Figura 22 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 5.

Figura 22 - Curva Granulométrica do Ponto 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Curva Granulométrica do Ponto 5 (P5) também demonstra má distribuição de partículas havendo concentração da fração areia (76,94%) e um percentual considerável de silte (14,79%). Já o percentual de argila na camada superficial do solo é de apenas (8,27%).

Por meio da curva granulométrica e o percentual das frações granulométricas da camada superficial do solo 5 (P5) também pode-se afirmar sua susceptibilidade à erosão laminar na qual os agregados são desprendidos e transportados em lâminas d'água e desagregados facilmente.

Também é possível afirmar por meio da análise das frações granulométricas e da curva granulométrica que o solo e a área representativa deste ponto 5 (P5) é também: permeável, leve, com baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica possuindo também alta taxa de infiltração de água no solo e também elevadas perdas por percolação.

5.1.1.6 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Oeste da Vila São Rafael - Ponto 6

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 6 (P6) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 - Granulometria do Ponto 6.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 0,93 | 0,93 | 79,77 | 11,62 | 8,61 |
| | 0,50 mm | 9,28 | 10,21 | | | |
| | 0,250 mm | 29,46 | 39,67 | | | |
| | 0,125 mm | 27,63 | 67,31 | | | |
| | 0,062 mm | 12,46 | 79,77 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 4,82 | 84,58 | | | |
| | 0,016mm | 3,51 | 88,09 | | | |
| | 0,008mm | 2,09 | 90,18 | | | |
| | 0,004mm | 1,21 | 91,39 | | | |
| Argila | 0,002mm | 2,11 | 93,51 | | | |
| | 0,001mm | 0,94 | 94,45 | | | |
| | 0,0005mm | 1,43 | 95,88 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 4,12 | 100,00 | | | |

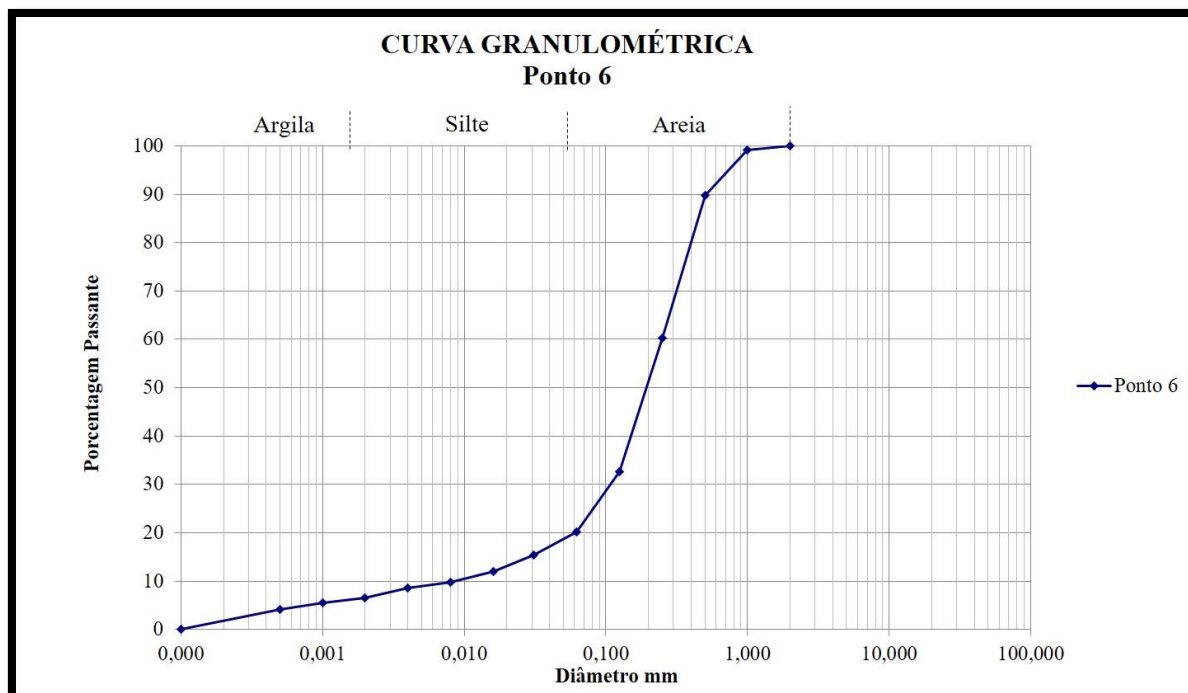
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os resultados da tabela mostram que há 79,77% da fração areia, seguido pela fração silte 11,626% e 8,61% de fração argila. A camada superficial do solo (P6) é classificada segundo a textura como: areia franca.

Este solo (P6) também apresenta como principal característica textural a não coesão. Onde o predomínio da fração areia condicionam à erosão e denudação a dependência também das forças de atrito entre as partículas. Na área representada por (P6) a erosão e a denudação estará fortemente relacionada portanto a rugosidade da superfície das partículas, o ângulo de repouso e a inclinação do relevo. Pois estes fatores representam ser mais relevantes por alterar as forças gravitacionais despreendendo ou não os agregados do solo.

Esta área está assentada sobre a Formação Caturrita e é a área mais plana e de maiores cotas altimétricas da Vila São Rafael. Possivelmente é desta área que os materiais (agregados do solo erodido foram transportados à pontos a jusante ao longo do tempo compondo a camada superior do solo que está sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa nas áreas de deposições. A Figura 23 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 6.

Figura 23 - Curva Granulométrica do Ponto 6.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Curva Granulométrica do Ponto 6 (P6) também revela uma má distribuição de partículas ocorrendo também concentração da fração areia (79,77%). Os resultados apresentados na curva granulométrica e o percentual das frações granulométricas da camada superficial do solo (P6) mostram que o solo também é susceptível à erosão laminar, podendo também ser facilmente desagregado.

Os agregados do solo (P6) estão concentrados na fração areia que pode ser facilmente transportado (erosividade da chuva). A análise das frações granulométricas e da curva granulométrica também permite afirmar que esta camada de solo superficial que representa a área (P6) por ser franco arenoso é também permeável e possui pouca capacidade de retenção d'água. Também apresenta alta taxa de infiltração de água no solo e perdas de sedimentos por percolação.

5.1.1.7 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Noroeste da Vila São Rafael - Ponto 7

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 7 (P7) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Granulometria do Ponto 7.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 0,34 | 0,34 | 63,66 | 21,58 | 14,76 |
| | 0,50 mm | 2,74 | 3,08 | | | |
| | 0,250 mm | 14,53 | 17,61 | | | |
| | 0,125 mm | 31,65 | 49,26 | | | |
| | 0,062 mm | 14,39 | 63,66 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 7,69 | 71,30 | | | |
| | 0,016mm | 7,34 | 78,64 | | | |
| | 0,008mm | 3,68 | 82,32 | | | |
| | 0,004mm | 2,92 | 85,24 | | | |
| Argila | 0,002mm | 2,79 | 88,02 | | | |
| | 0,001mm | 1,64 | 89,66 | | | |
| | 0,0005mm | 2,26 | 91,92 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 8,08 | 100,00 | | | |

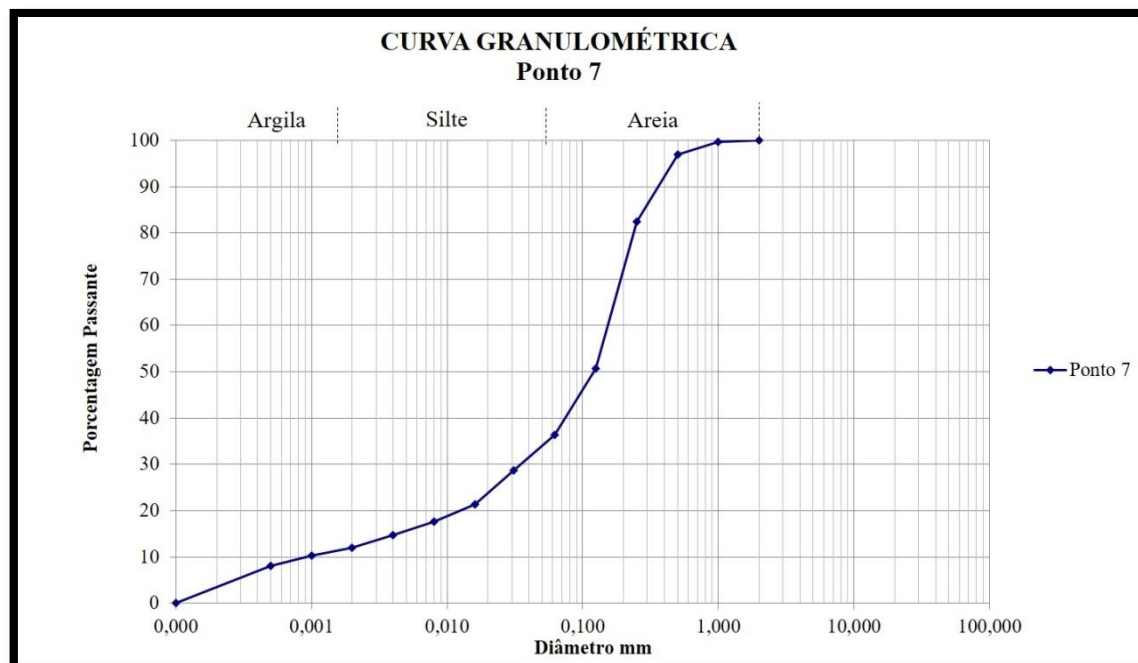
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os resultados apresentados na Tabela 12 mostram que há 63,66% da fração areia, seguido pela fração silte 21,58% e fração argila 14,76%. As características texturais (percentual das frações granulométricas) da camada superficial do solo no Ponto 7 (P7) permite classifica-lo no triângulo textural como: franco arenosa.

A camada superficial do solo no Ponto 7 (P7) é muito semelhante as características do solo em (P6) pois está assentada sobre o topo de coxilha que encontra-se sobre a Formação Caturrita apresentando também como principal característica textural pouca de coesão.

Portanto na área representada pelo Ponto 7 (P7) a erosão e a denudação estará também relacionada a rugosidade da superfície das partículas, o ângulo de repouso e a inclinação do relevo. E a camada superficial do solo é também é facilmente removida pelos processos erosivos - erosividade da chuva. A Figura 24 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 7.

Figura 24 - Curva Granulométrica do Ponto 7.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os resultados obtidos no gráfico que representa a Curva Granulométrica do Ponto 7 (P7) mostra má distribuição de partículas também. Apresenta concentração da fração areia (63,66%). Os resultados obtidos - camada superficial do solo no Ponto 7 (P7) mostram portanto que este solo é também é susceptível à erosão laminar, podendo também ser facilmente desagregado dependendo da declividade e forças que mantém as partículas agrupadas. Isto também ocorre devido ao solo do Ponto 7 (P7) possuir concentração de fração areia inconsolidada que pode ser facilmente transportado (erosividade). A análise das frações granulométricas e da curva granulométrica também permite afirmar que esta camada de solo superficial é permeável, possui baixa capacidade de retenção d'água e alta taxa de infiltração.

5.1.1.8 Análise Granulométrica de uma Amostra de Solo Superficial na Porção Nordeste da Vila São Rafael - Ponto 8

Os resultados da amostra superficial de solo do Ponto 8 (P8) mostram a distribuição das frações granulométricas: areia, silte e argila de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 - Granulometria do Ponto 8.

| RESULTADOS | FRAÇÕES | SIMPLES | ACUMULADA | AREIA | SILTE | ARGILA |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| Areia | 1 mm | 0,08 | 0,08 | 69,16 | 20,11 | 10,72 |
| | 0,50 mm | 3,13 | 3,21 | | | |
| | 0,250 mm | 14,05 | 17,27 | | | |
| | 0,125 mm | 33,71 | 50,98 | | | |
| | 0,062 mm | 18,18 | 69,16 | | | |
| Silte | 0,031 mm | 7,95 | 77,11 | | | |
| | 0,016mm | 5,33 | 82,45 | | | |
| | 0,008mm | 2,89 | 85,34 | | | |
| | 0,004mm | 3,94 | 89,28 | | | |
| Argila | 0,002mm | 2,29 | 91,57 | | | |
| | 0,001mm | 2,03 | 93,60 | | | |
| | 0,0005mm | 1,62 | 95,22 | | | |
| Coloide | <0,0005mm | 4,78 | 100,00 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

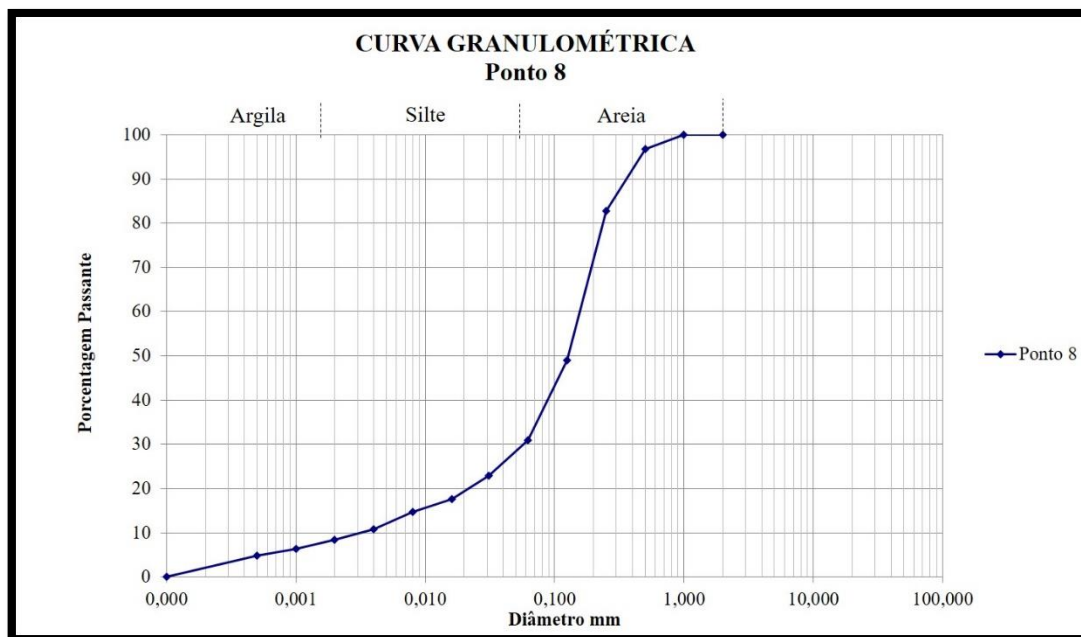
Os resultados obtidos na análise granulométrica de acordo com a tabela 12 mostram que 69, 16% dos sedimentos estão inclusos na fração areia, seguido pela fração silte 20,11% e fração argila 10,72%. A camada de solo superficial apresentada no Ponto 8 (P8) segundo o triângulo textural é denominado: franco arenosa.

A área representativa do Ponto 8 (P8) está na transição litológica: Formação Caturrita e Formação Santa Maria - Membro Alemoa. No entanto apresenta maiores características de materiais inconsolidado (depositados por processos erosivos) que representam ser melhor caracterizado por sedimentos advindos da Formação Caturrita (porção de maiores cotas altimétricas da coxilha representada pelo Ponto 7 (P7), material denominado de colúvio.

As características texturais do solo superficial do Ponto 7 (P7) é marcada pela presença preponderante de areia (próximo à 70%) com presença marcante de Silte (mais de 20%) na qual a conformação do relevo demonstra-se exatamente no Ponto 8 (P8) formas erosivas onde a água percola as camadas superficiais do solo e passa escoar horizontalmente no horizonte eluvial logo abaixo da superfície.

Esta porção do terreno é friável e portanto esses sedimentos são facilmente removíveis dependendo da angulação do terreno e das forças físicas que atuam na mecânica de solos. A Figura 25 mostra a Curva Granulométrica do Ponto 8.

Figura 25 - Curva Granulométrica do Ponto 8.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

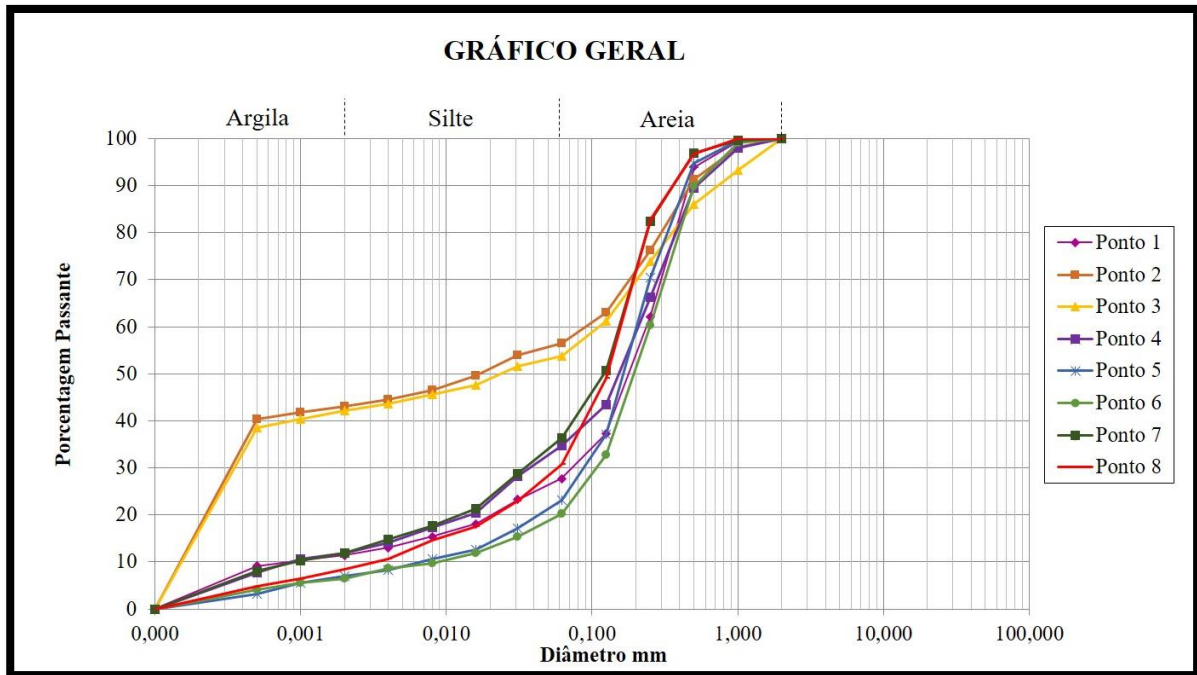
Os resultados obtidos no gráfico que representa a Curva Granulométrica do Ponto 8 (P8) também mostram má distribuição de partículas. Solo leve, friável e consideravelmente lixiviado (apresentando mais de 20% de silte). Apresenta concentração da fração areia (63,66%).

Os resultados obtidos – camada superficial do solo no Ponto 8 (P8) mostram que a camada superficial deste solo pode ser susceptível à erosividade da chuva. O desprendimento de partículas e agregados do solo depende também das forças físicas nos quais fatores como a declividade e o atrito entre as partículas são relevantes. A análise das frações granulométricas e da curva granulométrica da camada superficial do solo no Ponto 8 (P8) mostram por meio da textura deste material que o solo é também: permeável, retém pouca água, e possui boa infiltrabilidade.

5.1.1.9 Gráfico Geral das Análises Granulométricas

Os resultados da amostra superficial de solo dos Pontos (P1 à P8) mostram as análises granulométricas no Gráfico Geral das Análises Granulométricas na Figura 26.

Figura 26 - Gráfico Geral das Análises Granulométricas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Neste gráfico os resultados mostram por meio da Curva Granulométrica que os Pontos 2 e 3 (P2 e P3) possuem distribuição de partículas indicando concentração de argila. Estas camadas superficiais de solo como já mencionado anteriormente possuem comportamento de solo argiloso. São os pontos que estão assentados sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa. Neste sentido os processos erosivos serão distintos dos demais.

Os demais pontos 1, 4, 5, 6, 7 e 8 possuem características de solo arenoso, portanto os processos erosivos como já explicado serão distintos dos pontos 2 e 3 (P2 e P3).

5.1.2 Limite de consistência

Os resultados obtidos para os limites de consistência e índices pedológicos para as amostras de solo superficial nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) mostram os seguintes valores no Quadro 8.

Quadro 8 - Limites de consistência e índices pedológicos

| Amostra | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fração Areia menor que 0,25 mm | 34,37 | 19,75 | 20,12 | 31,58 | 47,39 | 40,10 | 46,05 | 51,89 |
| Fração Areia maior que 0,25 mm | 37,95 | 23,74 | 26,06 | 33,74 | 29,55 | 39,67 | 17,61 | 17,27 |
| Fração Areia total | 72,32 | 43,49 | 46,18 | 65,32 | 76,94 | 79,77 | 63,66 | 69,16 |
| Fração Silte | 14,60 | 12,00 | 10,28 | 20,15 | 14,79 | 11,62 | 21,58 | 20,11 |
| Fração Argila | 13,08 | 44,51 | 43,53 | 14,13 | 8,27 | 8,61 | 14,76 | 10,72 |
| Grau de Floculação | 45,12 | 57,74 | 52,99 | 49,48 | 63,62 | 54,87 | 56,88 | 50,41 |
| Matéria Orgânica | 0,86 | 2,02 | 2,33 | 2,02 | 1,26 | 1,52 | 2,09 | 1,60 |
| Limite de Liquidez | 15% | 53% | 53% | 25% | 13% | 12% | 19% | 17% |
| Limite de Plasticidade | NP | 21,7 | 25,6 | NP | NP | NP | NP | NP |
| Limite de Contração | 15 | 19 | 18 | 17 | 13 | 12 | 19 | 17 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

| | |
|--|--------------------------------------|
| | Formação Caturrita |
| | Formação Santa Maria – Membro Alemoa |

Os resultados obtidos no ensaio revelam que as amostras que possuem maiores índices do Limite de liquidez são os pontos (P2 e P3) ambos localizados sobre a Formação Santa Maria -Membro Alemoa. Obteve-se o valor de 15,6 % para o Limite de Liquidez na amostra retirada do Ponto 1 (P1). Este é, portanto o teor em água acima do qual o solo pode comportar-se como um fluido caso os somatórios das forças físicas deixem de ser nula (havendo inclinação ou ruptura das forças eletromagnéticas de coesão do solo devido a pressão hidrostática lateral. É considerado baixo e, portanto a área representada pelo Ponto 1 (P1) é bastante susceptível a erosão e denudação pois o solo passa facilmente a comportar-se como um fluido sem resistência ao cisalhamento. Nos pontos 2 (P2) e 3 (P3), obteve-se o valor de 53 % para o Limite de Liquidez o que significa que a camada superficial do solo necessita de maior quantidade de água para comportar-se como fluido. Já para o ponto 4 (P4) o valor de 25 %, ponto 5 (P5) o valor de 13 %, ponto 6 (P6) o valor de 12 % para o Limite de Liquidez na amostra retirada do Ponto 6 (P6), para o ponto 7 (P7) chegou-se ao valor de 19 % e para o ponto 8 (P8) obteve-se o valor de 17 %.

5.2 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.

5.2.1 Mapa Base

O resultado do mapa base da Vila São Rafael (Figura 27) mostra que a área de estudo é cortada pela Avenida Borges de Medeiros a Oeste, Rua Passo dos Weber a Sul (margeando a Encosta Itagiba) até o limite leste, Rua Juscelino Kubitschek no sentido Leste-Oeste cortada pela Rua Alcides Pereira dos Santos que é também atravessada pela Rua 3, Rua 4, Rua 5, Rua 6 e Rua 7 e uma ruela sem nome na porção extrema ao norte.

A área de estudo é cortada pelo riacho Passo dos Webers na porção norte da Vila São Rafael. Este riacho é perene. O mapa base da Vila São Rafael além de conter informações topográficas importantes do terreno: hidrografia, sistema viário (rodovias e ferrovia), residências também possui características hipsométricas importantes que por meio das curvas de níveis nos ajuda interpretar o relevo e analisar principalmente as áreas onde há declives e cotas altimétricas consideráveis. Neste sentido constata-se que as áreas de maiores declividades estão localizadas na porção sul da Vila São Rafael - Encosta Itagiba. Havendo nesta área elementos pontuais (residências), ruas e quadras e a ferrovia que delimita a porção sul da área de estudo.

Assim, constata-se que na Vila São Rafael as áreas mais íngremes localizam-se na porção Sul da área de estudo (Encosta Itagiba) onde as curvas de níveis demonstram haver elevações aproximadamente de 20 metros (curvas de níveis variando de 110m a 130m) na Encosta Itagiba.

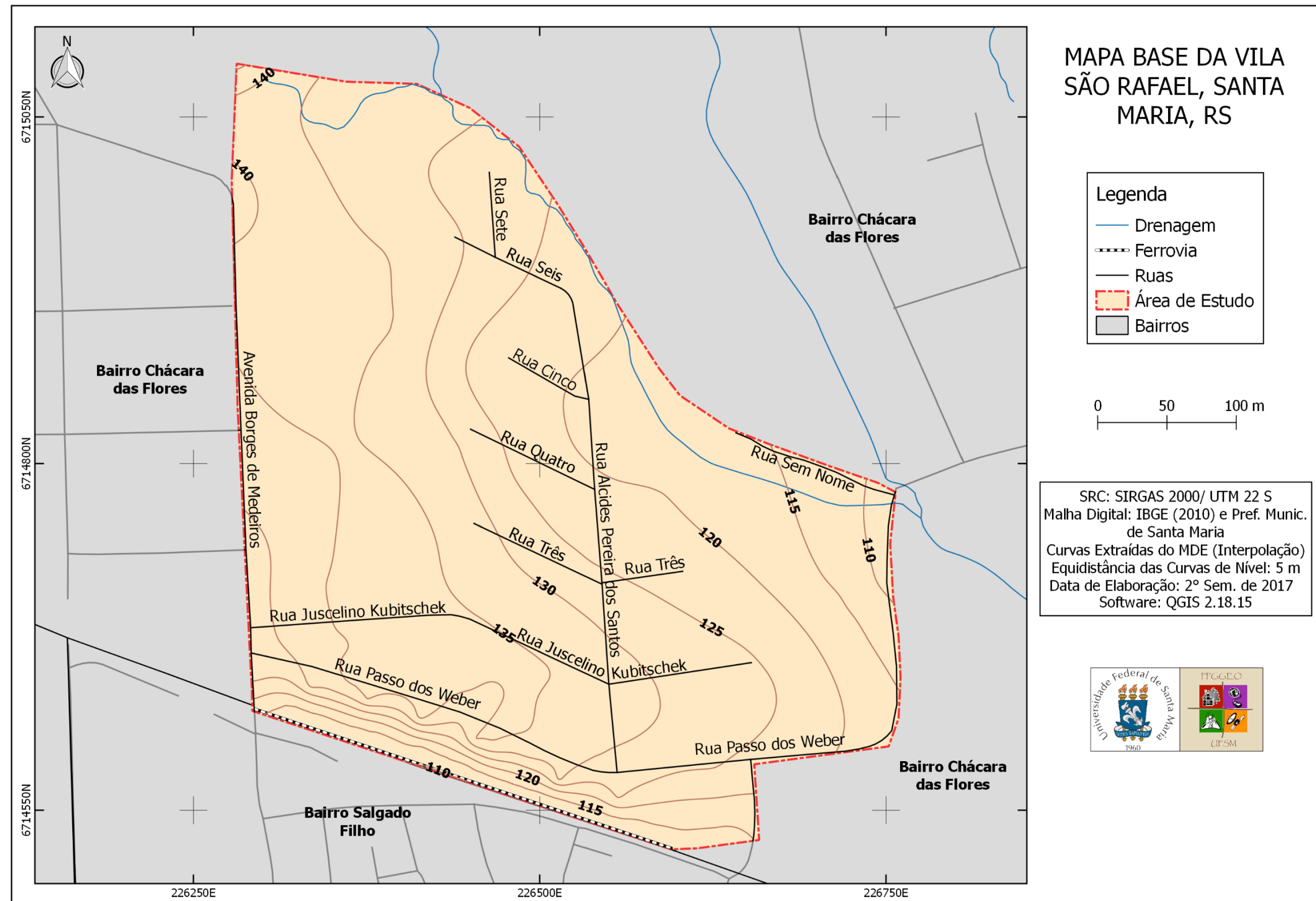
Evidencia-se no mapa também que as curvas de níveis são mais próximas na porção oeste da Encosta Itagiba e mais distantes na porção leste da Encosta Itagiba, demonstrando que as áreas mais íngremes da Vila São Rafaela estão situadas na porção oeste da Encosta Itagiba e a segunda área mais íngreme da área de estudo está situada na porção leste da Encosta Itagiba.

O relevo mais íngreme está assentado sobre a Formação Caturrita (Porção Oeste da Encosta Itagiba que fica ao Sul da área de estudo) e o segundo relevo que apresenta maior declive está assentado sobre a Formação Litológica Santa Maria – Membro Alemoa (porção leste da Encosta Itagiba que encontra-se ao sul da área de estudo).

O relevo mais plano está assentado na porção oeste da Vila São Rafael sobre a Formação Caturrita. A exceção está no Corte Topográfico onde está instalado a Ferrovia – Corte que deu origem a Encosta Itagiba. À leste da Vila São Rafael, sobre a Formação Santa

Maria – Membro Alemoa, o espaço entre as curvas de nível mostram que o relevo é menos plano mas de forma gradativa e não abrupta como na porção a leste sobre a Encosta Itagiba que fica na porção sul da área de estudo, conforme demonstra a Figura 27.

Figura 27 - Mapa base da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.2.2 Mapa Hipsométrico

Os resultados observados no Mapa Hipsométrico na área de estudo proporcionaram classificar em 5 (cinco) classes altimétricas denominadas feições. Estas feições no mapa mostram em tons de verde as áreas com altitudes mais baixas, seguidas de amarelo, vermelho e marrom, conforme sugerido por Loch (2006) as áreas mais elevadas. Cabe salientar que o número de classes do mapa hipsométrico da Vila São Rafael foi construído seguindo as convenções definidas por Libault (1975) e Martinelli (2003) e por isso a escolha de cinco classes ficando no intervalo de 3 a 7 classes melhor representativa. O mapa hipsométrico da Vila São Rafael apresenta as seguintes características (Altitude, Área, Percentual da Área e Perímetro) conforme mostra o Quadro 9.

Quadro 9 - Quantificação das classes hipsométricas da área de estudo.

| Quantificação das classes do Mapa Hipsométrico | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|------------------|----------------------|
| Feição | Altitude | Área (m²) | % de Área | Perímetro (m) |
| 1 | 108-115 | 11.384,25 | 6,31 | 1.471 |
| 2 | 115-122 | 37.566,00 | 20,81 | 2.316 |
| 3 | 122-129 | 42.118,75 | 23,33 | 2.701 |
| 4 | 129-136 | 66.873,25 | 37,04 | 2.526 |
| 5 | 136-146 | 22.613,25 | 12,52 | 1.206 |
| Total | - | 180.555,50 | 100,00 | 10.220 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

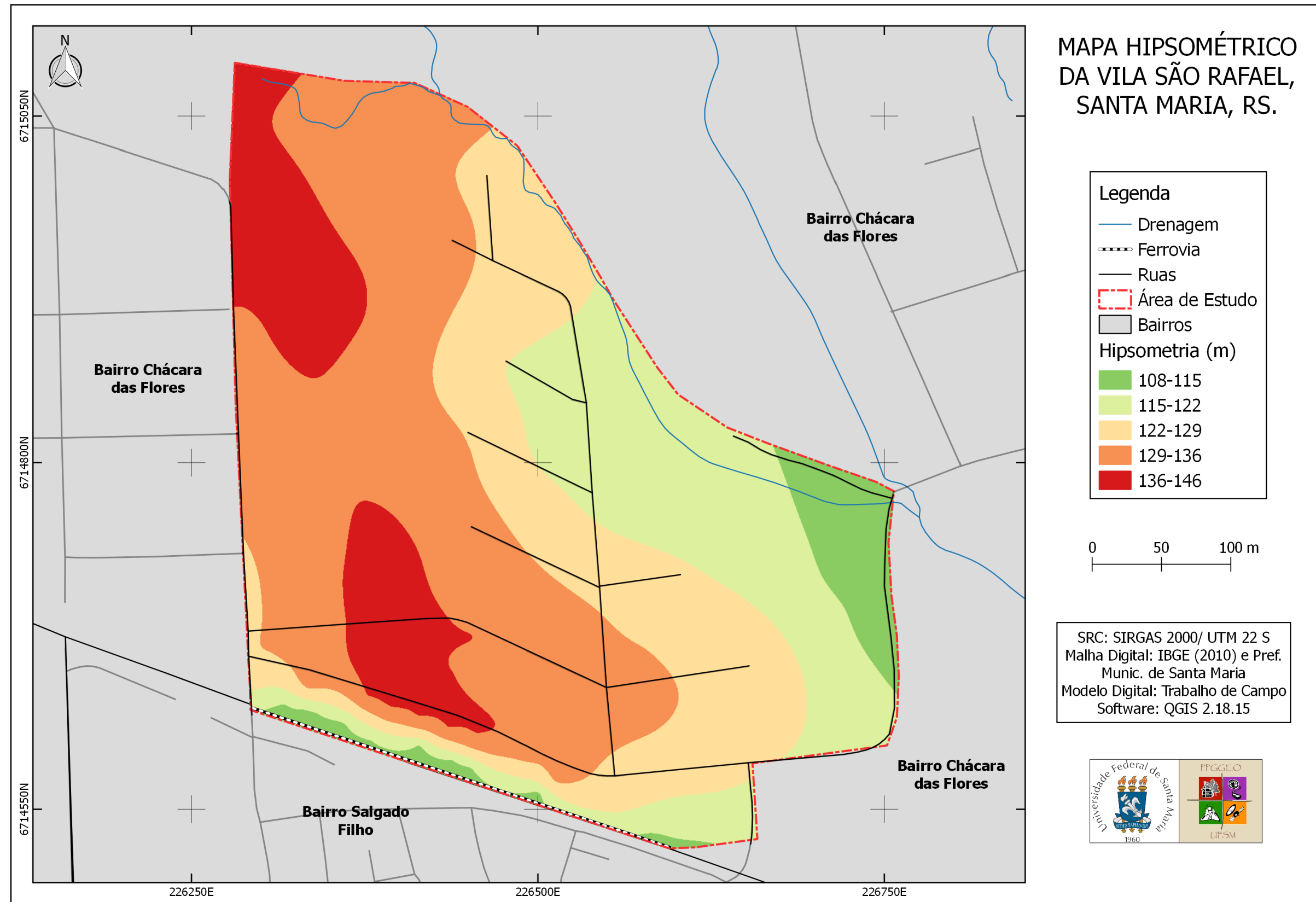
O mapa hipsométrico (figura 30) mostra que na Vila São Rafael predomina áreas entre 129 m-136 m situados na porção central da Vila São Rafael (Feição 3 e 4) e áreas de maiores altitudes, que representam 12,52%, na área de estudo. Sabe-se que estas áreas estão assentadas sobre a Formação Caturrita (Mapa Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial).

Os resultados mostram também que existe proximidade entre os tons (cores) que variam de verde escuro ao vermelho (108 m a 146 m) na porção sul da Vila São Rafael o que demonstra por meio da hipsometria a amplitude da Encosta Itagiba, pois há variação abrupta da hipsometria.

Face ao mapa hipsométrico é possível determinar que a área de maior variação hipsométrica é a Encosta Itagiba e a área de menor hipsometria assenta-se na rede férrea e na parte leste da Vila São Rafael onde é cortada pelo riacho sem nome (Prefeitura Municipal de

Santa Maria) mas popularmente chamado no local de riacho Passo dos Weber. Esta área portanto está assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa como mostra a Figura 28.

Figura 28 - Hipsometria da área de estudo.



5.2.3 Mapa dos Perfis Topográficos

Já os resultados obtidos com os perfis topográficos, mostram a conformação do terreno (Figura 29). O perfil topográfico A-B orientado na direção horizontal no mapa e sentido oeste-leste na porção sul da Vila São Rafael mostra áreas de maiores cotas altimétricas que, a Rua Itagiba, próximo a ponte da Vila Vitória (Avenida Borges de Medeiros) possui um aclive até o topo da Formação Caturrita na porção central da Encosta Itagiba, declinando exatamente a partir do contato litológico entre a Formação Caturrita e a Formação Santa Maria - Membro Alemoa onde a Encosta Itagiba encontra-se assentada sobre essa litologia. Esse perfil também demonstra alterações nas elevações que podem estar associados ao intenso processo erosivo e denudacional provocado pela alteração na topografia pós corte topográfico para a instalação da ferrovia, pois a sinuosidade próxima da encosta são áreas onde o modelo digital computadorizado utilizado para elaboração do mapa hipsométrico que auxiliou a construção dos perfis topográficos indicam que nesta área houve modificações consideráveis na topografia.

O perfil topográfico C-D -orientado também na direção horizontal no mapa e sentido Oeste-Leste na porção central da Vila São Rafael segue de forma semelhante o perfil A-B, no entanto, não revela as mesmas alterações sinuosas indicando que os processos erosivos e denudacionais nesta área por estar mais afastada da Encosta Itagiba ainda não alteraram a conformação topográfica como a alteração ocorrida no perfil A-B (figura 31).

O perfil topográfico E-F orientado na direção horizontal no mapa e sentido oeste-leste ao norte da Vila São Rafael mostra áreas mais preservadas a oeste com declínio nas cotas altimétricas mais suaves em direção a leste. Sugere que nesta área os processos erosivos e denudacionais são menos intensos em relação a Formações Litológicas (altimetria mais preservada a oeste – Formação Caturrita e menos preservada a leste - Formação Santa Maria – Membro Alemoa) mas também sugere menor impacto provocado pela ação antrópica devido a menor densidade de ocupação urbana e distância do corte topográfico da ferrovia.

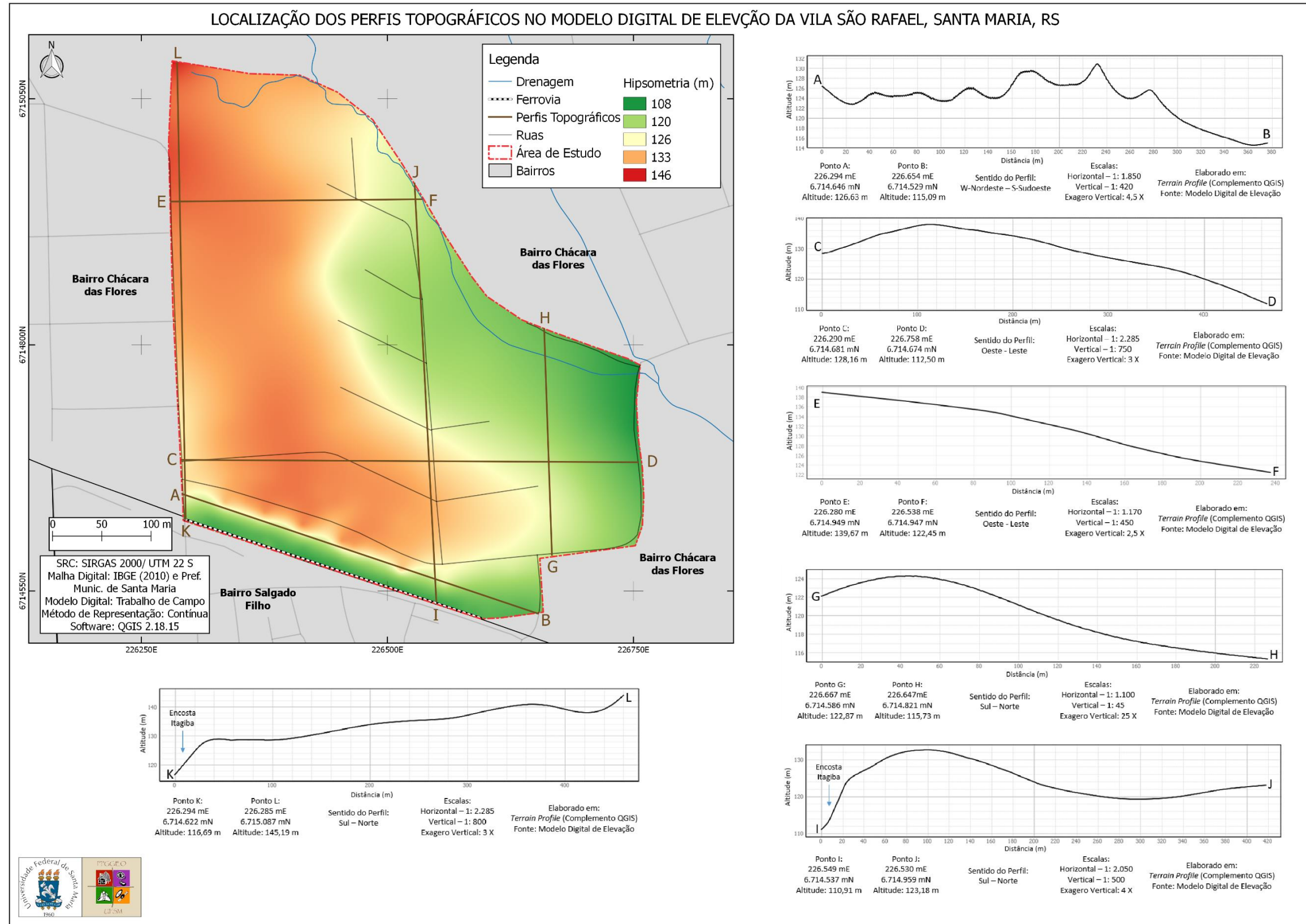
O perfil K-L orientado na direção vertical no mapa e sentido norte-sul na Vila São Rafael mostra áreas com menores cotas altimétricas, próximas a ferrovia (108 m), passando abruptamente para cotas de maiores cotas altimétricas (146 m) no terreno horizontal num intervalo de aproximadamente 10 metros. Esse perfil ainda mostra um aclive suave em direção norte. No entanto, na porção norte da Vila São Rafael o relevo demonstra uma conformação suavizada levemente ondulada crescente enquanto que na porção sul próximo a ponte da Vila Vitória (Avenida Borges de Medeiros) o relevo sofre intenso declive (varia 38

metros da linha férrea ao ponto cotado de maior elevação no perfil topográfico). Esse perfil quando comparado com o perfil I-J revela que a porção oriental da Vila São Rafael possui perfil crescente em direção norte enquanto os demais perfis verticais decrescem logo após o topo da coxilha em direção norte.

O perfil topográfico I-J está orientado na direção vertical no sentido norte-sul e mostra aclive acentuado na porção sul da Encosta Itagiba com variação de aproximadamente 25 metros entrando em declive suavizado na direção norte. É possível inferir com o cruzamento de informações que essa porção está assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa onde os processos erosivos e denudacionais são mais intensos. A comparação do perfil I-J com o perfil K-L mostra que os processos erosivos foram mais intensos sobre as áreas da Formação Santa Maria - Membro Alemoa preservando mais a porção ocidental da denudação e menos a porção oriental. Também fica evidente a mudança na conformação do relevo próximo a Encosta Itagiba pois a variação das cotas altimétricas demonstram que a denudação nessa porção (sul) também foi maior no perfil I-J.

Já o perfil G-H que está orientado na direção vertical no sentido norte-sul mostra que é a porção de menor variação variando altimétrica está assentada na porção oriental da Vila São Rafael. Varia aproximadamente 11 metros de forma suave onde a área de estudo está totalmente assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa. Essa área demonstra ser a área mais erodida e denudada até o momento onde os processos de deposição tendem a acumular sedimentos.

Figura 29 - Localização dos perfis topográficos na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.2.4 Mapa Clinográfico

O mapa clinográfico foi classificado em cinco feições. A análise do mapa clinográfico (Figura 30) mostra através Quadro 10 a quantificação das classes: área (m²), percentual (%) e os respectivos perímetros (m).

Quadro 10 - Quantificação das classes clinográficas da área de estudo.

| Quantificação das classes do Mapa Clinográfico | | | | |
|--|-------------|------------------------|-----------|---------------|
| Feição | Declividade | Área (m ²) | % de Área | Perímetro (m) |
| 1 | <5 | 30.405,25 | 16,81 | 4.072 |
| 2 | 5 a 12 | 99.858,25 | 55,22 | 6.904 |
| 3 | 12 a 30 | 40.278,75 | 22,27 | 4.309 |
| 4 | 30 a 47 | 3.484,75 | 1,93 | 1.752 |
| 5 | >47 | 6.802,25 | 3,76 | 771 |
| Total | - | 180.829,25 | 100,00 | 17.808 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

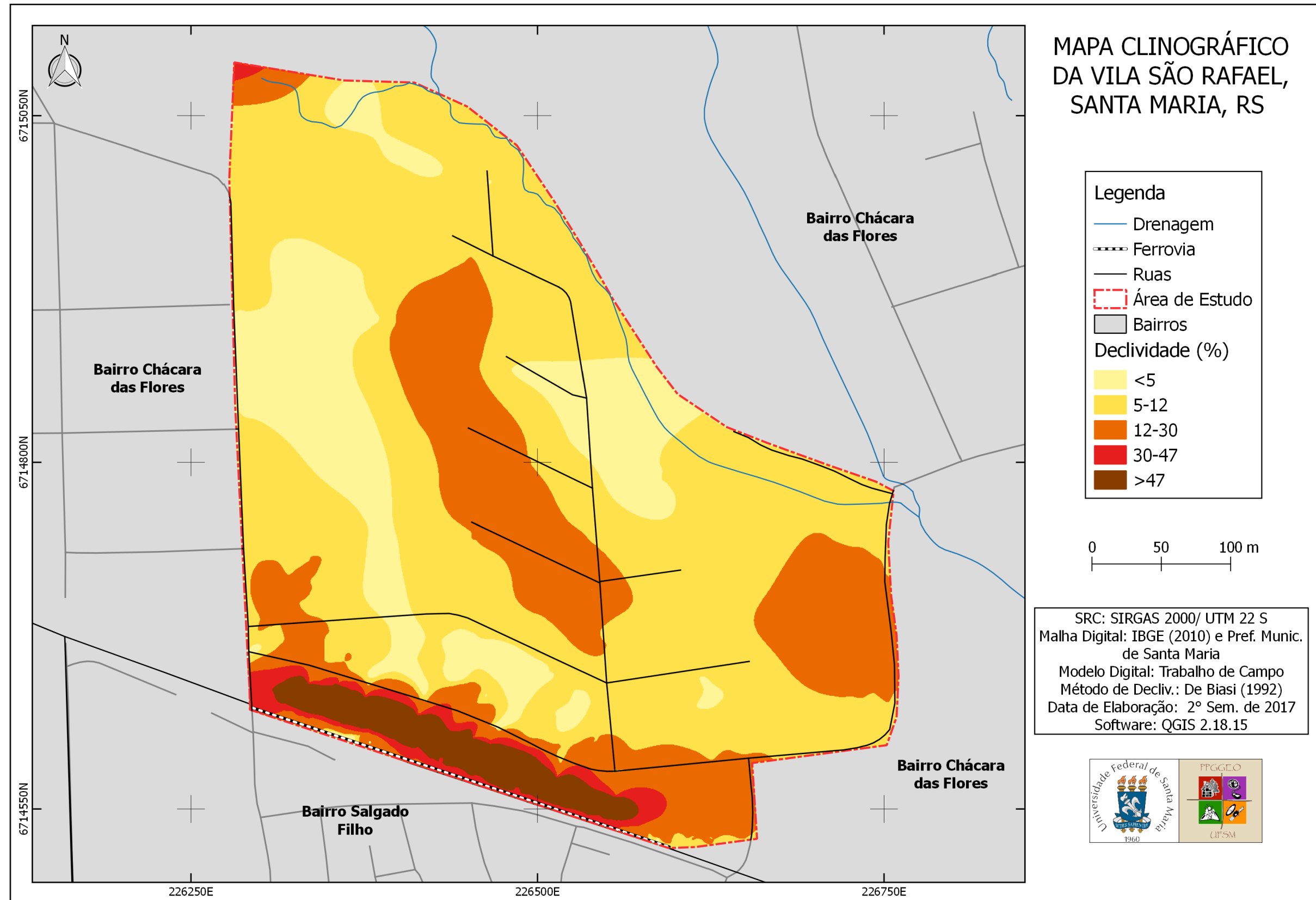
As áreas de maior declividade encontram-se na porção sul da Vila São Rafael (Encosta Itagiba) onde a feição 5 (cinco) apresenta declividade maior que 47, apresentando-se como a segunda menor porção em área (6.802,25 m²) correspondendo a 3,76% do total da área da Vila São Rafael.

Na porção sul da Vila São Rafael em direção a leste há a feição 4, com declive de 30 a 47 correspondendo a menor área (3.484,75 m²) representando 1,93% do total da área da Vila São Rafael. Nesta porção está o contato litológico (Formação Caturrita e Formação Santa Maria - Membro Alemoa) onde há mudanças na conformação topográficas passando de coxilha na porção central à parte côncava bastante denudada na porção leste.

Cercando as áreas mais declivosas na porção leste, oeste e norte estão as feições 1 e 2. A feição 2, apresenta a maior área (99.858,25 m²) com declive entre 5 a 12 representando 55,22% da área da Vila São Rafael. É a segunda feição mais plana na área de estudo.

A feição 1, apresenta a menor declividade (menor que 5) e representa a terceira área (30.405,25 m²) representando 16,81% da área de estudo. É a feição mais plana predominando sua localização sobre a Formação Caturrita. A feição 3, na porção central e leste da área de estudo, apresenta declividade entre 12 e 30, com área de 40.278,75 m², correspondendo 22,27% da área.

Figura 30 - Clinografia da área de estudo.



5.2.5 Mapa de Uso e Ocupação da Terra

Os resultados obtidos na análise do mapa de uso e ocupação da terra mostram as necessidades humanas sobre o terreno (principais usos da terra). Na Vila São Rafael foram encontrados diferentes tipos de uso da terra: florestal, campestre e urbana. Também foram delimitadas áreas de ocupação irregular e áreas desocupadas - onde a Defesa Civil e a Prefeitura Municipal de Santa Maria retiraram as moradias.

O mapa de uso e ocupação da terra na Vila São Rafael (Figura 31) foi subdividido segundo as classes: área urbana, campestre e florestal (Quadro 11) que mostra a quantificação das áreas segundo suas classes abaixo.

Quadro 11 - Quantificação das classes de uso e ocupação da terra.

| Quantificação das classes do Mapa de Uso e Ocupação da Terra | | | | |
|--|-----------------|------------------------|-----------|---------------|
| Feição | Uso da Terra | Área (m ²) | % de Área | Perímetro (m) |
| 1 | Área Urbanizada | 101.340,37 | 56,02 | 2.988,41 |
| 2 | Campestre | 42.115,94 | 23,28 | 1.858,95 |
| 3 | Florestal | 37.447,68 | 20,70 | 2.452,59 |
| Total | - | 180.903,99 | 100,00 | 7.299,95 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A área total da Vila São Rafael apresenta 180.903,99 m² e um perímetro de 7.299,95 metros.

A área urbanizada (Feição 1) representa uma área de 101.340,37 m² e um percentual de 56,02% e um perímetro de 2.988,41 metros. Ocupa a porção central da Vila São Rafael onde a declividade é menor tanto sobre a Formação Caturrita (Oeste da Vila São Rafael) como sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa (Leste da Vila São Rafael).

Já a área urbanizada irregular ocupada na porção sul da Vila São Rafael (figura 34) apresenta uma ocupação residencial sobre a porção Leste da Encosta Itagiba - onde não ocorreu a desocupação e retirada das residências pós trabalho de Marques (2010)¹³ que recomendava a desocupação de toda a Encosta Itagiba (porção leste e porção oeste).

¹³ Dissertação entregue à Prefeitura Municipal de Santa Maria, RS em 25 de agosto de 2010: MARQUES, R. D. Análise pedológica em topossequência através da relação entre precipitação e a perda de sedimentos na encosta Itagiba, zona norte de Santa Maria – RS. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. O autor explicou e entregou ao Major Adriano (Chefe da Defesa Civil) dos riscos que a população residente sobre a Encosta Itagiba estava sujeitos. O autor também

A área urbanizada irregular desocupada na porção sul da Vila São Rafael representa ex-ocupação residencial sobre a porção Oeste da Encosta Itagiba - onde ocorreu a desocupação recomendada pelo trabalho de Marques (2010). Esta área foi delimitada a fim de mostrar que Marques (2010) estava correto e se não houvesse a retirada das residências em 2014, poderia ter ocorrido acidentes, pois o recuo da Encosta Itagiba (erosão sobre a encosta Itagiba atual) mostram muitas residências demarcadas como susceptíveis a erosão e denudação. Esta área desocupada, ex-ocupação irregular, estendia-se por toda encosta, no entanto pós trabalhos realizados por Marques (2010) na qual o autor entregou uma cópia da dissertação de mestrado (2010) para a Defesa Civil de Santa Maria as residências e moradores da porção oeste (próximo a ponte da Vila Vitória) foram retirados e assentados na Vila Maringá.

Na porção leste da encosta, no entanto, as ocupações irregulares continuam. Até mesmo a casa destruída (solifluxão), em 2012 (evento extremo de precipitação daquele ano), foi reconstruída em 2015 sobre novo aterro (residência da esquina entre a Rua Alcides dos Santos com a Rua Passo dos Weber) Essa área mostra-se bastante urbanizada com famílias de baixa renda sob o risco eminente de solifluxão (processo erosivo característico da Formação Santa Maria - Membro Alemoa).

A área campestre (Feição 2) apresenta 42.115,94 m² e um perímetro de 1.858,95 metros, representando 23,28% da área de estudo. Apresenta-se em três porções da Vila São Rafael. Na porção oeste sobre a Formação Caturrita faixa que existe uma chácara na qual havia criação de gado - devido à ocorrência de abigeatos essa atividade foi transformada em plantação de culturas como: mandioca, cana e milho, mas hoje se apresenta abandonada. Na porção sul da Encosta Itagiba (do lado da Rua Passo dos Weber) onde havia a ocupação irregular que foi realocada na Vila Maringá pela Prefeitura Municipal de Santa Maria há também uma faixa campestre se regenerando entre os restos das construções que foram destruídas. Também há área campestre na porção leste da Vila São Rafael sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa onde há também 4 chácaras de famílias distintas com pouco uso do solo para a agricultura praticamente composta de “campo sujo”¹⁴.

afirmou que se houvesse uma catástrofe com morte de crianças e moradores por desmoronamento na Encosta Itagiba seria denunciado ao Ministério Público Federal e à imprensa que a Prefeitura Municipal de Santa Maria – RS, possuía uma cópia da dissertação de mestrado de Marques (2010) alertando dos riscos aos moradores. Esta pressão provavelmente resultou na retirada dos moradores (2012) uma vez que esta área nunca havia obtido a mínima atenção do poder público.

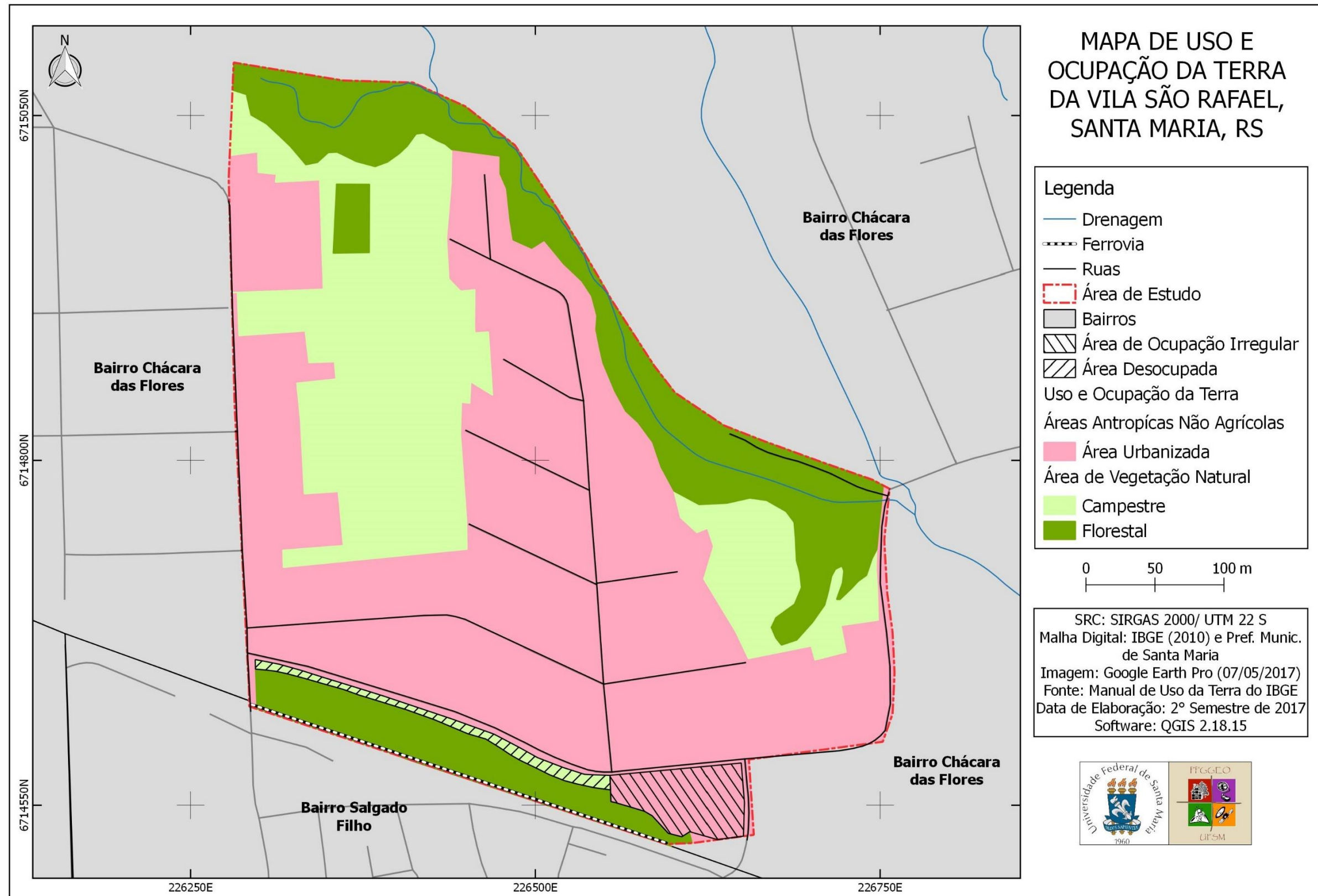
¹⁴ Classificação do IBGE (2012). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2a ed. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/vegetacao/manual_vegetacao.shtm>, o termo é usado também para uma subcategoria da vegetação dos pampas, a estepe parque.

A área florestal (Feição 3) apresenta 37.447,68 m² e um perímetro de 2.458,59 metros, representando 20,7% da área de estudo. Há apenas três áreas florestais na Vila São Rafael. A primeira é contínua e segue o riacho Passo dos Webers. Esta área é composta ainda por árvores nativas e até algumas espécies raras como jacarandás, angico-vermelho, araçá-amarelo, araticum, paineira, pitangueiras, araucárias. É um corredor de biodiversidade que apresenta animais como: jacus, cardeais, canários, sabiás, bugios, gambás. Esta área florestal dominava boa parte da Vila São Rafael e foi intensamente desmatada ficando apenas esta mata ciliar onde há presença de moradias que não são regularizadas junto ao cadastro de imóveis. É importante salientar que o esgoto das residências estão na porção onde os fluxos superficiais da água escoam para o riacho (sem nome), mas localmente chamado de riacho Passo dos Weber, sendo assim, o esgoto conduzido para o riacho fazendo com que este seja bastante poluído.

A segunda é composta por uma malha retangular na porção norte da Vila São Rafael que pertence ao dono da chácara que se estende na porção central da área de estudo. Esta área florestal não é nativa e é composta exclusivamente de eucaliptos que foram plantados para utilização de combustível vegetal (lenha).

A terceira encontra-se cobrindo a Encosta Itagiba na porção sul da Vila São Rafael e é composta por espécies de árvores secundárias (uma vez que a ferrovia cortou todas as árvores da encosta ficando o solo desnudo em 1945). Estas provavelmente foram se disseminando por sementes remanescentes no solo, sementes transportadas por aves e sementes e mudas oriundas dos moradores que residiram por mais de duas décadas sobre a faixa a Encosta Itagiba (área desocupada) como abacateiros, bananeiras, limoeiros, goiabeiras, laranjeiras. Há angicos-vermelhos, paineiras, unhas de gato, figueiras e outras espécies que foram provavelmente trazidas pelo vento ou aves. Veja a Figura 31 que mostra o mapa uso e ocupação da terra.

Figura 31 - Uso e ocupação da terra da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.2.6 Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial

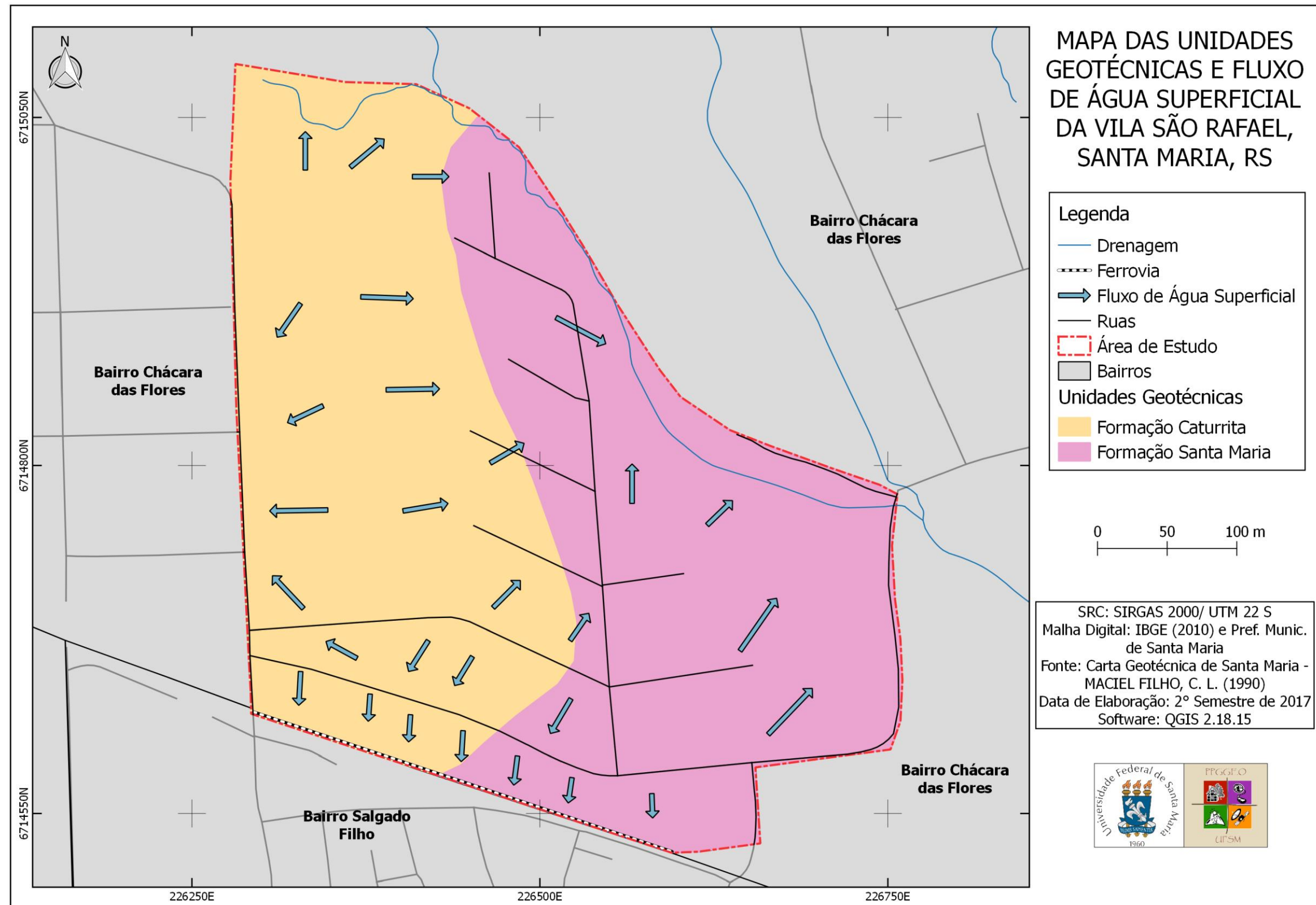
Os resultados obtidos no mapa das unidades geotécnicas e fluxo da água superficial da Vila São Rafael (figura 32) mostram o fluxo superficial das precipitações na área de estudo na qual direciona-se principalmente para: 1) leste, 2) oeste, 3) nordeste 4) sul e 5) norte.

A porção oeste da Vila São Rafael que está assentada sobre a Formação Caturrita possui as cotas altimétricas mais elevadas. É o divisor de águas (interflúvio) da bacia hidrográfica do Riacho Passo dos Webers. A água que precipita sobre essa área esco superficialmente e subsuperficialmente para a rua Borges de Medeiros (oeste), Encosta Itagiba (sul), diretamente para o Riacho Passo dos Webers (norte) e para a porção leste da área de estudo que fica sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa. Nesta última a água percola e esco no sentido da Rua Alcides Pereira dos Santos até a parte mais côncava do vale onde é drenada por tubulações públicas e direcionada para o Riacho Passo dos Webers a leste. Esta área foi aterrada na década de 90 e loteada e trata-se de um antigo banhado.

Percebe-se ainda que o fluxo superficial e subsuperficial que direciona-se ao sul (Encosta Itagiba) foi modificado pelo corte topográfico para o traçado da ferrovia alterando a velocidade de escoamento superficial e a direção da água.

A porção da Vila São Rafael que se encontra a leste é outro interflúvio que direciona suas precipitações e a água que percola infiltrando e escoando subsuperficialmente no sentido nordeste da área de estudo sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa (Figura 32, que mostra o mapa das unidades geotécnicas).

Figura 32 - Unidades geotécnicas e fluxo da água superficial da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.2.7 Mapa de Zoneamento Denudacional

O mapa de zoneamento denudacional da Vila São Rafael (figura 33) mostra área total de 180.929,38 m² e perímetro de 5782,94 m. Os resultados obtidos para todas as zonas, representadas pelos pontos de coleta (P1 a P8), mostram no Quadro 13 a área e o perímetro.

Quadro 13 - Área e perímetro do mapa de zoneamento.

| PONTO | ÁREA (m ²) | PERÍMETRO (m) |
|--------------|------------------------|---------------|
| 1 | 15.566,53 | 520,17 |
| 2 | 17.333,38 | 637,82 |
| 3 | 15.775,02 | 626,27 |
| 4 | 21.185,03 | 581,87 |
| 5 | 33.104,62 | 1.192,50 |
| 6 | 16.036,55 | 562,30 |
| 7 | 41.394,68 | 922,42 |
| 8 | 20.533,57 | 739,59 |
| TOTAL | 180.929,38 | 5782,94 |

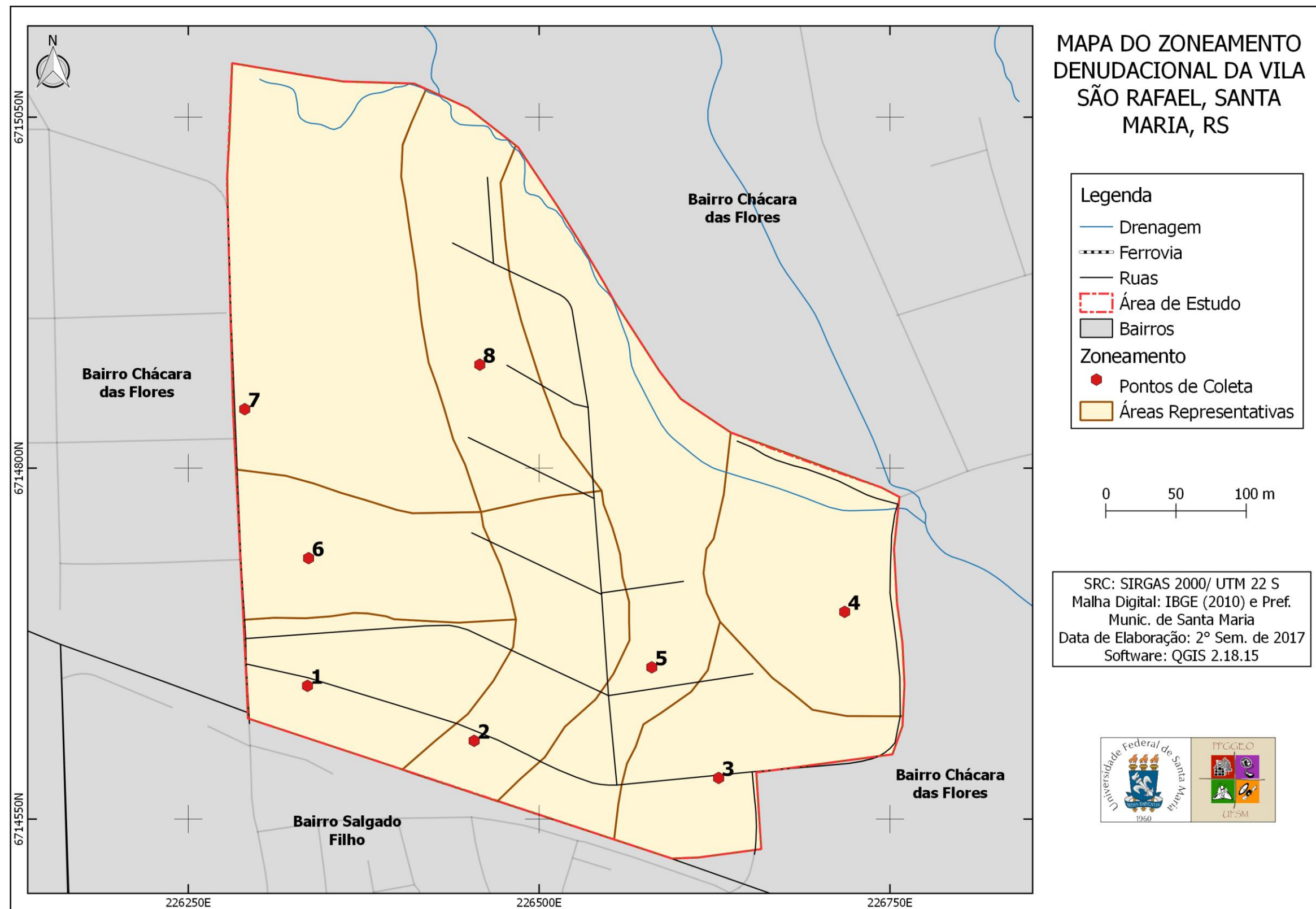
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A área de maior dimensão Ponto 7 (P7) é de 41.394,68 m² e deve-se a maior homogeneização topográfica e litológica apresentando o relevo mais plano da área de estudo. No Ponto 7 (P7) a declividade apresenta apenas 2 graus. É também a área menos dissecada (maiores cotas altimétricas).

A área de menor dimensão é a do Ponto 3 (P3) com 15.775,02 m². É também a área mais dissecada possuindo declive de 8° graus representando a maior inclinação da área de estudo.

O mapa de zoneamento denudacional abaixo mostra as áreas (zonas) representadas pelos pontos (P1 a P8). Portanto, os dados laboratoriais do ensaio de Inderbitzen efetivado sobre as amostras de solo - anéis foram extravasados para as zonas (área) de P1 a P8. Veja o mapa de zoneamento denudacional da área de estudo na Figura 33.

Figura 33 - Zoneamento denudacional da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.3 PROGRESSÃO DENUDACIONAL POR MEIO DO ENSAIO DE INDERBITZEN ADAPTADO

Os resultados obtidos para a construção da progressão denudacional por meio do ensaio de Inderbitzen precisaram seguir uma ordem de resultados: a) massa total da amostra de solo superficial dos pontos (P1 a P8); b) volume interno do cilindro ou volume das amostras superficiais do solo (V_i); c) volume interno dos cilindros/volume inicial das amostras superficiais do solo (V); d) densidade da camada superficial do solo nos pontos (P1 a P8); e) massa do sedimento erodido; f) volume do sedimento erodido (v); g) altura do sedimento erodido; h) altura do sedimento erodido em 1 (um) ano e i) progressão denudacional para 1ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 75 anos, 100 anos e 1000 anos. A progressão denudacional da Vila São Rafael compartimentada taxonômica no 4º Taxon projeta a denudação de uma colina (relevo) ao longo de 1000 anos generalizando os resultados laboratoriais para a coxilha na área de estudo (ROSS, 1992).

5.3.1 Massa total da amostra de solo superficial dos pontos (P1 a P8)

Os resultados obtidos da pesagem das amostras de solo superficial na Tabela 14 mostram as seguintes valores (g):

Tabela 14 - Massa total da amostra em gramas.

| Massa total da amostra (g) | |
|-----------------------------------|------------------|
| M_1 | 861,08 g |
| M_2 | 678,94 g |
| M_3 | 672,25 g |
| M_4 | 735,32 g |
| M_5 | 679,35 g |
| M_6 | 820,81 g |
| M_7 | 885,97 g |
| M_8 | 819,48 g |
| $\sum_{P_1}^{P_8}$ | 6.153,2 g |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Observa-se na tabela que há variação dos resultados referente ao peso das amostras saturadas. Pode ser basicamente explicado pela constituição dos agregados do solo (maior ou menor densidade) e também pela variação na altura dos cilindros que determina distintos volumes internos para cada cilindro.

5.3.2 Volume interno do cilindro ou volume inicial das amostras superficiais do solo (Vi)

Os resultados das variáveis que apresentaram o mesmo valor para o cálculo do volume interno do cilindro ou volume inicial das amostras superficiais do solo foram:

$$\text{Diâmetro Interno (D}_i\text{)} = 9,87 \text{ cm}$$

$$\text{Raio Interno (R}_i\text{)} = 4,935 \text{ cm}$$

$$\text{Constante Matemática } (\pi) = 3,1415.$$

Já os resultados da variável altura do cilindros (H) apresentaram as seguintes variações:

$$\cdot H_1 = 4,98\text{cm}$$

$$\cdot H_2 = 4,86\text{cm}$$

$$\cdot H_3 = 4,91\text{cm}$$

$$\cdot H_4 = 4,93\text{cm}$$

$$\cdot H_5 = 4,88\text{cm}$$

$$\cdot H_6 = 4,90\text{cm}$$

$$\cdot H_7 = 4,95\text{cm}$$

$$\cdot H_8 = 4,96\text{cm}$$

Assim os resultados para o volume interno dos cilindros/volume inicial das amostras superficiais do solo (V) apresentaram os seguintes valores na Tabela 15.

Tabela 15 - Volume das amostras.

| Volume interno dos cilindros/Volume inicial das amostras superficiais do solo (V) | | |
|--|------------------------|-------------------------|
| V ₁ | 3,1415 x 24,354 x 4,98 | 380,920 cm ³ |
| V ₂ | 3,1415 x 24,354 x 4,86 | 371,741 cm ³ |
| V ₃ | 3,1415 x 24,354 x 4,91 | 375,565 cm ³ |
| V ₄ | 3,1415 x 24,354 x 4,93 | 377,095 cm ³ |
| V ₅ | 3,1415 x 24,354 x 4,88 | 373,271 cm ³ |
| V ₆ | 3,1415 x 24,354 x 4,90 | 374,801 cm ³ |
| V ₇ | 3,1415 x 24,354 x 4,95 | 378,625 cm ³ |
| V ₈ | 3,1415 x 24,354 x 4,96 | 379,390 cm ³ |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos para o volume interno dos cilindros (V) que também correspondem ao volume inicial das amostras superficiais do solo (V) apresentaram variação devido a diferentes alturas dos cilindros.

5.3.3 Densidade da camada superficial do solo nos pontos (P1 a P8)

Os resultados para a Densidade da Camada Superficial do Solo nos Pontos (P1 a P8) apresentaram os seguintes valores de acordo com a Tabela 16.

Tabela 16 - Densidade da camada superficial de solo.

| Densidade da Camada Superficial do Solo | | |
|--|-----------------------------------|------------------------|
| D ₁ | 861,08 g / 381,01 cm ³ | 2,26 g/cm ³ |
| D ₂ | 678,94 g / 371,01 cm ³ | 1,83 g/cm ³ |
| D ₃ | 672,25 g / 375,56 cm ³ | 1,79 g/cm ³ |
| D ₄ | 735,32 g / 377,09 cm ³ | 1,95 g/cm ³ |
| D ₅ | 679,35 g / 373,27 cm ³ | 1,82 g/cm ³ |
| D ₆ | 820,81 g / 374,80 cm ³ | 2,19 g/cm ³ |
| D ₇ | 885,97 g / 378,62 cm ³ | 2,34 g/cm ³ |
| D ₈ | 819,48 g / 379,39 cm ³ | 2,16 g/cm ³ |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos para a densidade da camada superficial do solo apresentaram variações. A densidade das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (D₁, D₆, D₇ e D₈) nos quatro pontos apresentaram valores médio entorno de 2,23 g/cm³, portanto, maiores em relação a média da densidade para as quatro amostras de solo superficial (D₂, D₃, D₄ e D₅) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 1,84 g/cm³.

5.3.4 Peso do sedimento erodido

Os resultados obtidos da pesagem da Massa do Sedimento Erodido (m) da Amostra de Solo Superficial pós ensaio de Inderbitzen, mostram na Tabela 17, os seguintes valores (g):

Tabela 17 - Peso do sedimento erodido.

| Peso do sedimento erodido (g) | |
|--------------------------------------|----------------|
| p ₁ | 0,689g |
| p ₂ | 1,165g |
| p ₃ | 1,578g |
| p ₄ | 1,024g |
| p ₅ | 1,378g |
| p ₆ | 0,754g |
| p ₇ | 0,601 g |
| p ₈ | 0,7114g |
| $\sum_{P_1}^{P_8}$ | 7,9004g |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos para a perda de sedimentos (peso) no ensaio de Inderbitzen apresentaram variações. A perda de sedimentos das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (p₁, p₆, p₇ e p₈) apresentaram valores médio entorno de 0,688 g, portanto, menores em relação a média da perda de sedimentos (peso) para as quatro amostras de solo superficial (p₂, p₃, p₄ e p₅) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 1,2862 g.

5.3.5 Volume do sedimento erodido (v)

Os resultados do Ensaio de Inderbitzen Adaptado para o volume de sedimentos erodidos mostram na Tabela 18 os seguintes valores:

Tabela 18 - Volume do sedimento erodido.

| Volume do sedimentos erodidos (v) | | |
|--|--------------|-----------------------|
| v₁ | 0,689 / 2,26 | 0,304 cm ³ |
| v₂ | 1,165 / 1,83 | 0,636 cm ³ |
| v₃ | 1,578 / 1,79 | 0,881 cm ³ |
| v₄ | 1,024 / 1,95 | 0,525 cm ³ |
| v₅ | 1,378 / 1,82 | 0,757 cm ³ |
| v₆ | 0,754 / 2,19 | 0,344 cm ³ |
| v₇ | 0,601 / 2,34 | 0,256 cm ³ |
| v₈ | 0,071 / 2,16 | 0,032 cm ³ |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos para o volume de sedimentos erodidos (cm³) no ensaio de Inderbitzen apresentaram variações. O volume de sedimentos erodidos das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (v₁, v₆, v₇ e v₈), nos quatro pontos apresentaram valores médios, em torno de 0,234 cm³, portanto, menores em relação a média da perda de sedimentos para as quatro amostras de solo superficial (v₂, v₃, v₄ e v₅) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,699 cm³.

5.3.6 Altura do sedimento erodido (h)

Os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido (h) em centímetros que representa a altura dos sedimentos perdidos pós-ensaio de Inderbitzen que posteriormente formaram a base de dados cartográficos para a projeção denudacional foram obtidos utilizando-se o Teorema de Tales.

Teorema de Tales:

$$\frac{V}{H} = \frac{v}{h}$$

E posteriormente utilizando a equação matemática derivada do Teorema de Tales:

$$h = \frac{v \times H}{V}$$

Onde:

H = Altura do Cilindro e da Amostra

V = Volume do Cilindro e da Amostra

v = Volume do Material Erodido

h = Altura do Sedimento Erodido

Os valores obtidos utilizando-se a equação mostraram os seguintes valores na Tabela 19.

Tabela 19 - Altura dos sedimentos erodidos no ensaio de Inderbitzen.

| Altura dos sedimentos erodidos (cm) | | |
|--|---|-----------|
| h ₁ | 0,304 cm ³ x 4,98 cm / 380,92 cm ³ | 0,0039cm |
| h ₂ | 0,636 cm ³ x 4,86 cm / 371,741cm ³ | 0,0083 cm |
| h ₃ | 0,881 cm ³ x 4,91 cm / 375,565 cm ³ | 0,0115 cm |
| h ₄ | 0,525 cm ³ x 4,93 cm / 377,095 cm ³ | 0,0068 cm |
| h ₅ | 0,757 cm ³ x 4,88 cm / 373,271 cm ³ | 0,0098 cm |
| h ₆ | 0,344 cm ³ x 4,90 cm / 374,801 cm ³ | 0,0044 cm |
| h ₇ | 0,256 cm ³ x 4,95 cm / 378,625 cm ³ | 0,0033 cm |
| h ₈ | 0,032 cm ³ x 4,96 cm / 379,390 cm ³ | 0,0041cm |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido (h) (cm) no ensaio de Inderbitzen apresentaram variações. A altura de sedimento erodido (h) das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (h₁, h₆, h₇ e h₈) nos quatro pontos apresentaram valores médio entorno de 0,00392 cm, portanto, menores em relação a média da altura de sedimento erodido (h) para as quatro amostras de solo superficial (h₂, h₃, h₄ e h₅) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,0091 cm que é cerca de 2,32 vezes maior.

5.3.7 Altura do sedimento erodido em 1 (um) ano (h1)

Os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido em 1 (um) ano (h1) que representa a perda provocada pela “erosão” (simulação laboratorial) no intervalo de 1 (ano) no ensaio de Inderbitzen e que foram posteriormente generalizados para a área de estudo servindo de base de dados cartográficos para a construção do mapa de projeção denudacional em 1 (um) ano foram obtidos aplicando o Teorema de Tales.

O Teorema de Tales foi aplicado da seguinte forma:

$$\begin{array}{l} 20 \text{ mm} / 3\text{h} \\ 1688 \text{ mm} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{----- } h_{1 \text{ evento}} \text{ (um evento de precipitação) (cm)} \\ \text{----- } h_{1 \text{ ano}} \text{ (soma das precipitações no ano) (cm)} \end{array}$$

Substituindo os valores na equação do teorema foram obtidos os resultados da tabela 21.

$$h_{1 \text{ (Annual)}} = \frac{h_{1 \text{ (Evento)}} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$$

Onde:

$h_{1 \text{ (Evento)}}$ = Altura do Sedimento Erodido (cm) em um Evento de Precipitação

$h_{1 \text{ (Annual)}}$ = Altura do Sedimento Erodido (cm) durante um ano em Santa Maria

Os valores obtidos na equação mostraram os seguintes valores na Tabela 20.

Tabela 20 - Altura do sedimento erodido em 1 (um) ano.

| Altura do sedimento erodido em 1 ano (cm) | | |
|--|--|----------|
| $h_{1(\text{annual})}$ | $\frac{0,0039 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,329 cm |
| $h_{2(\text{annual})}$ | $\frac{0,0083 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,700 cm |
| $h_{3(\text{annual})}$ | $\frac{0,0115 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,970 cm |
| $h_{4(\text{annual})}$ | $\frac{0,0068 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,573 cm |
| $h_{5(\text{annual})}$ | $\frac{0,0098 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,827 cm |
| $h_{6(\text{annual})}$ | $\frac{0,0044 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,371 cm |

| | | |
|------------------------|---|----------|
| $h_{7(\text{annual})}$ | $\frac{0,0033 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,278 cm |
| $h_{8(\text{annual})}$ | $\frac{0,00041 \text{ cm} \times 1688 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$ | 0,034 cm |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido em um ano (h_1) com base nos resultados obtidos no ensaio de Inderbitzen para um evento de precipitação no ensaio apresentaram variações. A altura de sedimento erodido em um ano (h_1) das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita ($h_{1(\text{annual})}$, $h_{6(\text{annual})}$, $h_{7(\text{annual})}$ e $h_{8(\text{annual})}$) nos quatro pontos apresentaram valores médio entorno de 0,253 cm, portanto, menores em relação a média da altura de sedimento erodido em um ano (h_1) para as quatro amostras de solo superficial ($h_{2(\text{annual})}$, $h_{3(\text{annual})}$, $h_{4(\text{annual})}$ e $h_{5(\text{annual})}$) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,7675 cm que é cerca de 3,033 vezes maior.

5.3.8 Progressão denudacional (1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 100 anos e 1000 anos)

Os resultados encontrados para a altura do sedimento erodido em 1 (um) ano ($h_{1 \text{ annual}}$) serviram como parâmetro para a construção da Tabela 22 que mostra a progressão denudacional em 1 ano, ($h_{1 \text{ annual}}$) parâmetro calculado por equações matemáticas e a progressão denudação para 10 anos (h_{10}), 25 anos (h_{25}), 50 anos (h_{50}), 100 anos (h_{100}) e 1000 anos (h_{1000}) que basicamente os resultados foram obtidos multiplicando os valores encontrados para a altura do sedimento erodido em 1 (um) ano ($h_{1 \text{ annual}}$) pelo número de anos (x10) 10 anos, (x25) 25 anos, (x50) 50 anos, (x75) 75 anos, (x100) 100 anos e (x1000) 1000 anos como mostra a Tabela 21.

Tabela 21 - Progressão denudacional (1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 100 anos e 1000 anos)

| Anos \ Altura(cm) | 1 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 1000 |
|-------------------|-------|------|-------|-------|--------|------|------|
| h_1 | 0,329 | 3,29 | 8,225 | 16,45 | 24,675 | 32,9 | 329 |
| h_2 | 0,700 | 7 | 17,5 | 35 | 52,5 | 70,0 | 700 |
| h_3 | 0,970 | 9,7 | 24,25 | 48,5 | 72,75 | 97,0 | 970 |

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|------|--------|-------|--------|------|-----|
| h₄ | 0,573 | 5,73 | 14,325 | 28,65 | 42,97 | 57,3 | 573 |
| h₅ | 0,827 | 8,27 | 20,675 | 41,35 | 62,02 | 82,7 | 827 |
| h₆ | 0,371 | 3,71 | 9,275 | 18,55 | 27,823 | 37,1 | 371 |
| h₇ | 0,278 | 2,78 | 6,95 | 13,9 | 20,85 | 27,8 | 278 |
| h₈ | 0,034 | 0,34 | 0,850 | 1,7 | 2,55 | 3,4 | 34 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados encontrados para a altura do sedimento erodido em um ano ($h1_{\text{annual}}$) que serviram como parâmetro para a construção da Tabela 22 que mostra a altura de sedimentos perdidos em um ano, $h1_{\text{(annual)}}$, 10 anos ($h10$), 25 anos ($h25$), 50 anos ($h50$), 100 anos ($h100$) e 1000 anos ($h1000$) foram inseridos no processo cartográfico de construção do mapa de progressão denudacional para 1 ano, $h1_{\text{(annual)}}$, 10 anos ($h10$), 25 anos ($h25$), 50 anos ($h50$), 100 anos ($h100$) e 1000 anos ($h1000$). Assim, os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido ao longo de 1000 anos apresentam a mesma proporção encontrada em um ano. Assim, a altura de sedimento erodido das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita nos quatro pontos apresentaram valores médio entorno de 0,253 cm que é menores em relação a média da altura de sedimento erodido ao longo de 1000 anos para as quatro amostras de solo superficial que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,7675 cm que é cerca de 3,033 vezes maior.

5.4 MAPAS DE PROGRESSÃO DENUDACIONAL

Os resultados de perda de sedimentos (altura do sedimento erodido) no ensaio de Inderbitzen generalizados para a área representativa de cada ponto de coleta das amostras de solo superficial embasaram a construção da projeção do relevo (colina) no futuro: progressão denudacional da Vila São Rafael que abrange o 4º Taxon por estudar a denudação de uma coxilha (ROSS, 1992).

5.4.1 Mapa da progressão denudacional em 1 ano, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em um ano, da Vila São Rafael, mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6,

P7 e P8) e a projeção destas altitudes após um ano de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 12.

Quadro 12 - Variação da altitude em um ano nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 1 ano (m) | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 1 | 131,5667 | 135,0730 | 124,0703 | 115,7243 | 129,6117 | 133,2563 | 134,4372 | 123,2797 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados demonstrados no quadro acima mostram que houve um decréscimo de altitude de 0,33 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 0,7cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 0,97 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 0,57 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 0,83 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 0,37 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 0,28 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 0,03 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em um ano mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 0,253 cm, portanto, menores em relação a média de variação da altitude em um ano para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,7675 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,033 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em um ano ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 0,97 cm, ponto (P5) que foi de 0,83 cm, ponto (P2) que foi de 0,7 cm e no ponto (P4) que foi de 0,57 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em um ano ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 0,034 cm, no ponto (P7) que foi de 0,27 cm, no

ponto (P1) que foi de 0,32 cm e no ponto (P6) que foi de 0,371 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em um ano para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 108-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-146 apresentaram os seguintes valores no Quadro 13.

Quadro 13 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em um ano.

| Classe | Área (m ²) Atual | Área (m ²) 1 Ano | Área (%) 1 Ano | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 108-115 | 9.168,00 | 9.218,25 | 5,10 | 50,25 | 0,0058 | 0,2915 |
| 115-122 | 38.619,00 | 38.634,50 | 21,37 | 15,50 | 0,00683 | 0,1059 |
| 122-129 | 42.679,25 | 42.556,50 | 23,53 | -122,75 | -0,00507 | -0,6223 |
| 129-136 | 66.889,50 | 64.686,75 | 35,77 | -2.202,7 | -0,00501 | -11,0358 |
| 136-146 | 23.473,00 | 25.732,75 | 14,23 | 2.259,75 | 0,0032 | 7,2312 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação para um ano mostram para a classe hipsométrica 108-115 m que possui área de 9.218,25 m², representando 5,1% da área de estudo e um aumento da área de 50 m² em comparação com a área desta mesma classe com a atualidade. Apresentou aumento em área desta classe pelo rebaixamento da classe superior e por isso a média entre 108-115 m ficou maior. Ocorreu, portanto, sedimentação para a classe na ordem de 0,29 m³ (volume denudado positivo).

Para a classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 38.634,5 m² e representa 21,37 % da área de estudo também houve aumento da área desta classe na ordem de 15,50 m² em comparação com a área desta mesma classe com a atualidade. Apresentou também aumento da altura média de denudação, o que significa que a classe ficou mais elevada em 0,68 cm. Havendo também sedimentação para a classe que corresponde a um volume denudado de 0,11 m³.

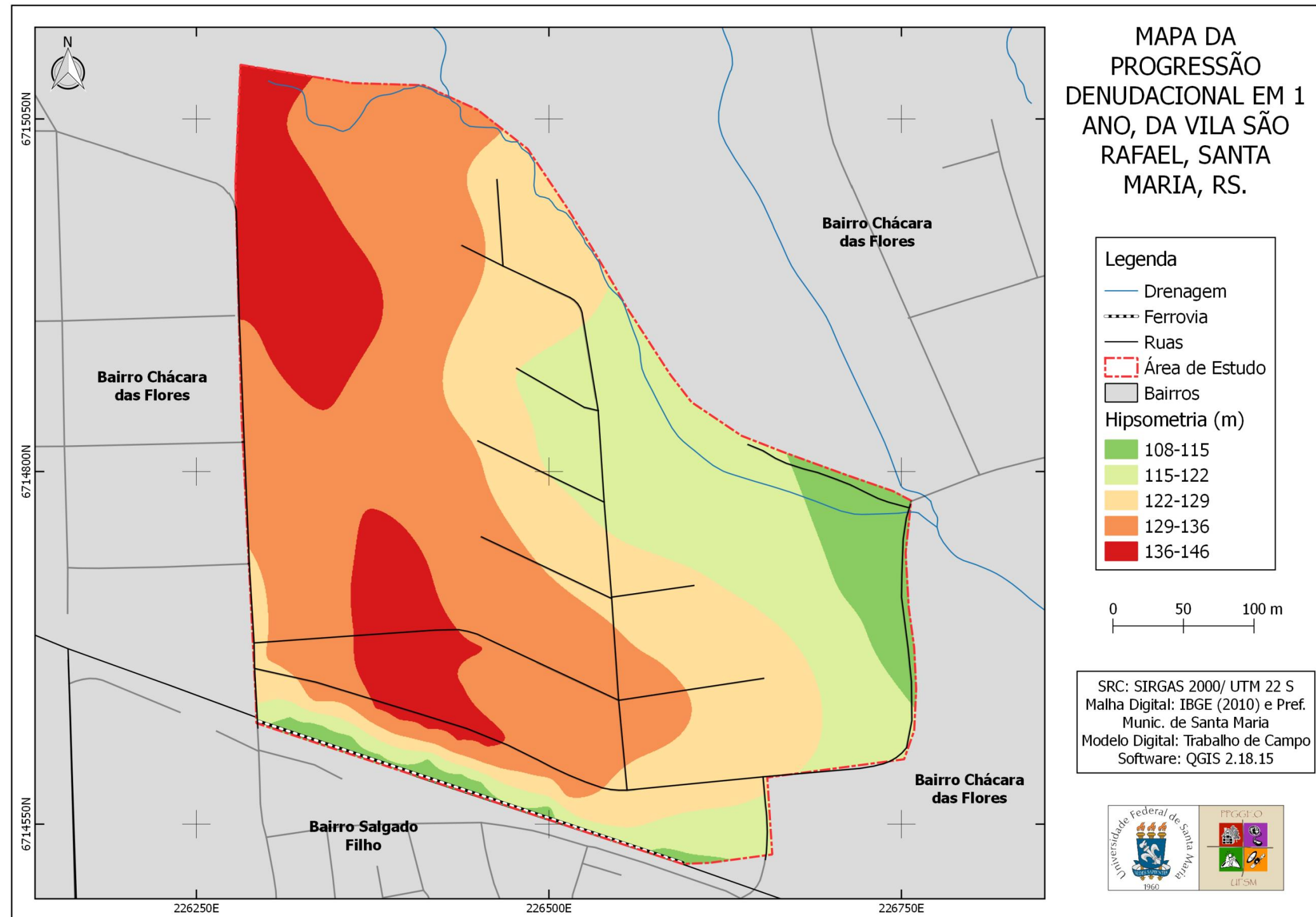
Já para a classe hipsométrica 122- 129 m que possui área de 42.556,5 m² e representa 23,53% da área de estudo houve diminuição da área desta classe na ordem de 122,75 m² em comparação com a área desta mesma classe com a atualidade. Apresentou, portanto, redução

da altura média de denudação, o que significa que a classe rebaixou em -0,507 cm. Houve dessedimentação (perda de sedimento) na classe com volume denudado de - 0,62 m³.

A classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 64.686,75 m² e representa 35,77 % da área de estudo também apresentou diminuição da área desta classe em cerca de - 2.202,75 em comparação com a área desta mesma classe com a atualidade. Apresentou, também, uma redução da altura média de denudação, o que demonstra um rebaixamento na ordem de -0,501 cm para a classe e um volume de sedimentação de -11,04 m³. Houve, portanto, perda de material (sedimento) nesta classe.

A classe hipsométrica 136-146 m que possui área de 25.732,75 m² e representa 14,23% da área de estudo apresentou um aumento da área de 2.259,75 m² em comparação com a área desta mesma classe com a atualidade. Apresentou assim um aumento de altitude nesta classe, que corresponde a altura média de denudação positiva de 0,32 cm. Houve, portanto, sedimentação para a classe na ordem de 7,23 m³ (volume denudado positivo). Observe que os valores de sedimentação (ganho de material) para o interior da classe hipsométrica mais elevada da Vila São Rafael deve-se a interpolação de pontos fora da área de estudo para a elaboração dos mapas no processo de georreferenciamento de imagens. Essas cotas altimétricas são mais elevadas fora da área de estudo havendo assim sedimentação de fora da área de estudo para esta classe. Veja o mapa de progressão denudacional em um ano da Vila São Rafael (Figura 34).

Figura 34 - Mapa da progressão denudacional em um ano, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.4.2 Mapa da progressão denudacional em 10 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em 10 anos, da Vila São Rafael mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a projeção destas altitudes após um ano de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 14.

Quadro 14 - Variação da altitude em 10 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 10 anos (m) | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 10 | 131,5371 | 135,0100 | 123,9830 | 115,6727 | 129,5373 | 133,2229 | 134,4122 | 123,2766 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados mostram que houve um decréscimo de altitude de 3,29 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 7,0 cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 9,70 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 5,73 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 8,27 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 3,71 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 2,78 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 0,34 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em 10 anos mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 2,53 cm, portanto, menores em relação a média de variação da altitude em 10 anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 7,675 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,033 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 10 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 9,7 cm, ponto (P5) que foi de 8,3 cm, ponto (P2) que foi de 7,0 cm e no ponto (P4) que foi de 5,73 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a

Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em 10 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 0,34 cm, no ponto (P7) que foi de 2,78 cm, no ponto (P1) que foi de 3,29 cm e no ponto (P6) que foi de 3,71 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 10 anos para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 108-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-146 apresentaram os seguintes valores conforme o Quadro 15.

Quadro 15 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em 10 anos.

| Classe | Área (m ²) 1 Ano | Área (m ²) 10 Anos | Área (%) 10 Anos | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 108-115 | 9.218,25 | 9.365,75 | 5,18 | 147,50 | 0,058 | 8,5550 |
| 115-122 | 38.634,50 | 38.851,00 | 21,48 | 216,50 | 0,0683 | 14,7870 |
| 122-129 | 42.556,50 | 42.410,50 | 23,45 | -146,00 | -0,0507 | -7,4022 |
| 129-136 | 64.686,75 | 64.854,25 | 35,87 | 167,50 | 0,0501 | 8,3918 |
| 136-146 | 25.732,75 | 25.347,25 | 14,02 | -385,50 | -0,032 | -12,3360 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação em 10 anos apresentados no quadro 18 mostram para a classe hipsométrica 108-115 m que possui área de 9.365,75 m² e representa 5,18 % da área de estudo apresentou aumento de área de 147,50 m² em comparação com a área desta mesma classe com a classe no mapa de 1 (um) ano. Os resultados também mostram elevação da altitude nesta classe que representa altura média de denudação de 5,8 cm. Ocorreu, portanto, sedimentação para a classe na ordem de 8,56 m³ que foi o volume denudado positivo.

Para a classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 38.851,00 m² e representa 21,48 % da área de estudo também aumentou a área nesta classe na ordem de 216,50 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 1 (um) ano. Houve também aumento

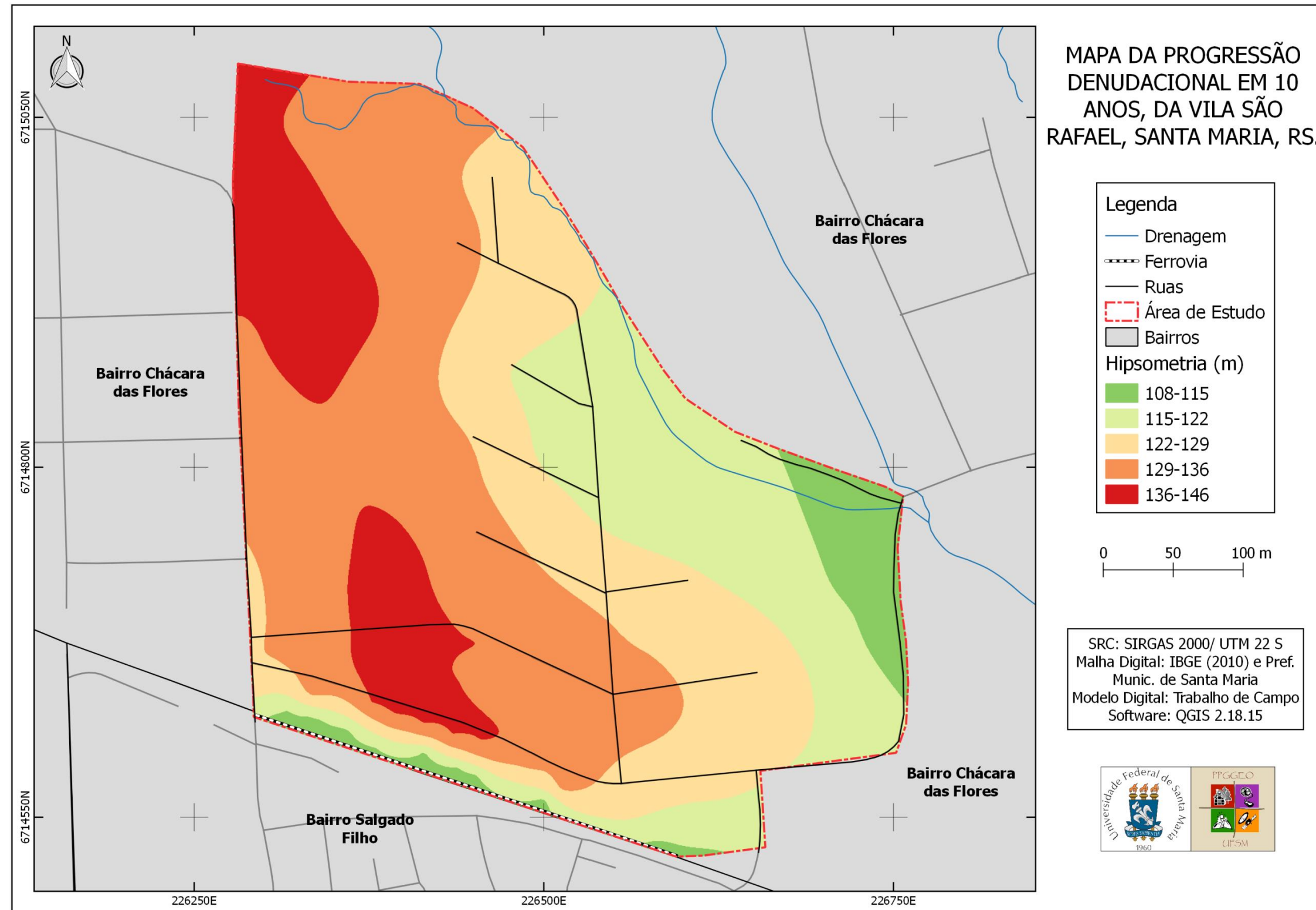
da altura média de denudação de 6,83 cm o que representa elevação da altimetria da classe por ter ocorrido sedimentação para a classe correspondendo a um volume denudado de 14,79 m³.

Já a classe hipsométrica 122- 129 m que possui área de 42.410,50 m² e representa 23,45% da área de estudo houve diminuição da área desta classe na ordem de -146,00 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 1 (um) ano. Os resultados mostraram ainda que houve redução da altimetria para essa classe com altura média de denudação de - 5,07 cm. Ocorreu, assim, dessedimentação (perda de sedimentos) na classe com volume denudado de -7,4 m³.

Na classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 64.854,25 m² e representa 35,87 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 167,50 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 1 (um) ano. Os resultados mostram que ocorreu aumento da altimetria para esta classe apresentando altura média de denudação de 5,01 cm. Houve sedimentação para a classe (ganho de sedimentos) com volume denudado de 8,39 m³.

E, por fim, a classe hipsométrica 136-146 m que possui área de 25.347,25 m² e representa 14,02 % da área de estudo apresentou redução da área no valor de -385,50 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 1 (um) ano. Ocorreu redução da altitude, portanto, nesta classe que apresentou altura média de denudação de -3,2 cm. Ocorreu dessedimentação (perda de sedimentos) nesta classe com volume denudado de -12,34 m³. Veja o mapa de progressão denudacional em 10 anos da Vila São Rafael (Figura 35).

Figura 35 - Mapa da progressão denudacional em 10 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.4.3 Mapa da progressão denudacional em 25 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em 25 anos, da Vila São Rafael mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a projeção destas altitudes após um ano de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 16.

Quadro 16 - Variação da altitude em 25 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 25 anos (m) | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 25 | 131,4878 | 134,9050 | 123,8375 | 115,5868 | 129,4133 | 133,1673 | 134,3705 | 123,2715 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados demonstrados no quadro mostram que houve um decréscimo de altitude de 8,22 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 17,5 cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 24,25 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 14,32 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 20,67 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 9,275 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 6,95 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 0,85 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em 25 anos mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 6,325 cm, portanto, menores em relação a média de variação da altitude em 25 anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 19,187 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,033 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 25 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 24,25 cm, ponto (P5) que foi de 20,675 cm, ponto (P2) que foi de 17,5 cm e no ponto (P4) que foi de 14,32 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a

Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em 25 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 0,85 cm, no ponto (P7) que foi de 6,95 cm, no ponto (P1) que foi de 8,225 cm e no ponto (P6) que foi de 9,275 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 25 anos para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 108-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-146 apresentaram os seguintes valores conforme o Quadro 17.

Quadro 17 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em 25 anos.

| Classe | Área (m ²) 10 Anos | Área (m ²) 25 Anos | Área (%) 25 Anos | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 108-115 | 9.365,75 | 9.631,00 | 5,33 | 265,25 | 0,145 | 38,4613 |
| 115-122 | 38.851,00 | 39.192,00 | 21,67 | 341,00 | 0,17079 | 58,2394 |
| 122-129 | 42.410,50 | 42.184,00 | 23,33 | -226,50 | -0,129636 | -29,3626 |
| 129-136 | 64.854,25 | 65.135,25 | 36,02 | 281,00 | 0,125439 | 35,2484 |
| 136-146 | 25.347,25 | 24.686,50 | 13,65 | -660,75 | -0,080093 | -52,9214 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação em 25 anos apresentados no quadro mostram para a classe hipsométrica 108-115 m que possui área de 9.631,00 m² e representa 5,33 % da área de estudo apresentou aumento de área de 265,25 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 10 anos. Os resultados revelaram que houve elevação da altimetria nesta classe que representa altura média de denudação de 14,5 cm. Ocorreu, portanto, sedimentação para a classe com um volume denudado de 38,46 m³.

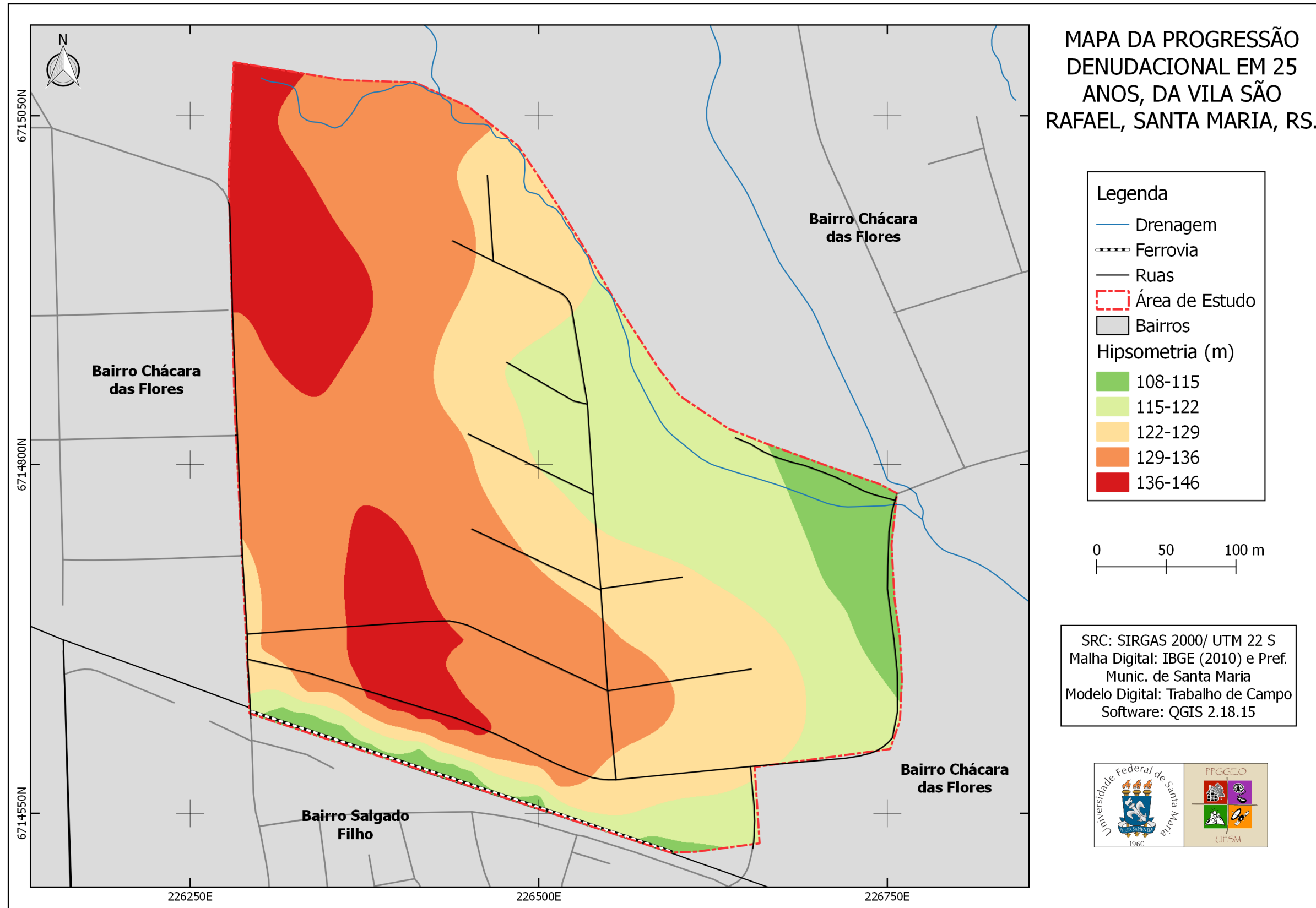
A classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 39.192,00 m² e representa 21,67 % da área de estudo apresentou aumento de área nesta classe de 341,00 m² quando comparado com a área de mesma classe no mapa de 10 anos. Ocorreu também aumento da altimetria nesta classe apresentando altura média de denudação de 17,079 cm por ter havido sedimentação (ganho de sedimento) para dentro da classe com volume denudado de 58,24 m³.

Já na classe hipsométrica 122-129 m que possui área de 42.184,00 m² e representa 23,33% da área de estudo houve redução da área desta classe na ordem de -226,50 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 10 anos. Houve redução, portanto, da altimetria da classe que apresentou altura média de denudação de -12,964 cm. Nesta classe ocorreu dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de - 29,36 m³.

Na classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 65.135,25 m² e representa 36,02 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 281,00 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 10 anos. Ocorreu também aumento da altimetria para esta classe apresentando altura média de denudação de 12,544 cm. Portanto, ocorreu sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 35,25 m³.

Por fim, na classe hipsométrica 136-146 m que possui área de 24.686,50 m² e representa 13,65% da área de estudo apresentou redução da área no valor de -660,75 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 10 anos. Houve diminuição da altimetria dessa classe apresentando altura média de denudação de -8,009 cm. Ocorreu, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) nesta classe com volume denudado de - 52,92 m³. Veja o mapa de progressão denudacional em 25 anos da Vila São Rafael (Figura 36).

Figura 36 - Mapa da progressão denudacional em 25 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.4.4 Mapa da progressão denudacional em 50 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em 50 anos, da Vila São Rafael mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a projeção destas altitudes após um ano de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 18.

Quadro 18 - Variação da altitude em 50 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 50 anos (m) | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 50 | 131,4055 | 134,7300 | 123,5950 | 115,4435 | 129,2065 | 133,0745 | 134,3010 | 123,2630 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados demonstrados no quadro mostram que houve um decréscimo de altitude de 16,45 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 35 cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 48,5 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 28,65 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 41,35 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 18,55 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 13,9 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 1,7 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em 50 anos mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 12,65 cm, portanto, menores em relação a média de variação da altitude em 50 anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 38,37 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,033 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 50 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 48,5 cm, ponto (P5) que foi de 41,35 cm, ponto (P2) que foi de 35,0 cm e no ponto (P4) que foi de 28,65 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a

Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em 50 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 1,7 cm, no ponto (P7) que foi de 13,9 cm, no ponto (P1) que foi de 16,45 cm e no ponto (P6) que foi de 18,55 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 50 anos para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 108-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-146 apresentaram os seguintes valores conforme o Quadro 19.

Quadro 19 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em 50 anos.

| Classe | Área (m ²) 25 Anos | Área (m ²) 50 Anos | Área (%) 50 Anos | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 108-115 | 9.631,00 | 10.093,00 | 5,58 | 462,00 | 0,29 | 133,9800 |
| 115-122 | 39.192,00 | 39.734,50 | 21,97 | 542,50 | 0,34158 | 185,3072 |
| 122-129 | 42.184,00 | 41.820,50 | 23,13 | -363,50 | -0,259272 | -94,2454 |
| 129-136 | 65.135,25 | 65.558,50 | 36,25 | 423,25 | 0,250878 | 106,1841 |
| 136-146 | 24.686,50 | 23.622,25 | 13,06 | -1.064,2 | -0,160186 | -170,4780 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação em 50 anos apresentados mostram para a classe hipsométrica 108-115 m que possui área de 10.093,00 m² e representa 5,58 % da área de estudo aumento de área no valor de 462,00 m² quando comparada à área desta mesma classe no mapa de 25 anos. Houve elevação da altimetria nesta classe mostrando-se 29 cm mais elevada (altura média de denudação). Esta classe apresentou, portanto, sedimentação (ganho de sedimento) com volume denudado de 133,98 m³.

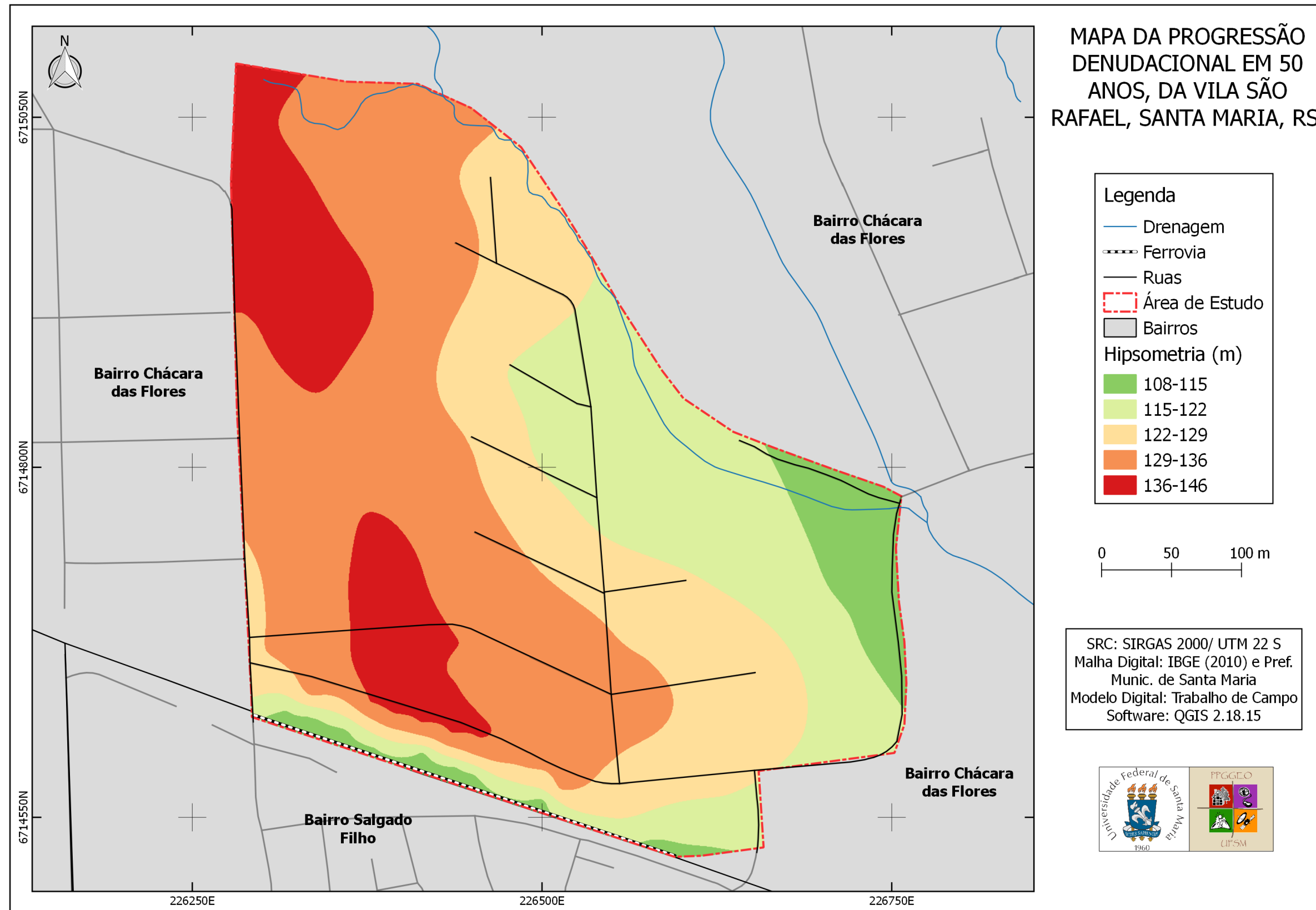
A classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 39.734,50 m² e representa 21,97 % da área de estudo apresentou aumento de área nesta classe no valor de 542,50 m² quando comparado com a área de mesma classe no mapa de 25 anos. Ocorreu também aumento da altitude nesta classe apresentando altura média de denudação de 34,158 cm. Houve sedimentação (ganho de sedimentos) na classe com volume denudado de 185,31 m³.

Já na classe hipsométrica 122-129 m que possui área de 41.820,50 m² e representa 23,13% da área de estudo houve redução da área desta classe na ordem de -363,50 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 25 anos. Ocorreu redução da altimetria da classe que apresentou altura média de denudação de -25,927 cm. Nesta classe, portanto, houve remoção de sedimentos (dessedimentação) com volume denudado de - 94,25 m³.

A classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 65.558,50 m² e representa 36,26 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 423,25 m² em comparação com a área desta mesma classe no mapa de 25 anos. Ocorreu também aumento da altimetria para esta classe apresentando altura média de denudação de 25,088 cm. Ocorreu portanto sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 106,18 m³.

A classe hipsométrica 136-146 m que possui área de 23.622,25 m² e representa 13,06 % da área de estudo apresentou redução da área no valor de -1.064,25 m² quando comparada com a área desta mesma classe no mapa de 25 anos. Houve redução da altimetria nesta classe apresentando altura média de denudação de -8,009 cm. Ocorreu, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) nesta classe com volume denudado de -52,92 m³. Veja o mapa de progressão denudacional em 50 anos da Vila São Rafael (Figura 37).

Figura 37 - Mapa da progressão denudacional em 50 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



5.4.5 Mapa da progressão denudacional em 75 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em um ano, da Vila São Rafael mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a projeção destas altitudes após um ano de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 20.

Quadro 20 - Variação da altitude em 75 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 75 anos (m) | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 75 | 131,3233 | 134,5550 | 123,3525 | 115,3003 | 129,5580 | 132,9818 | 134,2315 | 123,2545 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados demonstrados no quadro mostram que houve um decréscimo de altitude de 24,67 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 52,5 cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 72,75 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 42,97 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 62,02 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 27,82 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 20,85 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 2,55 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em 75 anos mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 18,97 cm, portanto, menores em relação a média de variação da altitude em 75 anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 57,56 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,034 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 75 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 72,75 cm, ponto (P5) que foi de 62,02 cm, ponto (P2) que foi de 52,50 cm e no ponto (P4) que foi de 42,97 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a

Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em 75 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 2,55 cm, no ponto (P7) que foi de 20,85 cm, no ponto (P1) que foi de 24,67 cm e no ponto (P6) que foi de 27,82 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 75 anos para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 108-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-146 apresentaram os seguintes valores conforme o Quadro 24.

Quadro 21 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em 75 anos.

| Classe | Área (m ²) 50 Anos | Área (m ²) 75 Anos | Área (%) 75 Anos | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 108-115 | 10.093,00 | 10.586,50 | 5,85 | 493,50 | 0,435 | 214,6725 |
| 115-122 | 39.734,50 | 40.229,00 | 22,25 | 494,50 | 0,51237 | 253,3670 |
| 122-129 | 41.820,50 | 41.420,00 | 22,91 | -400,50 | -0,388908 | -155,7577 |
| 129-136 | 65.558,50 | 65.988,25 | 36,49 | 429,75 | 0,376317 | 161,7222 |
| 136-146 | 23.622,25 | 22.605,00 | 12,50 | -1.017,2 | -0,240279 | -244,4238 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação em 75 anos apresentados no quadro mostram para a classe hipsométrica 108-115 m que possui área de 10.586,50 m² e representa 5,85 % da área de estudo que ocorreu aumento da área desta classe no valor de 493,50 m² comparada a mesma classe no mapa de 50 anos. Houve aumento da altitude nesta classe ficando 43,5 cm mais elevada (altura média de denudação). Esta classe apresentou, portanto, sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 214,67 m³.

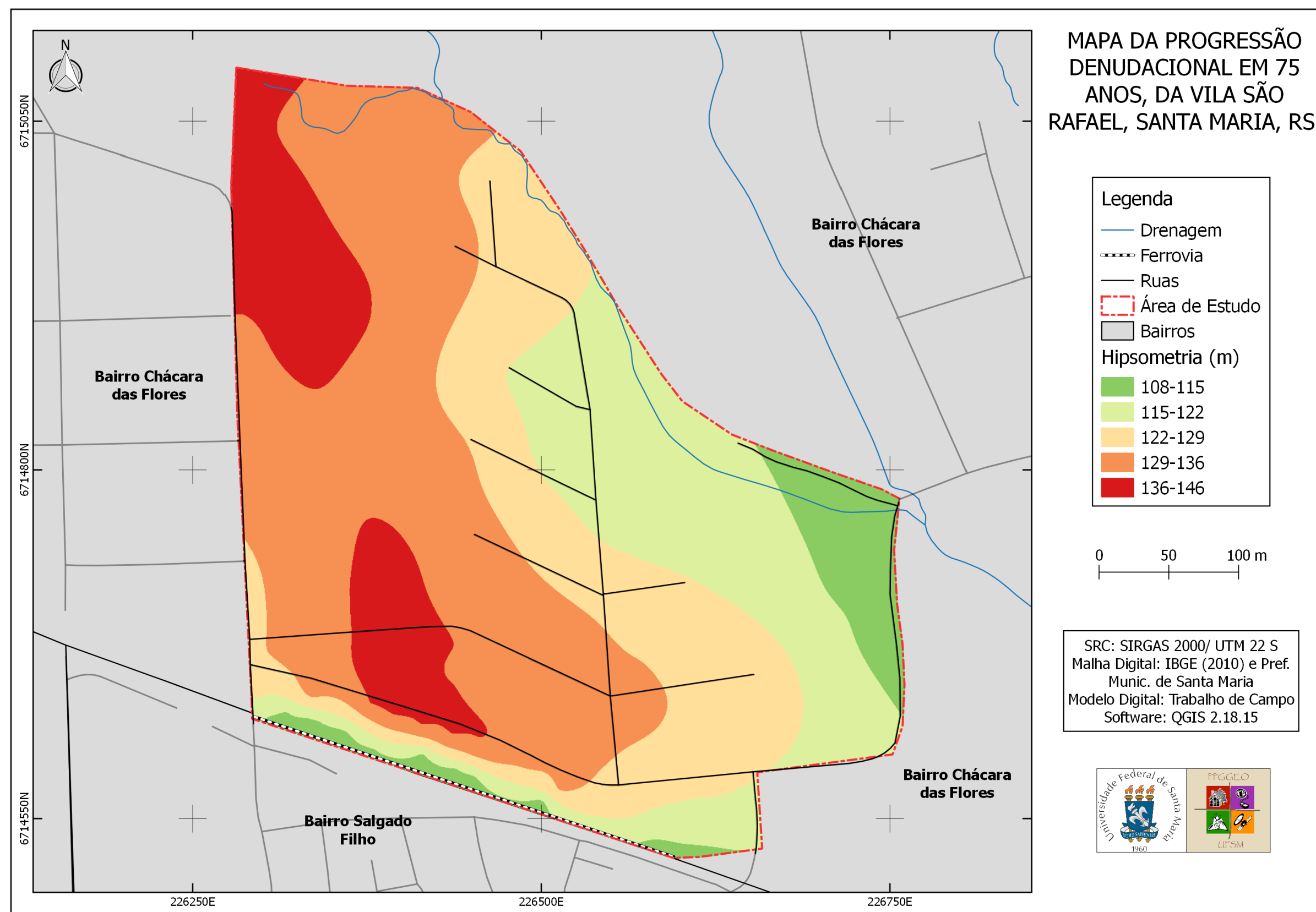
A classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 40.229,00 m² e representa 22,25 % da área de estudo apresentou redução da área nesta classe no valor de -494,50 m² quando comparada com a área de mesma classe no mapa de 50 anos. Ocorreu redução da altitude nesta classe apresentando altura média de denudação de -51,237 cm. Houve, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) na classe, com volume denudado de -253,37 m³.

A classe hipsométrica 122-129 m que possui área de 41.420,00 m² e representa 22,91 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 400,50 m² quando comparada a área desta mesma classe no mapa de 50 anos. Houve aumento da altitude nesta classe que apresentou altura média de denudação de 38,891 cm. Nesta classe ocorreu, portanto, deposição de sedimentos (sedimentação) com volume denudado de 155,76 m³.

A classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 65.988,25 m² e representa 36,49 % da área de estudo apresentou redução da área da área desta classe no valore de -429,75 m² quando comparada com a área desta mesma classe no mapa de 50 anos. Ocorreu redução da altimetria nessa classe apresentando altura média de denudação de -37,632 cm. Houve, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de - 161,72 m³.

A classe hipsométrica 136-146 m que possui área de 22.605,00 m² e representa 12,5 % da área de estudo apresentou redução da área no valor de -1.017,25 m² quando comparada com a área desta mesma classe no mapa de 50 anos. Ocorreu redução altimétricas nesta classe apresentando altura média de denudação de -24,028 cm. Houve, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de -244,42 m³. Veja o mapa de progressão denudacional em 75 anos da Vila São Rafael (Figura 38).

Figura 38 - Mapa da progressão denudacional em 75 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



5.4.6 Mapa da progressão denudacional em 100 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em 100 anos, da Vila São Rafael mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a projeção destas altitudes após um ano de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 22.

Quadro 22 - Variação da altitude em 100 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 100 anos (m) | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 100 | 131,2410 | 134,3800 | 123,1100 | 115,1570 | 128,7930 | 132,8890 | 134,1620 | 123,2460 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados demonstrados no quadro mostram que houve um decréscimo de altitude de 32,9 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 70,0 cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 97,0 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 57,3 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 82,7 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 37,1 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 27,8 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 3,4 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em 100 anos mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 25,3 cm, portanto, menores em relação à média de variação da altitude em 100 anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 76,75 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,033 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 100 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 97,0 cm, ponto (P5) que foi de 83,0 cm, ponto (P2) que foi de 70,0 cm e no ponto (P4) que foi de 57,0 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre

a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em 100 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 3,4 cm, no ponto (P7) que foi de 27,0 cm, no ponto (P1) que foi de 32,0 cm e no ponto (P6) que foi de 37,10 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 100 anos para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 108-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-146 apresentaram os seguintes valores conforme o Quadro 23.

Quadro 23 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em 100 anos.

| Classe | Área (m ²) 75 Anos | Área (m ²) 100 Anos | Área (%) 100 Anos | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 108-115 | 10.586,50 | 11.091,50 | 6,13 | 505,00 | 0,58 | 292,9000 |
| 115-122 | 40.229,00 | 40.692,25 | 22,50 | 463,25 | 0,683 | 316,3998 |
| 122-129 | 41.420,00 | 41.149,00 | 22,76 | -271,00 | -0,507 | -137,3970 |
| 129-136 | 65.988,25 | 68.551,25 | 37,91 | 2.563,00 | 0,501 | 1284,0630 |
| 136-146 | 22.605,00 | 19.344,75 | 10,70 | -3.260,2 | -0,32 | -1043,280 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação em 100 anos apresentados no quadro mostram para a classe hipsométrica 108-115 m que possui área de 11.091,50 m² e representa 6,13 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 505,00 m² em comparação à mesma classe no mapa de 75 anos. Ocorreu aumento da altimetria nesta classe elevando-a 58,0 cm (altura média de denudação). Houve, portanto, sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 292,90 m³.

A classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 40.692,25 m² e representa 22,5 % da área de estudo apresentou aumento da área nesta classe de 463,25 m² quando comparada à

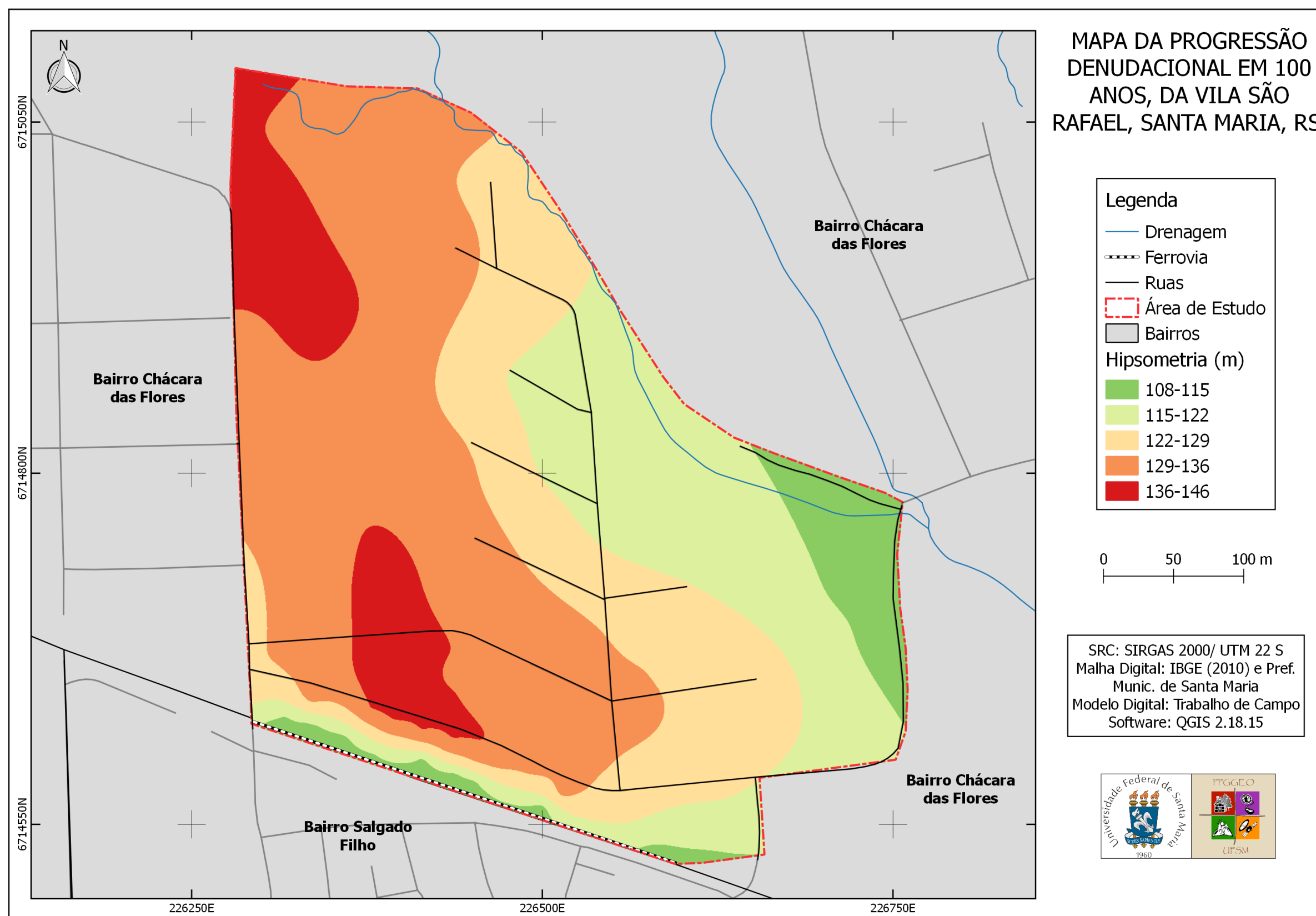
Área de mesma classe no mapa de 75 anos. Houve aumento de altitude nesta classe apresentando altura média de denudação de 68,30 cm. Ocorreu, portanto, sedimentação (ganho de sedimentos) na classe, com volume denudado de 316,40 m³.

A classe hipsométrica 122-129 m que possui área de 41.149,00 m² e representa 22,76 % da área de estudo apresentou redução da área desta classe no valor de -271,00 m² quando comparada a área de mesma classe no mapas de 75 anos. Ocorreu redução altimétricas nesta classe, apresentando altura média de denudação de -50,70 cm. Houve, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de - 137,40 m³.

A classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 68.551,25 m² e representa 37,91 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 2.563,00 m² quando comparada com a área desta mesma classe no mapa de 75 anos. Houve elevação altimétricas nesta classe apresentando altura média de denudação de 50,10 cm. Ocorreu, portanto, sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 1284,06 m³.

A classe hipsométrica 136-146 m que possui área de 19.344,75 m² e representa 10,7 % da área de estudo apresentou redução da área da classe no valor -3.260,25 m² quando comparada com a área da mesma classe no mapa de 75 anos. Houve diminuição da altitude na classe apresentando altura média de denudação de -32,00 cm. Ocorreu, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de - 1043,28 m³. Veja o mapa de progressão denudacional em 100 anos da Vila São Rafael (Figura 39).

Figura 39 - Mapa da progressão denudacional em 100 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



5.4.7 Mapa da progressão denudacional em 1000 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS

Os resultados observados no mapa da progressão denudacional em anos, da Vila São Rafael mostram a comparação entre a altitude atual nos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8) e a projeção destas altitudes após 1000 anos de denudação nas áreas zoneadas que representam os pontos representam conforme mostra o Quadro 24.

Quadro 24 - Variação da altitude em 1000 anos nas áreas (zoneadas) representadas pelos pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8).

| Anos | Variação da altitude em 1000 anos (m) | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
| Atual | 131,5700 | 135,0800 | 124,0800 | 115,7300 | 129,6200 | 133,2600 | 134,4400 | 123,2800 |
| 1000 | 128,2800 | 128,0800 | 114,3800 | 110,0000 | 121,3500 | 129,5500 | 131,6600 | 122,9400 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados demonstrados no quadro mostram que houve um decréscimo de altitude de 329,00 cm na área representada pelo Ponto 1 (P1); decréscimo de 700,00 cm na área representada pelo Ponto 2 (P2); decréscimo de 970,00 cm na área representada pelo Ponto 3 (P3); decréscimo de 573,00 cm na área representada pelo Ponto 4 (P4); decréscimo de 827,00 cm na área representada pelo Ponto 5 (P5); decréscimo de 371,00 cm na área representada pelo Ponto 6 (P6); decréscimo de 278,00 cm na área representada pelo Ponto 7 (P7) e decréscimo de 34,00 cm na área representada pelo Ponto 8 (P8).

Os resultados obtidos para variação de altitude (denudação) em 1000 anos mostram que a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 253 cm, portanto, menores em relação a média de variação da altitude em 1000 anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 767 cm que representa média de decréscimo de altitude 3,031 vezes maior.

A maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 1000 anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3) que foi de 970 cm, ponto (P5) que foi de 830 cm, ponto (P2) que foi de 700 cm e no ponto (P4) que foi de 573 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a

Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior denudação (perda de altitude).

A menor variação de altitude (denudação) em 1000 (mil) anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8) que foi de apenas 34 cm, no ponto (P7) que foi de 278 cm, no ponto (P1) que foi de 329 cm e no ponto (P6) que foi de 371 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor denudação (perda de altitude).

Já os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 1000 anos para a altura média de denudação (cm) e o volume de denudação (m³) nas classes hipsométricas: 102-115; 115-122; 122-129; 129-136 e 136-143 apresentaram os seguintes valores conforme o Quadro 25.

Quadro 25 - Modelo digital de elevação para o volume de denudação (m³) em 1000 anos.

| Classe | Área (m ²) 100 Anos | Área (m ²) 1000 Anos | Área (%) 1000 Anos | Δ Área (m ²) | Alt. Méd. Denudação (m) | Volume Denudado (m ³) |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 102-115 | 11.091,50 | 48.260,50 | 26,69 | 37.169,00 | 5,8 | 215580,2000 |
| 115-122 | 40.692,25 | 29.296,75 | 16,20 | -11.395,5 | -6,83 | 77831,2650 |
| 122-129 | 41.149,00 | 41.593,50 | 23,00 | 444,50 | 5,07 | -2253,6150 |
| 129-136 | 68.551,25 | 59.768,50 | 33,05 | -8.782,75 | -5,01 | -44001,5775 |
| 136-143 | 19.344,75 | 1.909,50 | 1,06 | -17.435,2 | -3,2 | -55792,8000 |
| Total | 180.828,75 | 180.828,75 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos pelo modelo digital de elevação em 1000 anos mostram para a classe hipsométrica 102-115 m que possui área de 48.260,50 m² e representa 26,69 % da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 37.169,00 m² quando comparada à área de mesma classe no mapa de 100 anos. Houve aumento da altitude nesta classe elevando-a 5,8 m (altura média da denudação). Houve, portanto sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 215.580,20 m³.

A classe hipsométrica 115-122 m que possui área de 29.296,75 m² e representa 16,2 % da área de estudo apresentou redução da área nesta classe na ordem de -11.395,50 m² quando comparada à área de mesma classe no mapa de 100 anos. Houve diminuição da altitude nesta classe apresentando altura média de denudação de -683,00 cm. Ocorreu, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) na classe, com volume denudado de -77.831,27 m³.

A classe hipsométrica 122-129 m que possui área de 41.593,50 m² e representa 23% da área de estudo apresentou aumento da área desta classe no valor de 444,50 m² quando comparada a área de mesma classe no mapa de 100 anos. Ocorreu elevação da altitude nesta classe, apresentando altura média de denudação de 507,00 cm. Ocorreu, portanto, sedimentação (ganho de sedimentos) com volume denudado de 2.253,62 m³.

A classe hipsométrica 129-136 m que possui área de 59.768,50 m² e representa 33,05 % da área de estudo apresentou perda de área desta classe no valor de -8.782,75 m² quando comparada com a área desta mesma classe no mapa de 100 anos. Ocorreu redução altimétrica nesta classe apresentando altura média de denudação de -5,01 m. Houve, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de -44.001,58 m³.

A classe hipsométrica 136-143 m que possui área de 1.909,50 m² e representa 1,06 % da área de estudo apresentou redução da área dessa classe na ordem de -17.435,25 m² quando comparada com a área da mesma classe no mapa de 100 anos. Ocorreu diminuição da altitude na classe apresentando altura média de denudação de -320,00 cm. Houve, portanto, dessedimentação (perda de sedimentos) com volume denudado de - 55.792,80 m³.

Os resultados apresentados ao longo de 1000 anos no processo de progressão denudacional mostraram que o relevo não evolui uniformemente. Apresentou diferenças que demonstram que a denudação ocorre em fases que envolve para as classes alternância de: a) perda de altimetria e conseqüentemente dessedimentação (perda de sedimentos) e b) ganho de altimetria por sedimentação (ganho de sedimentos).

O processo de denudação estudado ao longo de 1000 anos mostrou também que a área de maior cota altimétrica na Vila São Rafael perde altimetria constantemente. Houve uma única exceção (mapa de progressão denudacional de 1 ano) que houve aumento na área, altimetria e sedimentação devido a necessidade de interpolar pontos no processo de georreferenciamento com maiores cotas altimétricas fora da área de estudo. Portanto pós 1 ano, no processo de denudação ao longo de 1000 anos houve somente perda altimétrica, dessedimentação e portanto, dissecação do relevo na classe altimétricas mais elevada (136-146 m) que no final do processo precisou ser classificada em (136-143 m).

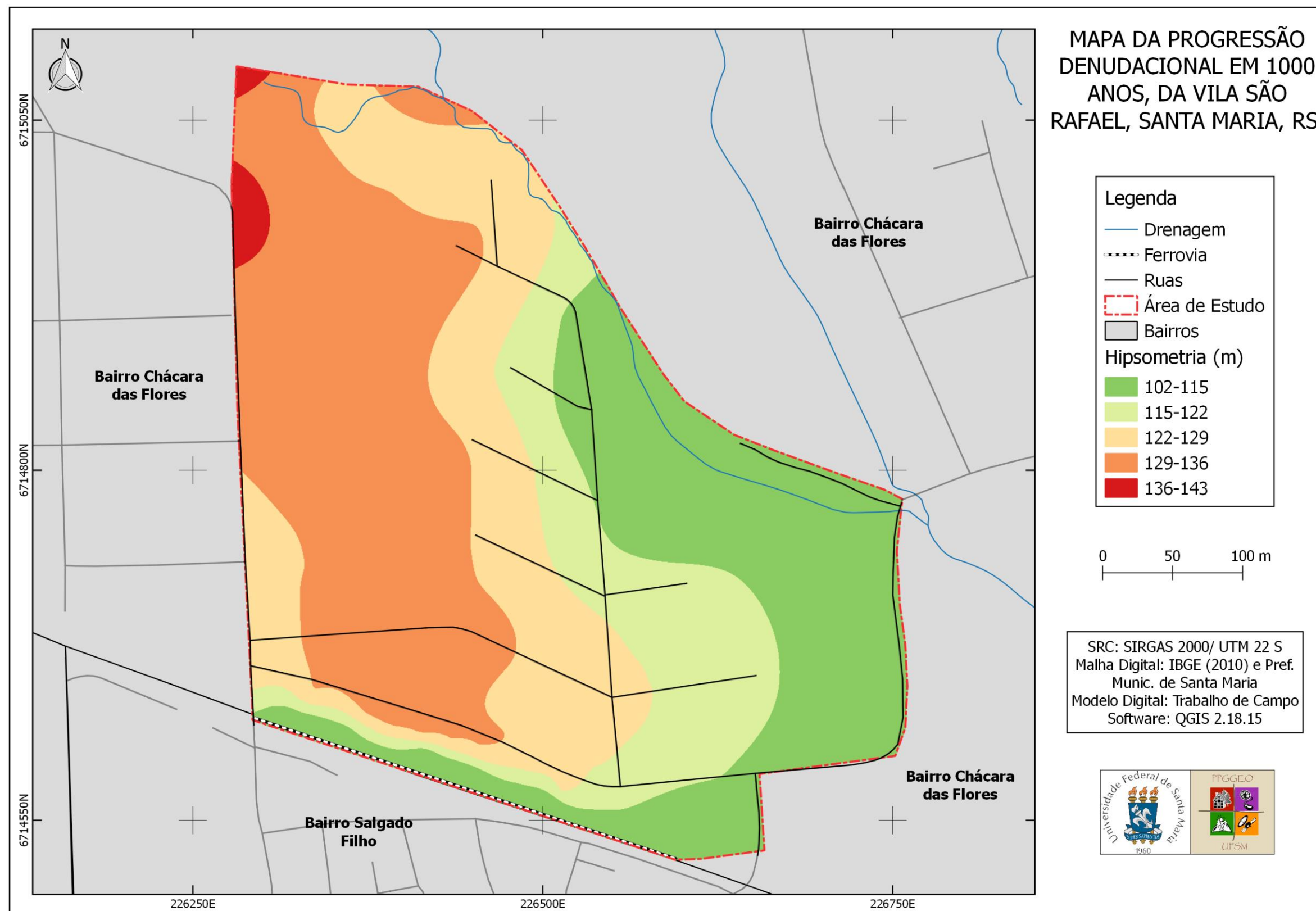
Para as classes intermediárias (115-122/122-129/129-136 m) houve no processo denudacional ao longo de 1000 anos alternância entre: a) aumento da área e elevação do relevo (ganho de sedimentos nas classes) e b) diminuição da área e da altimetria do relevo (perda de sedimentos nas classes).

A classe de menor altimetria (108-115 m) que precisou ser classificada no intervalo de (102-115 m) para o mapa de progressão denudacional de 1000 anos apresentou tendência no

processo de aumento da área e elevação da altimetria. Isto é explicado porque o trabalho não criou classes inferiores fora da área de estudo pra fazer a subtração entre as áreas no processo. Assim, a área de menor cota altimétricas ficou como parte final de deposição o que na realidade não acontece uma vez que os sedimentos são transportados para fora da área de estudo.

Os dados de erosão hídrica e denudação obtidos no ensaio de Inderbitzen (altura do sedimento erodido ao longo de 1000 anos e generalizados por meio de equações matemáticas para a área de estudo que fundamentaram a construção cartográfica dos Mapas de Progressão Denudacional, apresentaram, portanto, deslocamento de agregados e este deslocamento possui como gênese o desequilíbrio de forças do sistema: água e solo. Esse desequilíbrio, portanto acarretou perda de solo superficial que por meio do processo cartográfico foi demonstrado por meio da progressão das classes hipsométricas dos mapas de denudação, mostrando que as classes perdem sedimentos até que o equilíbrio das forças resultantes iguale-se podendo num período posterior haver ganho de sedimentos e aumento da altitude na classe (GUERRA, 2005). Veja o mapa de progressão denudacional em 1000 anos da Vila São Rafael (Figura 40).

Figura 40 - Mapa da progressão denudacional em 1000 anos, da Vila São Rafael, Santa Maria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.5 ANÁLISE INTEGRADA E MAPA DE RECUO DA ENCOSTA ITAGIBA

Os resultados obtidos em laboratório (ensaio de Inderbitzen adaptado) generalizados à área de estudo por meio do recuo da encosta Itagiba - compartimento taxonômico que abrange o 5º Táxon e o 6º Táxon. No 5º Táxon detalha-se a colina numa - área menor (vertente sul da colina) projetando linhas de comportamento (recuo da encosta) no futuro e no 6º Táxon analisa-se de forma integrada os processos erosivos e denudacionais diferenciando os processos erosivos que ocorrem na porção leste da encosta Itagiba dos processos erosivos e denudacionais que ocorrem na porção oeste da encosta Itagiba: sulcos, ravinas, deslizamentos (ROSS, 1992).

A encosta Itagiba foi formada a partir de ações antrópicas (recorte artificial da colina para instalação da ferrovia). As transformações ocorridas modificaram a conformação do relevo que deixou de possuir baixa inclinação na porção sul para adquirir inclinação que pode chegar a 90° na porção leste da encosta Itagiba. Assim, é preciso salientar que o Modelo Digital de Elevação criado para projetar a denudação - redução da altimetria da Vila São Rafael, na encosta Itagiba, os processos erosivos e denudacionais apresentaram-se superiores aos dados do Modelo Digital de Elevação (trabalho de campo). Sabe-se que o Modelo Digital de Elevação baseia-se na erosividade da chuva (laboratório) e na encosta Itagiba há fatores como tombamentos, desmoronamentos e solifluxão que incrementam os valores de recuo da encosta Itagiba. No entanto, os dados podem auxiliar a projetar (linhas de comportamento) o mínimo de recuo e especializar este recuo contribuindo com o poder público para o planejamento da área e avaliação de risco aos moradores que estão sobre a área de estudo.

Os resultados obtidos no mapa de recuo da encosta Itagiba mostram para a linha de comportamento (linha de recuo) os seguintes valores com base no Modelo de Elevação - MDE atual e a progressão denudacional no Quadro 26.

Quadro 26 - Recuo da linha de comportamento na encosta Itagiba.

| Anos Recuo (cm) | 1 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 1000 |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Porção Oeste/ F. Caturrita | 0,253 | 2,53 | 6,325 | 12,65 | 18,974 | 25,3 | 253 |
| Porção Leste/ F. Santa Maria | 0,767 | 7,67 | 19,18 | 38,37 | 57,56 | 76,75 | 767,5 |

Os resultados obtidos pelo ensaio de Inderbitzen (altura dos sedimentos erodidos) generalizados para o recuo da encosta Itagiba mostraram que haverá recuo médio da linha de comportamento 3,03 vezes maior na porção oeste da encosta Itagiba (assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa) - área que vai do ponto 2 (contato litológico) até a rua (sem nome) lateral ao Asilo Itagiba. Assim o recuo médio da linha de comportamento será 3,03 menor na porção leste da encosta Itagiba (assentada sobre a Formação Caturrita) – área que vai da ponte da Vila Vitória na rua Borges de Medeiros até o ponto 2 (contato litológico).

Em um ano haverá recuo médio da encosta Itagiba de 0,252 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita e de 0,767 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, em 10 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 2,52 cm na porção este assentada sobre a Formação Caturrita e de 7,67 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, em 25 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 6,325 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita e de 19,18 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, em 50 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 12,65 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita e de 38,37 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, em 75 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 18,974 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita e de 57,56 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, em 100 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 25,3 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita e de 76,75 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa e em 1000 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 253 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita e de 767,5 cm na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa.

O resultado encontrado para o recuo da linha de comportamento com média de 0,253 cm em um ano na porção oeste (sobre a Formação Caturrita) mostra que a encosta Itagiba em um ano recuará 0,253 cm a partir da linha base atual (limite que ocorre mudança abrupta de declive) avançando para o norte na área de estudo (rua Itagiba). Este valor embora represente um recuo pequeno indica o mínimo que a encosta irá recuar em um ano pois os valores do recuo da encosta Itagiba basearam-se apenas na “erosividade da chuva” (altura do sedimento erodido - ensaio de Inderbitzen). Sabe-se portanto que o recuo da encosta será maior porque o ensaio de Inderbitzen simula aproximadamente em laboratório fatores como: precipitação (intensidade e duração), solos (textura, estrutura, permeabilidade, características químicas e mineralógicas), relevo (declividade). Assim, fatores que interferem nos processos erosivos e

na denudação como: comprimento de rampa, splash das gotículas d'água, velocidade da queda das gotículas, diâmetro das gotículas, energia cinética das chuvas, cobertura vegetal (retirada ou implementação de cobertura vegetal não natural), uso antrópico do solo (urbanização, agricultura) não foram contabilizados como queda de detritos, tombamento de blocos de arenito da Formação Caturrita. Portanto, esses valores representam o mínimo que a encosta irá recuar (ELIZEO POPOLIZIO, 1975; GUERRA E CUNHA, 1998; BIGARELLA, 2003).

Os resultados demarcam, portanto, a área mínima do recuo da encosta Itagiba, por meio dos processos erosivos (erosividade da chuva) mostrando a denudação por meio do recuo da encosta.

Os resultados obtidos no ensaio de Inderbitzen para o recuo da encosta Itagiba comprovam matematicamente (valores) as conclusões de Marques (2010) que alertou a Defesa Civil (Prefeitura Municipal de Santa Maria) para a necessidade da retirada das moradias que se encontravam assentadas sobre a encosta Itagiba (porção leste e porção oeste).

5.5.1 Recuo da porção oeste da encosta Itagiba (Formação Caturrita)

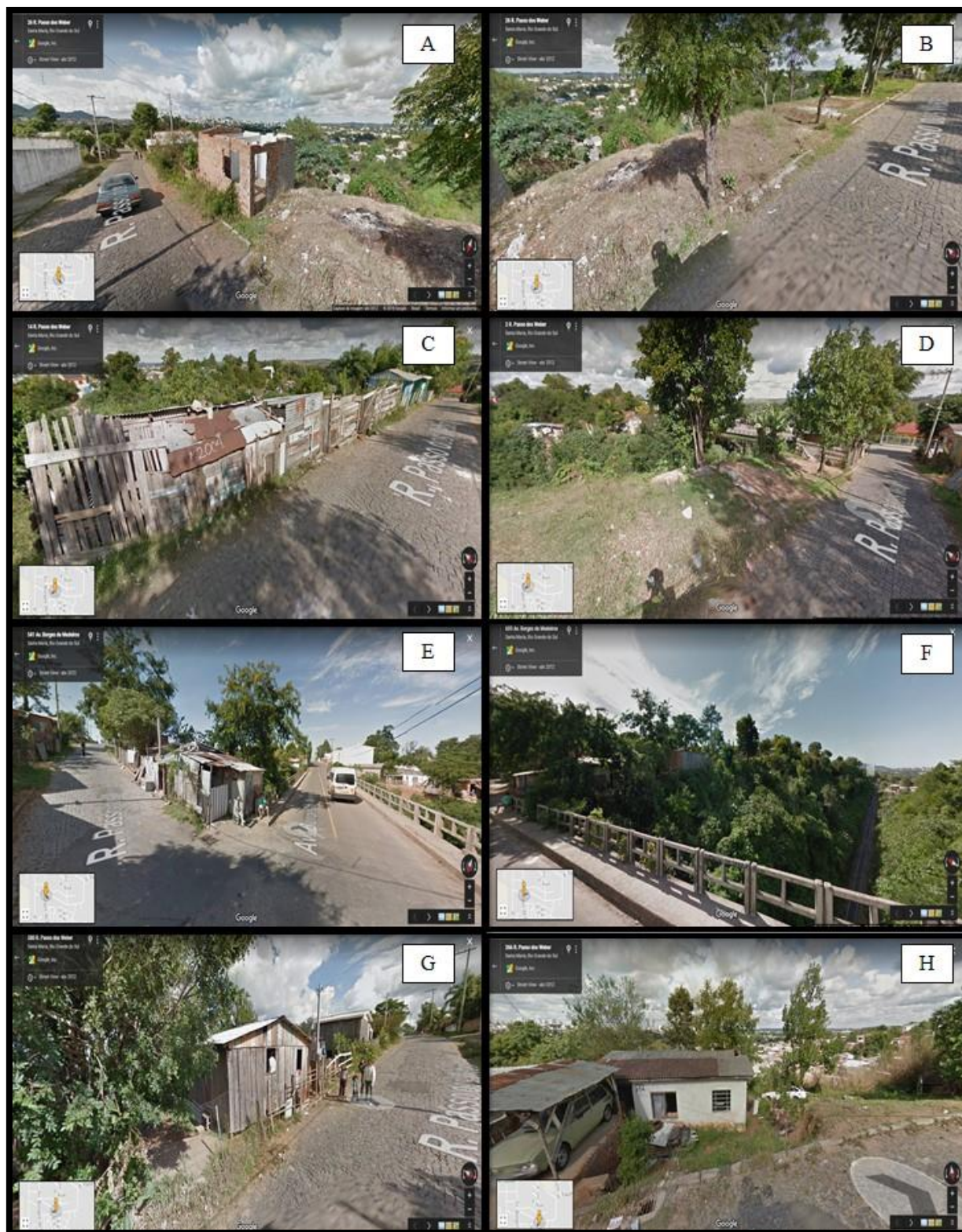
Os resultados obtidos para o recuo da encosta Itagiba na porção oeste, assentada sobre a Formação Caturrita mostram que Marques (2010) estava correto ao recomendar a retirada das moradias que estavam assentadas nesta porção da encosta Itagiba mediante encaminhamento de sua dissertação de mestrado à Prefeitura Municipal de Santa Maria. O trabalho de Marques (2010) forneceu, portanto, suporte técnico-científico para a retirada das famílias que estavam assentadas (até o ano de 2012) sobre a porção oeste da encosta Itagiba conhecida, localmente, por “barranco” (área que vai da ponte da Vila Vitória na Rua Borges de Medeiros até o ponto 2 (P2) contato litológico. As Figuras 41 e 42 mostram o estado de precariedade que viviam estas famílias e a proximidade com destas residências da encosta Itagiba.

Figura 41 - Residências antes da desocupação (2014) na porção oeste da encosta Itagiba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 42 - Área das residências removidas (2014) sobre a porção oeste da encosta Itagiba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As imagens são das residências removidas pela Prefeitura Municipal de Santa Maria no ano de 2012 (residências do “barranco”) que corresponde a área desocupada, como mostrou o Mapa de Uso da Terra com amplitude altimétricas entre a rua Itagiba e a linha férrea podendo atingir 28 metros como mostrou o Mapa Hipsométrico. Não foram removidas, portanto, nenhuma residência das residências da porção leste da encosta Itagiba as quais Marques (2010) também recomendou a remoção.

Em trabalhos de campo realizados com os professores: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho, Prof. Dr. Mauro Kumpfer Werlang e Prof. Dr. Maciel Filho, em 2017, pode-se observar, na encosta Itagiba, o local onde havia residências (barracos).

Por meio de vestígios (parte do piso de uma residência que desmoronou) e o entorno da encosta pode-se mensurar o valor do recuo da encosta Itagiba numa residência desapropriada. As fotografias que mostram as residências sobre o “barranco” evidenciam que evitou-se uma tragédia com a retirada das residências uma vez que houve recuo da encosta Itagiba, próximo ao P2 como mostra o Mapa de Zoneamento entre os anos de 2010 à 2018 no valor de, aproximadamente, 50 a 100 cm. Este recuo (provocado por desmoronamento) mostra-se muito superior aos valores estimados pelo ensaio de Inderbitzen que, em 10 anos, projetou recuo de apenas 2,53 cm. Na porção oeste toda há evidências que o recuo foi maior que o projetado pelo ensaio de Inderbitzen que foi a base de dados para a construção do Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba: áreas de maior susceptibilidade a erosão e denudação. Esses resultados, quando comparados, comprovam, portanto que os dados obtidos no ensaio demarcam valores abaixo do que estão ocorrendo na área de estudo realmente. Os resultados apontam, portanto, por meio da linha de comportamento médio uma demarcação abaixo do que acontecerá. Portanto onde houver demarcação das linhas de comportamento médio representa área que não deve ser ocupada (residências, rodovias). O Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba: áreas de maior susceptibilidade a erosão e denudação, espacializa (recuo) e revela (linhas de comportamento) o recuo do relevo. No entanto, na Figura 43 fica comprovado (trabalho de campo) um destes pontos onde ocorreu o recuo (0,5 a 1 metro) na encosta Itagiba, medidas tomadas em comparação ao piso que restou (Figura 44).

Figura 43 - Recuo da encosta Itagiba próxima ao ponto 2 (P2).



Fonte: Trabalho de campo (2017).

O trabalho de Marques (2010) não estimou matematicamente os valores do recuo da encosta Itagiba, apenas alertou com base nos estudos dos processos erosivos, que esta área poderia sofrer movimento de massa e realmente ocorreu no ano de 2012.

No entanto, na tese são apresentados valores com base no ensaio de Inderbitzen e processos cartográficos que mostram o recuo da encosta Itagiba (centímetros). Os resultados obtidos, neste trabalho, a estimativa futura da linha de comportamento em 1 ano, 10 anos, 25 anos, 50 anos, 75 anos, 100 anos e 1000 anos) é portanto importante para comprovar o mínimo que irá ocorrer (recuo) demarcando, assim, as áreas por meio de linhas de

comportamento médio que não poderão ser ocupadas. O trabalho é sustentado e comprovado matematicamente (laboratório e campo).

Os resultados no Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba: áreas de maior susceptibilidade a erosão e denudação mostram as linhas de comportamento (recoo da encosta Itagiba), mostra os valores do recuo da linha de comportamento na encosta Itagiba em toda encosta Itagiba e não apenas nas áreas desocupadas (“barranco”) pois a área desocupada pela Prefeitura Municipal de Santa Maria como mostra o Mapa de Uso da Terra deu-se apenas sobre a porção oeste da encosta (porção oeste da encosta Itagiba) na qual estava assentada sobre a Formação Caturrita que é susceptível a desmoronamento como mostra a fotografia (Figura 44), onde essa porção da encosta hoje já foi desmoronada e caso as residências não tivessem sido removidas poderia ter ocorrido acidentes.

Figura 44 - Ocupação antrópica sobre a porção oeste da encosta Itagiba.



Fonte: Marques (2010).

O recuo da encosta Itagiba na porção oeste, assentada sobre a Formação Caturrita, como mostra a Figura, responde a processos erosivos superficiais e subsuperficiais no sentido

do fluxo das precipitações como mostra o Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial.

Os resultados do ensaio de Inderbitzen mostram que nesta área há menor perda de sedimentos superficiais pois a camada superficial do solo é influenciada pela litologia que apresenta características que interferem o processo de infiltração (aumenta a medida que a Formação Caturrita fica mais meteorizada) podendo ocorrer desmoronamento desta porção da encosta Itagiba (MACIEL FILHO, 1990).

Os dados obtidos no ensaio de Inderbitzen também mostram que a altura de sedimento erodido em 1 (um) ano das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita apresentaram valores médio entorno de 0,253 cm, portanto, menores em relação a média da altura de sedimento erodido em 1 (um) ano para as amostras de solo superficial que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,7675 cm, portanto, 3,033 vezes maior.

Os resultados obtidos mostram ainda que na porção oeste da encosta Itagiba, que está assentada sobre a Formação Caturrita como mostra o Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial possui características físico-hídricas com predomínio de textura areia franca (análise granulométrica) na camada superficial do solo, apresentando frações granulométricas com características de materiais não coesivos que depende (erosão) basicamente das forças de atrito, rugosidade da superfície das partículas, ângulo de repouso e a inclinação da rampa (relevo) para alterarem as forças gravitacionais, exercendo assim, força ou não para o desprendimento dos agregados do solo. Assim, a camada superficial do solo na porção oeste da encosta Itagiba apresenta solo superficial com propriedade eletrostática proporcionando às moléculas de água e minerais - quando uma pequena quantidade de água preenche os espaços entre as partículas (poros), aumento à resistência frente à erosão o que vai ao encontro dos estudos realizados por Maciel Filho (1990).

Pode-se dizer que a denudação na porção oeste da encosta Itagiba é afetada pelas características físico-hídricas da camada superficial do solo que possui características da própria Formação Caturrita onde predomina fração granulométrica mais grosseira cimentada, segundo Maciel Filho (1990). Possui, portanto, uma fração com maior presença de areia cimentada que tende a erodir e denudar mais lentamente.

A denudação na porção oeste da encosta Itagiba demonstrada nos dados de erosão hídrica apresentada no ensaio de Inderbitzen (altura do sedimento erodido ao longo de 1000 (mil) anos e generalizados por meio de equações matemáticas para a área de estudo, mostraram que houve deslocamento de partículas e este deslocamento possui como gênese o

desequilíbrio principalmente da relação de forças do sistema: água, solo e declive. Esse desequilíbrio, condiciona perda de solo superficial que condiciona o recuo da encosta Itagiba como mostra o Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba: áreas de maior susceptibilidade a erosão e denudação demarcando por meio da linha de comportamento da atualidade até 1000 (mil) anos as áreas susceptíveis a erosão e denudação assim como os valores deste recuo que mesmo abaixo do valores verificados em campo podem fornecer estimativas para o poder público atuar preventivamente.

A denudação acarretada pela erosão hídrica, portanto, age na desagregação dos agregados da camada superficial do solo e, dessa forma, a textura do solo e as propriedades coesivas e eletrostáticas condicionam menor perda de sedimentos sobre os solos que estão sobre a Formação Caturrita (porção oeste da encosta). Nesse sentido, Lima (2010) esclarece que, a erosão hídrica ocorre pela retirada de partículas do solo pela chuva por intermédio do escoamento superficial em lâminas de fluxos que as carregam e depositam a jusante e essa denudação é revelada pela perda de sedimentos na encosta Itagiba que é depositada no muro de contenção construído ao lado da ferrovia como mostra a Figura 45.

Figura 45 - Área de deposição denudacional na porção oeste da encosta Itagiba.



O Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial indica o sentido do escoamento superficial da água e, portanto, o fluxo de arraste dos agregados e a deposição dos sedimentos erodidos no processo de denudação. O processo que condiciona o recuo da encosta Itagiba está intimamente relacionado com os caminhos tomados pela água sobre a superfície do solo, pois a chuva que atinge a camada superficial do solo na porção oeste da encosta Itagiba pode ser armazenada em pequenas depressões ou depressões na superfície ou pode infiltrar-se no solo, contribuindo para o armazenamento da umidade do solo que na encosta Itagiba é mais úmida (vertente sul). Pode ocorrer, também, movimento lateral subsuperficial no solo podendo condicionar desmoronamento e, por fim, quando o solo é incapaz de absorver mais água, o excesso contribui para o escoamento superficial, resultando em erosão por escoamento superficial como mostram os resultados obtidos no ensaio de Inderbitzen para o volume de sedimentos erodidos (cm^3) que mostraram os valores do volume de sedimentos erodidos das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita nos quatro pontos, apresentaram valores médio em torno de $0,234 \text{ cm}^3$, portanto, menores em relação a média da perda de sedimentos (peso) para as quatro amostras de solo superficial que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente $0,699 \text{ cm}^3$ (MORGAN, 2005)

O recuo da encosta Itagiba, ao compararmos a porção oeste (Formação Caturrita) e a porção leste (Formação Santa Maria - Membro Alemoa) mostra resultados diferentes. Os resultados encontrados para a altura de sedimento erodido em 1 (um) ano no ensaio de Inderbitzen mostra que a altura de sedimento erodido em 1 (um) ano das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita, nos quatro pontos, apresentaram valores médios em torno de $0,253 \text{ cm}$, portanto, menores em relação a média da altura de sedimento erodido em 1 (um) ano para as quatro amostras de solo superficial que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente $0,7675 \text{ cm}$ que é cerca de 3,033 vezes maior. Portanto, o recuo da encosta Itagiba na porção leste é 3 vezes maior.

Os resultados para o recuo da encosta Itagiba ao longo de 1000 anos mostram que a denudação será menor na porção oeste pois os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido ao longo de 1000 (mil) anos apresentam a mesma proporção encontrada em 1 (um) ano. Assim, a altura de sedimento erodido das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita nos quatro pontos apresentaram valores médio entorno de $0,253 \text{ cm}$ que é menores em relação a média da altura de sedimento erodido ao longo de 1000 anos para as quatro amostras de solo superficial que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente $0,7675 \text{ cm}$ que é cerca de 3,033 vezes maior.

Esses dados são facilmente constatados devido a denudação já ocorrida que mostram o relevo menos denudado por meio do mapa hipsométrico na porção oeste e mais denudado na porção leste.

Os dados obtidos para o recuo da porção oeste da encosta Itagiba mostram, portanto que haverá recuo médio da linha de comportamento em 1 (um) ano de de 0,252 cm na porção oeste assentada sobre a Formação Caturrita, em 10 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 2,52 cm na porção este, em 25 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 6,325 cm na porção oeste, em 50 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 12,65 cm na porção oeste, em 75 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 18,974 cm na porção oeste, em 100 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 25,3 cm na porção oeste e em 1000 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 253 cm na porção oeste.

O Mapa de Recuo da encosta Itagiba e os valores obtidos no ensaio de Inderbitzen Adaptado, mostram na porção oeste, por meio das linhas de comportamento médio (linhas de recuo) que com a remoção das residências sobre o “barranco” pela Prefeitura Municipal de Santa Maria haverá apenas o avanço da encosta Itagiba sobre a Rua Itagiba ao final 100 anos sem obras para conter o avanço da encosta a rodovia estará completamente denudada. No entanto, apresenta pontos que podem interrompê-la em menos tempo. Salientando que os resultados são uma estimativa menor do que ocorrerá. Após 100 anos os terrenos e casas localizados à esquerda da Rua Itagiba (sentido oeste-leste) estarão comprometidas e terão que ser desocupadas uma vez que a linha de comportamento médio para esse intervalo de tempo mostra para a porção oeste da encosta que irá atingi-las.

Com o recuo da encosta Itagiba, na porção oeste, haverá danos na cabeceira da ponte da Vila Vitória necessitando obras para contenção de sedimentos (Prefeitura tem aterrado a cabeceira da ponte segundo moradores há décadas).

A Rua Passo dos Webers (Prefeitura) também chamada localmente de Rua Itagiba está no Programa de Aquecimento Econômico como um projeto para ligar o bairro Chácara das Flores ao bairro Perpétuo Socorro. Neste projeto é previsto asfaltamento e melhoria na iluminação. Os dados obtidos, neste trabalho, indicam que poderá haver investimento de dinheiro público numa rodovia que precisará de obras de contenção para a denudação que podem custar mais recursos (muros de concreto por exemplo) a partir de 25 anos pois a linha de comportamento médio indica início do recuo sobre a rua Itagiba a partir deste intervalo de tempo. Os resultados apontam que a melhor possibilidade para ligar os dois bairros é a desapropriação de duas chácaras no Passo dos Webers e a sequência da rua 2 da Vila São Rafael para leste até a ponte passo dos Weber como mostra o Mapa de Uso da Terra .

As casas da margem esquerda da Rua Passo dos Weber precisarão ser removidas entre 75 a 100 anos segundo os dados obtidos pelo ensaio de Inderbitzen Adaptado e o Mapa de Recuo da encosta Itagiba pois a partir de 75 anos, no entanto sabe-se que estes dados mostram os processos erosivos e a denudação mínimos (erosividade da chuva). Sabe-se que o corte topográfico como mostra o Mapa de Perfis Topográficos e a maior inclinação como demonstra o Mapa Clinográfico assim como o sentido do fluxo superficial demonstrado no Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial, a maior umidade devido a posição sul são fatores que contribuirão para o processo de desmoronamento e não há como prever esse tipo de movimento de massa nem o quanto em área, volume, irá desmoronar.

Os resultados mostram que o declive aumenta a perda de sedimentos e portanto o corte topográfico que alterou o declive e a conformação do relevo acelerará os processos erosivos e a denudação em 1000 anos podendo antes de 50 anos estar colocando os moradores da margem esquerda da rua Itagiba na área susceptível a erosão e denudação demarcada pelas linhas de comportamento médio apresentadas no Mapa de Recuo da Encosta Itagiba e os valores deste recuo.

5.5.2 Recuo da porção leste da encosta Itagiba (Formação Santa Maria - Membro Alemoa)

Os resultados obtidos para o recuo da encosta Itagiba na porção leste que está assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, na área de abrangência que vai do contato litológico no ponto 2 (P2) até a rua lateral (viela sem nome) do Asilo Vila Itagiba, mostram que Marques (2010) também estava correto ao alertar à Prefeitura Municipal de Santa Maria para a retirada das moradias assentadas nesta porção da encosta. No entanto, não houve a retirada das residências sobre essa área.

Há ocorrência comprovada de uma casa que foi destruída num evento de deslizamento ocorrido em 2015 (9/10/2015) quando ocorreu um evento extremo de precipitação (acima da reta de tendência em 20 anos) segundo Eltz, Reichert e Cassol (1992). Neste evento extremo de precipitação a cidade de Santa Maria (RS) registrou a 2º maior volume de chuva no mundo ocupando o segundo lugar no ranking das cidades que registraram os maiores volumes de chuva em todo o mundo, apresentando 181 mm em 24 horas no dia (09/10/2015) (WMO, 2017).

Neste dia ocorreu, portanto o deslizamento da casa (sem número) que fica no final (Sul) da Rua Alcides Pereira dos Santos como mostrou o Mapa Base sobre a encosta. Esta

casa foi fotografada por Marques (2010), num ângulo (fotografia tirada a partir dos trilhos) que mostrava a proximidade da residência da encosta Itagiba, os sulcos erosivos formados por eventos de precipitação e, portanto, o risco de deslizamento. Na noite do dia 09/10/2015 às 23 horas (Protocolo nº 2015003 - DF) houve a retirada da família, que morava na residência pela Defesa Civil e Corpo de Bombeiros, horas antes da casa deslizar.

Os resultados mostram que o recuo da encosta Itagiba na porção leste é 3,033 vezes maior e que o limite de liquidez da camada superficial do solo próxima da residência é de 45%. Portanto, a retirada dos moradores provavelmente só foi possível porque a residência não entrou em colapso por inteiro, num primeiro momento, pois as peças do fundo da residência entraram primeiramente em processo de solifluxão lenta provavelmente por ter atingido o Limite de Liquidez (saturação do solo), passando o solo a comportar-se como um fluido, dando tempo neste caso para a retirada dos moradores evitando uma tragédia. Na residência moravam quatro pessoas (casal, filha e neta recém nascida). Veja a imagem (Figura 46) da antiga residência.

Figura 46 - Residência frente a Rua Alcides Pereira dos Santos sobre a Formação Santa Maria que deslizou em 2015.



Fonte: Marques (2010).

Após o deslizamento houve a reocupação, aterro e construção de uma nova casa sobre o mesmo local como mostra a Figura 47.

Figura 47 - Residência construída sobre o aterro onde houve o deslizamento.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Os resultados obtidos, neste trabalho, são comprovados também no intervalo de 8 anos, entre o trabalho realizado por Marques (2010) até a atualidade, por meio do recuo da porção leste da encosta Itagiba.

Os resultados mostram, por meio das linhas de comportamento médio, que toda a porção leste da encosta Itagiba está demarcada pelas linhas de comportamento médio. Isto significa que a qualquer momento pode ocorrer deslizamento e solifluxão, pois a camada superficial do solo sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa possui características físicas e comportamento físico-hídricos semelhante a litologia. Apresenta, portanto, semelhanças quanto a estrutura maciça e processo de expansão e contração (esmectita 2:1) que condiciona rachaduras na camada superficial do solo seco formando fendas e fissuras (MACIEL FILHO, 1990).

E, são essas fissuras, na camada superficial do solo, que facilitam a infiltração das precipitações transportando sedimentos e colóides num primeiro momento e acelerando esse processo devido a impermeabilidade da camada subsuperficial argilosa que faz com que a

água ao atingi-la começa a escoar horizontalmente no horizonte hortoniano aumentando, assim, a capacidade de perda de sedimentos e a denudação em 3,033 vezes na porção leste da encosta Itagiba, quando comparada a porção este sobre a Formação Caturrita.

A porção leste da encosta Itagiba apresenta, portanto, um elevado número de ravinas e sulcos que intensificam a dissecação. Essa dissecação é a maior apresentada no relevo da área de estudo e pode ser verificada nos Mapa dos Perfis Topográficos, no Mapa de Hipsométrico e no Mapa Clinográfico comparando a porção leste da encosta Itagiba com a porção oeste.

As linhas de comportamento médio que mostram o recuo da encosta Itagiba na porção leste demarcam essa área (urbanizada e irregular), como área susceptível a erosão e denudação devendo ocorrer a remoção das moradias como ocorreu na porção oeste (barranco).

A erosão laminar (erosividade simulada em laboratório no ensaio de Inderbitzen) mostra-se no escoamento superficial no qual os fragmentos são transportados pela erosão ocorrendo a denudação da porção leste da encosta Itagiba e o recuo médio das linhas de comportamento. Aumentando a precipitação, aumenta a perda de sedimentos e, na porção leste da encosta Itagiba, que apresenta grau de flocculação médio para os quatro pontos dos solos superficiais sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, com valor de 55,95, por possuir média da fração argila que no ponto 2 e ponto 3 possuem média de 44,02 %, sendo os maiores índices da Vila São Rafael, o que acarreta maior grau de flocculação e perda de colóides e agregados assim como a concentração de sulcos e ravinas na porção leste da encosta Itagiba (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1985; MACIEL FILHO, 1997; BIGARELLA, 2003; CASAGRANDE, 2004).

Os resultados obtidos no mapa de recuo da encosta Itagiba mostram a partir das linhas de comportamento médio na porção leste da encosta Itagiba assentada sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que haverá, em 1 (um) ano, recuo médio de 0,767 cm, em 10 anos haverá recuo médio de 7,67 cm, em 25 anos haverá recuo médio de 19,18 cm, em 50 anos haverá recuo médio de 38,37 cm, em 75 anos haverá recuo médio de 57,56 cm, em 100 anos haverá recuo médio de 76,75 cm e em 1000 anos haverá recuo médio de 767,5 cm.

O resultado encontrado para o recuo da linha de comportamento com média de 0,767 cm em um ano na porção oeste (sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa) mostra que a encosta Itagiba em um ano recuará 0,767 cm a partir da linha base atual (limite que ocorre mudança abrupta de declive) avançando para o norte na área de estudo (rua Itagiba). Avanço observado na Figura 48.

Figura 48 - Fotografia da rua Itagiba mostrando o avanço da encosta Itagiba na porção final leste.



Fonte: Trabalho de campo (2018).

Como mostra a Figura, houve avanço da porção final leste da encosta Itagiba de 0,5 m a 1 metro em 8 anos nesta área (próximo ao P2). Os valores encontrados pelo ensaio de Inderbitzen para 10 anos são de apenas 7,67 cm, portanto o valor representado de 0,767 cm de recuo em um ano representa o mínimo de recuo que a encosta irá recuar em um ano pois os valores do recuo da encosta Itagiba basearam-se apenas na “erosividade da chuva” (altura do sedimento erodido - ensaio de Inderbitzen) e como visto e mensurado no trabalho de campo, o recuo da encosta será maior porque o ensaio de Inderbitzen simula aproximadamente, em laboratório fatores como: precipitação (intensidade e duração), solos (textura, estrutura, permeabilidade, características químicas e mineralógicas) e o relevo (declividade). Deixa-se, portanto, de considerar também como na porção outros fatores que interferem nos processos erosivos e na denudação como: comprimento de rampa, splash das gotículas d’água, velocidade da queda das gotículas, diâmetro das gotículas, energia cinética das chuvas, cobertura vegetal (retirada ou implementação de cobertura vegetal não natural), uso antrópico do solo (urbanização, agricultura) não foram contabilizados. Portanto, esses valores representam o mínimo que a encosta irá recuar (ELIZEO POPOLIZIO; 1975; GUERRA e CUNHA, 1998; BIGARELLA, 2003).

Os resultados demarcam, portanto, a área mínima do recuo da encosta Itagiba, por meio dos processos erosivos (erosividade da chuva) mostrando a denudação por meio do

reco da encosta. Pode ocorrer em alguns pontos avanço maior devido a movimentos de massa (deslizamentos).

A porção leste da encosta Itagiba é uma área susceptível a deslizamento e estes deslizamentos são difíceis de serem previstos. O que os resultados mostram é a relação dos parâmetros físicos-hídricos, principalmente o limite de liquidez com o deslizamento ocorrido no ano de 2015. Os resultados para o limite de liquidez da camada superficial do solo encontrado próximo da residência que deslizou valores de 53% para o ponto (P2) e 53% para o ponto 3 (P3) correspondem aos maiores valores percentuais encontrados na Vila São Rafael. Como o deslizamento ocorreu num evento extremo de precipitação, acima da reta de tendência em 20 anos segundo Eltz, Reichert e Cassol (1992). Segundo a Organização Meteorológica Mundial o valor acumulado foi de 181 mm em 24 horas no dia (09/10/2015). É, portanto, provável que em novos eventos extremos de precipitação poderá ocorrer novos deslizamentos e que estes deslizamentos estejam relacionados ao limite de liquidez nesta porção. Embora seja difícil traçar um prognóstico para indicar um ponto crítico que indique o um valor de segurança (intervalo); isto é: a partir de que índice pluviométrico iniciará o processo de solifluxão e deslizamento há a possibilidade de determinar que quando este solo atingir 53% de saturação a camada superficial do solo passará a comportar-se como um fluído.

Esta saturação da camada superficial do solo pode provocar sulcos, ravinas. No entanto, os deslizamentos podem estar relacionados aos índices de precipitação extremos. Pois a média de precipitação em Santa Maria e, portanto, nesta área é de 120 mm ao mês e os deslizamentos não ocorrem com frequência. No entanto em anos de El Niño ou choque de massas de ar (circulação secundária da atmosfera), na qual pode ocorrer Frente Reflexa - Frontogênese Estacionária, aumenta, em grandes proporções, os índices de precipitações (fenômeno que ocorreu no dia 09/10/2015). Assim, nestes eventos extremos de precipitações a camada superficial do solo satura assim como as camadas subsuperficiais do solo sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa saturam aumentando também a capacidade do fluxo hortoniano escoamento subsuperficial da água acima da camada impermeável subsuperficial com fluxo no sentido N-S, como mostra o Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo de Água Superficial podendo condicionar assim os processos de solifluxão (quando o solo começa a se portar como um fluído mas escoo lentamente dando tempo dos moradores abandonarem as residências) e deslizamentos que são movimentos de massa rápido que não dão espaço de tempo para a retirada dos moradores. Portanto, os prognósticos para a porção leste da encosta Itagiba são dois: um para índices de precipitações que não fogem da média

das precipitações da área de estudo e, outro, para os índices de precipitações que excedem muito as precipitação meteórica da área de estudo.

Os resultados encontrados no ensaio de Inderbitzen e generalizados à porção leste da encosta Itagiba mostram que a altura de sedimento erodido em um ano das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa apresentaram valor médio de 0,675 cm, portanto, que representa valores 3,033 vezes maior em relação a porção oeste da encosta Itagiba.

A textura da camada superficial do solo mostram nos resultados que na porção leste da encosta Itagiba, assentada sobre a Formação Santa Maria (Mapa Unidades Geotécnicas), há predomínio de textura argilo arenosa com percentual elevado de fração argila 44,51 % no ponto 2 (P2) e 43,53 % no ponto 3 (P3). A camada de solo superficial na porção leste da encosta Itagiba representada pelos pontos (P1 e P2) apresenta portanto resistência erosiva inversamente proporcional a quantidade de água devido à capacidade de coerção – solo coesivo (teor de argila superior a 15%), possuindo força de atração eletrostática entre as partículas de argila. A resistência erosiva deste solo (P2) por ser argiloso decresce diretamente proporcional à umidade pois quanto mais úmido estiver o solo (P2) maior o preenchimento dos poros com água, maior será a formação de sulcos e ravinas, num primeiro momento, até que atinja a saturação o que pode levar à ocorrência de solifluxão e deslizamento.

Na porção leste da encosta Itagiba ocorre dois processos distintos: quando o solo está saturado tende a portar-se como um fluido diminuindo a resistência à erosão. No entanto, quando o solo está seco, a resistência erosiva incrementa porque existe um maior contato entre as partículas afetando desde o crescimento das plantas como o uso do solo para construção civil, pois as casas de alvenaria na porção leste da encosta Itagiba apresentam frequentes danos com rachaduras nas paredes devido a contração e expansão da argila, como Maciel Filho (1990) aborda a presença de esmectita 2:1 (argilomineral expansivo e contrativo).

A denudação na porção leste da encosta Itagiba, verificada nos resultados do ensaio de Inderbitzen Adaptado, é afetada pelas características físico-hídricas da camada superficial do solo, que possui características da própria Formação Santa Maria - Membro Alemoa onde predomina fração granulométrica mais fina e argilosa sendo facilmente removida quando seca (formação de concreções) e quando saturadas - muito úmidas (floculação das argilas) (MACIEL FILHO, 1990).

A denudação na porção leste da encosta Itagiba demonstrada nos dados de erosão hídrica apresentada no ensaio de Inderbitzen (altura do sedimento erodido ao longo de 1000

anos e generalizados por meio de equações matemáticas para a área de estudo, mostraram que a conformação do relevo (recoo e denudação) é maior na porção leste como mostra as linhas de comportamento no Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba. O Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial indica o sentido do escoamento e, portanto, a deposição dos sedimentos erodidos no processo de denudação que é retirado para fora da área de estudo sendo depositada ao lado da ferrovia até o muro de contenção. Assim, o processo que condiciona o recuo da encosta Itagiba está intimamente relacionado com os caminhos tomados pela água sobre a superfície do solo, pois a chuva que atinge a camada superficial do solo na porção leste da encosta Itagiba pode ser armazenada em pequenas depressões ou depressões na superfície ou pode infiltrar-se no solo, contribuindo para o armazenamento da umidade do solo que na encosta Itagiba é mais úmida (vertente sul). Pode ocorrer também movimento lateral subsuperficial no solo podendo condicionar na ordem: sulcos, ravinas, solifluxão e deslizamentos quando o solo é incapaz de absorver mais água, sobrecarregando a camada superior do solo acima do horizonte hortoniano e rompendo a relação de forças no plano inclinado do terreno causando assim deslizamentos e/ou solifluxão (BIGARELLA, 2003); (MORGAN, 2005).

O escoamento superficial da água na porção leste da encosta Itagiba é demonstrado por meio dos resultados obtidos no ensaio de Inderbitzen para o volume de sedimentos erodidos (cm^3) que mostraram os valores do volume de sedimentos erodidos das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa para os quatro pontos valores $0,699 \text{ cm}^3$, portanto, superior ao volume de sedimentos erodidos das quatro amostras de solo superficial assentadas sobre a Formação Caturrita submetidas ao mesmo ensaio que apresentou valor de $0,234 \text{ cm}^3$.

Ao compararmos o recuo da encosta Itagiba (porção leste e porção oeste) os resultados encontrados para a altura do sedimento erodido em um ano no ensaio de Inderbitzen mostram que a altura de sedimento erodido em um ano das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa foi de $0,7675 \text{ cm}$, portanto, 3,033 vezes maior que os valores obtidos para a Formação Caturrita nos quatro pontos que apresentaram valor médio de $0,253 \text{ cm}$. As linhas de comportamento do mapa de recuo da encosta Itagiba, portanto, avançarão 3 vezes mais demarcando, assim, que uma maior área será erodida e denudada na porção leste da encosta Itagiba em um ano. Praticamente toda a rua Passo dos Weber que encontra-se junto a linha base, no extremo leste da encosta, será afetada mesmo sendo o valor menor que 1 cm para um ano. Isto implica numa área (comprimento ao longo da rua Itagiba) que necessitará de obras com custo elevado devido a altitude que separa a linha

base nesta porção. Já há a necessidade de muro de contenção devido a possibilidade de ocorrência de acidentes no local.

Os resultados para o recuo da encosta Itagiba ao longo de 1000 anos mostram que a denudação será maior na porção leste pois os resultados obtidos para a altura de sedimento erodido ao longo de 1000 anos apresentam a mesma proporção encontrada em um ano. Portanto, a altura de sedimento erodido das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita nos quatro pontos apresentaram valores médios em torno de 0,253 cm, que é menores em relação a média da altura de sedimento erodido ao longo de 1000 anos para as quatro amostras de solo superficial que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente 0,7675 cm que é cerca de 3,033 vezes maior. Esses dados são facilmente constatados devido a denudação já ocorrida que mostram o relevo mais denudado atualmente na porção leste como mostra o Mapa Hipsométrico e menos denudado na porção oeste.

Os dados obtidos para o recuo da porção leste da encosta Itagiba mostram, portanto que haverá recuo médio da linha de comportamento em um ano de 0,767 cm; em 10 anos haverá recuo médio de 7,67 cm; em 25 anos haverá recuo médio de 19,18 cm; em 50 anos haverá recuo médio de 38,37 cm; em 75 anos haverá recuo médio de 57,56 cm; em 100 anos haverá recuo médio de 76,7 cm e em 1000 anos haverá recuo médio da encosta Itagiba de 767,5 cm na porção leste.

Por meio dos dados do ensaio de Inderbitzen Adaptado que mensura o recuo da encosta Itagiba em 1000 anos e com base no Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba, na porção leste, mostra por meio das linhas de comportamento médio (linhas de recuo) as residências que não foram retiradas da porção leste da encosta Itagiba estão na área demarcada como susceptível a erosão e denudação devendo, portanto, ser removidas pela Prefeitura Municipal de Santa Maria.

Os resultados apontam ainda para o avanço da encosta Itagiba sobre a Rua Itagiba atualmente e mostra que a rua Itagiba estará completamente erodida e denudada com recuo da encosta tomando toda a rua em 75 anos caso não haja obras para conter o avanço da encosta na rua Passo dos Weber. No entanto, apresenta pontos que podem interrompê-la em menos tempo devido aos movimentos de massa, pois estes dados representam apenas o mínimo de recuo por meio da erosividade. Atualmente, só passa um carro por vez na rua Itagiba próximo ao ponto 3 (P3) Em 25 anos, caso não haja obras próximo ao ponto 3 (P3), os dados obtidos no ensaio de Inderbitzen Adaptado (quadro 29) e as linhas de comportamento do Mapa de

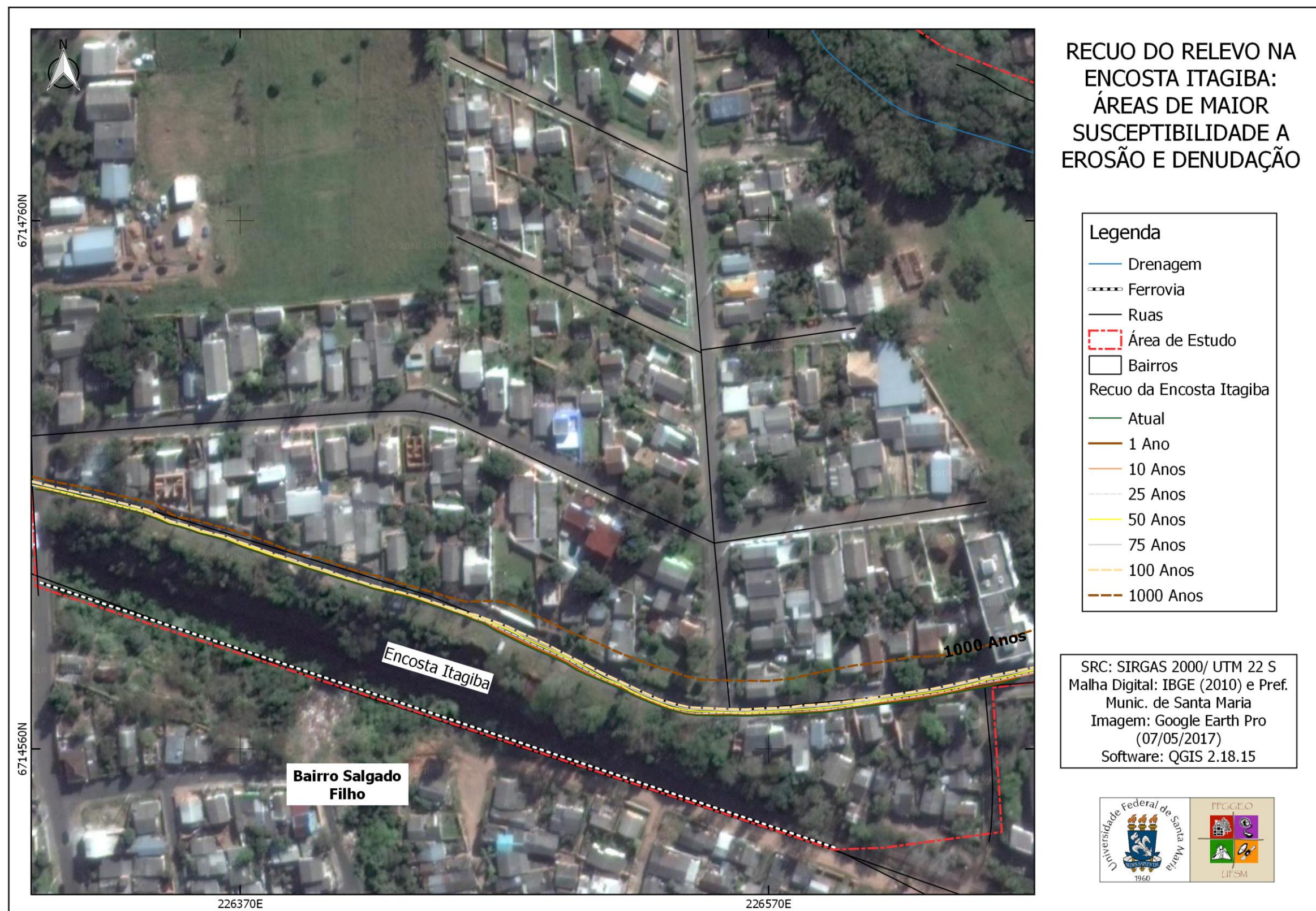
Recuo do Relevo na encosta Itagiba, mostram que, esta área, poderá estar obstruída, não havendo nenhum reparo como: aterros e barreiras de contenção.

Os resultados são uma estimativa menor do que ocorrerá. Após 50 anos os terrenos e casas localizados à esquerda da Rua Itagiba (sentido oeste-leste) próximas ao ponto 3 (P3) estarão demarcadas na linha de comportamento e terão que ser desocupadas uma vez que a linha de comportamento médio para esse intervalo de tempo mostra para a porção leste da encosta continuará avançando. Com o recuo da encosta Itagiba, portanto, na porção leste haverá danos na rua Passo dos Weber na Vila São Rafael sendo necessário que o poder público ou privado efetuem obras e estas podem ser bastante onerosas ao erário público devido a extensão da obra e o tipo de obra a ser efetivada para contar grandes proporções de massa de solo.

A rua Passo dos Weber, como já mencionada está no Programa de Aquecimento Econômico como um projeto para ligar o bairro Chácara das Flores ao bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro. Neste projeto é previsto asfaltamento e melhoria na iluminação. Os dados obtidos neste trabalho indicam que poderá haver investimento de dinheiro público numa rua (Passo dos Weber) que precisará de obras de contenção para a erosão e denudação que podem custar mais recursos (muros de concreto) o que já deveria ter sido instalado nas proximidades do ponto 3 (P3). Os resultados apontam que a melhor possibilidade para ligar os dois bairros é a desapropriação de uma área onde ficam duas chácaras no Passo dos Webers e a sequência da rua 2 da Vila São Rafael para leste até a ponte Passo dos Webers como mostra o Mapa de Uso da Terra.

As casas da margem esquerda da rua Passo dos Weber nas proximidades do ponto 3 (P3) precisarão ser removidas entre 50 a 75 anos segundo os dados obtidos pelo ensaio de Inderbitzen Adaptado e o Mapa de Recuo do Relevo na encosta Itagiba. No entanto, presume-se que estes dados mostram os processos erosivos e a denudação mínimos (erosividade da chuva) indicando, portanto, que o recuo no terreno será maior. Pode-se inferir que o corte topográfico verificado no Mapa de Perfis Topográficos e a maior inclinação verificada no Mapa Clinográfico assim como o sentido do fluxo superficial verificado no Mapa de Unidades Geotécnicas e Fluxo da Água Superficial, a maior umidade (vertente sul) são fatores que contribuirão para acelerar a formação de sulcos, ravinas e deslizamentos podendo antes de meio século, as residências, nesta área, serão afetadas. Veja o mapa de recuo da encosta Itagiba (Figura 49).

Figura 49 - Mapa de recuo do relevo na encosta Itagiba: áreas de maior susceptibilidade a erosão e denudação



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, pôde-se aprofundar e inovar os estudos em geomorfologia projetando o relevo no futuro por meio de progressão denudacional e recuo da encosta Itagiba na Vila São Rafael, zona norte de Santa Maria, RS. Também avançou-se os estudos dos processos erosivos em formações litológicas distintas, progressão denudacional e o recuo da encosta Itagiba inovando o conhecimento geomorfológico por generalizar a perda de sedimentos em amostras superficiais do solo em ensaio laboratorial (ensaio de Inderbitzen adaptado) criando cenários futuros (progressão denudacional e recuo da encosta Itagiba). Inter-relacionou-se o meio natural (evolução do relevo) e o social (ocupação em áreas susceptíveis a erosão e denudação) por meio de análise integrada.

No domínio da geomorfologia o trabalho comprovou a *hipótese* inicial do trabalho mostrando que os *processos denudacionais estão alterando a conformação do relevo na Vila São Rafael, Zona Norte de Santa Maria - RS onde foi possível estimar sua progressão* bem como constatar que as Formações Litológicas (Formação Caturrita e Formação Santa Maria – Membro Alemoa) influenciam as características da camada superficial do solo na área de estudo (características físico-hídricas) - comprovando que os processos exógenos como a erosividade da chuva simulada em laboratório (ensaio de Inderbitzen adaptado) alteram, modelam e dissecam o relevo.

Em relação ao primeiro objetivo específico: *avaliar os processos erosivos sobre as Formações: Caturrita e Formação Santa Maria - Membro Alemoa a partir dos parâmetros físicos-hídricos da camada superficial do solo* concluiu-se sobre os parâmetros físicos-hídricos referentes à análise granulométrica e características texturais (curva granulométrica) que os pontos 2 e 3 (P2 e P3) possuem distribuição de partículas indicando concentração de argila com média de 44, 02% nesses dois pontos assentados sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa indicando ser este um dos fatores condicionantes que diferenciam os processos erosivos e denudacionais, assim como, o recuo da encosta Itagiba de forma mais intensa (dissecação) sob a porção leste em comparação à porção oeste da área de estudo bem como na encosta Itagiba. Nos demais pontos 1, 4, 5, 6, 7 e 8 (P1, P4, P5, P6 e P7) o solo apresentou-se arenoso mesmo os pontos P4 e P5 que estão assentados sobre a Formação Santa Maria. Nestes pontos pode-se concluir que o material constituinte do solo superficial possuía textura semelhante aos pontos assentados sobre a Formação Caturrita por ter, provavelmente, recebido sedimentos por processos denudacionais das áreas mais elevadas.

Em relação ao segundo objetivo específico: *mensurar a estimativa denudacional (progressão denudacional) por meio de ensaios de Inderbitzen adaptado em laboratório* pode-se concluir face aos resultados obtidos no ensaio de Inderbitzen adaptado que nos Pontos 2 e 3 (P2 e P3) a camada superficial do solo aproxima-se das características litológicas da Formação Santa Maria - Membro Alemoa onde a simulação de erosividade em laboratório (simulação de erosão) apresentaram maior perda de sedimentos (gramas) e volume de sedimentos erodidos (cm^3) face ao ensaio de Inderbitzen. Apresentou volume de sedimentos erodidos das amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (v_1, v_6, v_7 e v_8) nos quatro pontos valores médio entorno de $0,234 \text{ cm}^3$, portanto, menores em relação a média da perda de sedimentos para as quatro amostras de solo superficial (v_2, v_3, v_4 e v_5) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa que foi aproximadamente $0,699 \text{ cm}^3$. Também ocorreram diferenças nos resultados obtidos para a altura de sedimento erodido (h) (cm) no ensaio de Inderbitzen que apresentaram variações na altura de sedimento erodido (h) nas amostras de solo superficial retiradas sobre a Formação Caturrita (h_1, h_6, h_7 e h_8) para os quatro pontos valores médio de $0,00392 \text{ cm}$, portanto, menores em relação à média da altura de sedimento erodido (h) para as quatro amostras de solo superficial (h_2, h_3, h_4 e h_5) que foram retiradas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente $0,0091 \text{ cm}$ que é cerca de 2,32 vezes maior. Conclui-se, portanto que o ensaio de Inderbitzen comprova em laboratório o que é observado no campo na porção leste da Vila São Rafael que mostra-se mais denudada e o que há maior recuo na porção leste da encosta Itagiba mostrando neste sexto compartimento taxonômico (6° Táxon) uma evolução do relevo 3,033 vezes maior.

Em relação ao terceiro objetivo específico: *Estimar cenários evolutivos da conformação topográfica a partir da perda de material superficial determinados nos ensaios de Inderbitzen adaptado fazendo uma análise integrada dos aspectos físicos com os aspectos antrópicos* pode-se concluir face a progressão denudacional da Vila São Rafael que a denudação em 1000 (mil) anos demonstrada face a altitude média decrescida das áreas representadas pelos pontos (P1, P6, P7 e P8), todos os quatro pontos representando áreas assentadas sobre a Formação Caturrita, apresentaram valores médios de decréscimo de altitude de 253 cm , portanto, menores em relação a média de variação da altitude em 1000 (mil) anos para as quatro pontos (P2, P3, P4 e P5) que representam áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa que foi aproximadamente 767 cm que representa média de decréscimo de altitude mostrando neste quinto compartimento taxonômico (5° Táxon) uma evolução do relevo 3,033 vezes maior.

Concluiu-se também que a maior variação de decréscimo de altitude (denudação) em 1000 (mil) anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P3), de 970 cm, ponto (P5), de 830 cm, ponto (P2), de 700 cm e no ponto (P4), de 573 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa, portanto, área de maior perda de sedimentos, volume de material denudado e perda de altitude do relevo da Vila São Rafael. Já a menor variação de altitude (denudação) em 1000 (mil) anos ocorreu nas áreas representadas pelos pontos: ponto (P8), de apenas 34 cm, no ponto (P7), de 278 cm, no ponto (P1), de 329 cm e no ponto (P6), de 371 cm. Essa variação de altitude (denudação) ocorreu sobre as quatro áreas representadas pelos pontos que estão sobre a Formação Caturrita, portanto, área de menor perda de sedimentos (g), volume denudado g/cm^3 e perda de altitude na área de estudo. Veja o vídeo de progressão denudacional (apêndice 4).

Também, chegou-se a conclusão por meio do modelo digital de elevação do mapa de progressão denudacional da Vila São Rafael em 900 anos (100 a 1000 anos) que haverá dissecação (perda de altitude) de -3,2 m para a classe hipsométrica de maior classe 136-143, e o volume de denudação - 55 792, 8 (m^3).

Pôde-se concluir que o recuo da porção oeste da encosta Itagiba assentada sobre a Formação Caturrita apresentará recuo médio da linha de comportamento em 1 (um) ano de 0,252 cm, em 10 anos de 2,52 cm, em 25 anos de 6,325 cm, em 50 anos de 12,65 cm, em 75 anos de 18,974 cm, em 100 anos de 25,3 cm na porção oeste e em 1000 anos de 253 cm. Foi possível concluir, por meio das linhas de comportamento médio (linhas de recuo) ao final 100 anos a rodovia estará completamente denudada avançando sobre as residências da margem esquerda da rua Passo dos Webers. Já o recuo da encosta Itagiba na porção leste assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, mostrou a partir das linhas de comportamento médio que haverá em 1 (um) ano recuo médio de 0,767 cm, em 10 anos haverá recuo médio de 7,67 cm, em 25 anos haverá recuo médio de 19,18 cm, em 50 anos haverá recuo médio de 38,37 cm, em 75 anos haverá recuo médio de 57,56 cm, em 100 anos haverá recuo médio de 76,75 cm e em 1000 anos haverá recuo médio de 767,5 cm. Concluiu-se que o recuo da encosta Itagiba dá-se também na relação três vezes maior que na porção leste em relação a porção oeste. Diante do exposto a tese conclui que esta diferença dá-se por interferência litológica na camada superficial do solo.

O objetivo geral do trabalho de *estimar a progressão denudacional a partir da perda de solo da camada superficial e analisar a evolução futura - mapas de progressão denudacional e recuo da encosta Itagiba na Vila São Rafael, zona norte de Santa Maria - RS*

foi portanto alcançado revelando que a porção leste da área de estudo bem como a porção leste da encosta Itagiba, áreas assentadas sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa são as áreas de maior erosão e denudação e maior susceptibilidade e portanto, áreas impróprias à ocupação antrópica. Essa área segundo Maciel Filho (1990) apresenta argilo-mineral esmectita 2: 1 altamente contrassiva e expansiva sendo que mostra-se na ausência de umidade, resistente à erosão mas quando saturada erode e denuda o relevo cerca de 3,033 vezes mais em relação às áreas assentadas sobre a Formação Caturrita mostrando-se nesta porção (sexto compartimento taxonômico - 6º Táxon) uma evolução do relevo 3,033 vezes maior podendo ser observado nos mapas de denudação e no vídeo gerado pela sobreposição desses mapas (Apêndice 4). Este trabalho de tese atinge o objetivo geral também espacializando por meio das linhas de comportamento no mapa de recuo da encosta Itagiba (espaço-tempo) o recuo com base na linha de denudação atual onde estará a linha de denudação futura a fim de alertar os órgãos públicos para tomada de decisões que visem mitigar danos materiais e humanos. Neste sentido, conclui-se que este trabalho integrou e compreendeu a inter-relações entre a progressão do relevo e os aspectos antrópicos (recuo da encosta Itagiba). Demarcou-se o espaço (local) e projetou-se o tempo (futuro) no qual as transformações no relevo poderão afetar e/ou trazer consequências às edificações humanas e assim causar danos materiais e humanos nas áreas susceptíveis à erosão e denudação. Contribui, portanto com o avanço da ciência geográfica (geomorfologia) e subsídio ao planejamento às necessidades humanas de moradia com segurança e instalação de infraestrutura na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ARAYA, R.; HERVÉ, F. Attempt at reconstructing the ancient coastal Geomorphology and litoral environment in the South Shetland Islands. In: ADIE, R. J. (Org.). **Antartic geology and geophysics**. Universitetsforlaget, p. 115, 1972.
- ARCGIS PRO. **How Topo to Raster Works**. Disponível em: < <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-rasterworks.htm> >. Acesso em: 11 fev. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/84**. Amostras de Solo: preparação e ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181/82**. Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181/84**. Análise granulométrica de solos: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984
- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico Ambiental de Erosão Laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Editora Universa, 2003. 140p.
- BARRETO, H. N. **Investigação da influência dos processos denudacionais na evolução do relevo da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais – Brasil**. 2012. 148f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais)–Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BASTOS, C. A. B. et al. Avaliação da Erodibilidade de Perfis de Solos Residuais da Grande Porto Alegre. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), **Anais...** Brasília, 1998.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETTO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1985. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETTO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1990. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETTO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. Campinas: Editora Ícone, 1999. 355p.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: editora da UFSC, 2003. 559p.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003, p. 877-1436.
- BLOOM, A. L. **Superfície da Terra**. São Paulo: Edgard Blucher. 1996. 70p.

BORTOLUZZI, C. A. Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas do Instituto de Geociências**, Porto Alegre, n. 4, p. 7-13, 1974.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. C. et al. **Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro**. Brasília: Editora FINATEC, 2006.

CAMARGO, O.A; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 57p.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process**. Cambridge: University Press, 1972. 475p.

CASAGRANDE, L. Avaliação parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na Bacia do Rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de Geoprocessamento. 2004. 226f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 1994. 137 p.

CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. 2ª Edição, Revista e Ampliada. Ministério do Planejamento e Orçamento - Secretaria Especial de Políticas Regionais - Departamento de Defesa Civil. Brasília, 1998.

CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. Erosão do solo: aspectos conceituais. **Geociências**, v. 2, n. 3, p. 92-98, 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 149p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: uma introdução a Geografia Física**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 752p.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SERGISZEE3.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade Pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: INPE, p. 1-30, 2004. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/08.24.10.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2016.

CUNHA, C. M. L. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas (UNESP), 1997. 93p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Taludes de rodovias: Orientação para Diagnóstico e soluções de seus problemas.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 388p.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

DONZELI, P. L. et al. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: Lombardi N. F.; Camargo, A. O. (Orgs.). **Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP).** Campinas: Instituto Agrônômico, 1992.

DONZELI, P. L. et al. 1994. Modelo MUSLE e Sistemas de Informações Geográficas aplicados no estudo de pequenas bacias hidrográficas. **Proc. X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água.** Florianópolis, p. 141-143, 1994.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. **Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS.** R. Bras. Ci. Solo, 16:265-269, 1992.

FOSTER, G. R. **Modelling the erosion process.** In: HANN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. (Eds.). Hydrologic modeling of small watersheds. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 1982. P. 297-380.

FREIRE, E.P., Ensaio Inderbitzen Modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais...** Goiânia, 2001.

GALERANI, C. et al. Controle da Erosão Urbana. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995, p. 349-387.

GALETI, P. A. **Conservação do solo:** reflorestamento e clima. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982. 257p.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 278p.

GERARDI, L. H.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia.** São Paulo: DIFEL, 1981. 161p.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, v. 16, p. 32-37, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47282/51018>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 458p.

GUERRA, A. J. T. Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-199.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física do Brasil**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2004. 358p.

INSTITUTO BRASILEIRO E GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia (2009)**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_geomorfologia.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO E GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO E GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**, s/d. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe – Paranapanema**. São Paulo: IPT, Relatório n. 24.739, 1986.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Manual de ocupação das encostas**. São Paulo: IPT, Relatório n. 1.831, 1991. 216p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Exposição ou Orientação - Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/exposicao_orientacao.php>. Acesso em: 05 mar. 2018.

ISAIA, A. **As estradas de ferro do Brasil Império, Rio Grande do Sul e Santa Maria**. Santa Maria: Guia Geral do Município, 1983.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey: Prentice-Hall, 1986. 379p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em Latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p.

2167-2174, 2011. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832011000600031&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 nov. 2016.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Org.). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988, p. 141-160.

LEEDER, M. R. Denudation, vertical crustal movements and sedimentary basin infill. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, v. 80, n. 2, p. 441-458, 1991. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01829376/>>. Acesso em: 29 mai. 2016.

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

LIBAULT, A. Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica. **Métodos em Questão**, São Paulo, IGEO/USP, n. 1, p. 1-14. 1971.

LIBAULT, A. **Geocartografia**. São Paulo: Editora da USP, 1975.

LIMA, H. M. **Introdução à Modelação Ambiental: Erosão Hídrica**. Portugal: Funchal, 2010.

LOCH, R. E. N. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria, RS**. Santa Maria: Imprensa Universitária - UFSM. 1990.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: definições, tipos e formas de controle. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 2001, Goiânia/GO. **Anais...** Goiânia/GO: Universidade Federal de Goiás, 2001.

MARQUES, R. D. **Análise pedológica em topossequência através da relação entre precipitação e a perda de sedimentos na encosta Itagiba, zona norte de Santa Maria – RS**. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MARTINELLI, M. **Cartografia temática: caderno de mapas**. São Paulo: EDUSP, 2003.

MATSUOKA, N. A model of the rate of frost shattering: Application to field data from Japan, Svalbard and Antarctica. **Permafrost and periglacial processes**, v. 2, p. 271-281, 1991.

MATSUOKA, N. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. **Earth Science Reviews**, v. 55, p. 107-134, 2001.

MEYER, L. D. et al. Source of soil eroded by water from upland slopes. **USDA – Agricultural Research**, Washington, 1975, p. 177-189.

MILLOT, G. Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes. IN: MELFI, A. J.; CARVALHO, A. (Eds.). INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITISATION PROCESSES. 2. São Paulo, 1982. **Anais...** São Paulo, 1983. p.53-63.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Oxford: Blackwell, 2005.

NAGLE, J. **Educação e sociedade na Primeira República**. São Paulo: EPU/ Editora da USP, 1974.

NAHON, D. B. **Introduction to the petrology of soils and chemical weathering**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 313p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 176p.

OLIVA, P.; VIERS, J.; BERNARD, D. Chemical weathering in granitic environment. **Chemical Geology**, v. 202, p. 225-256, 2003.

OLIVEIRA, A. A. B.; RIBEIRO, A. G. **Uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL**. Folha SH – 22, Porto Alegre e parte das folhas SH – 21 Uruguaiana e SH – 22 Lagoa Mirim, Rio de Janeiro: IBGE, 1996.

PENCK, W. **Morphological Analysis of Lands Forms: a contribution to physical Geological**. London, Macmillan, 1972. 429p.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 154 p.

PINET, P.; SOURIAU, M. Continental Erosion and Large-Scale Relief. **Tectonics**, v. 7, n. 3, 1998, p. 563-582.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão do solo: contribuição metodológica**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

POWER, E. T.; SMITH, B. J. A Comparative Study of Deep Weathering Products: Case Studies from Ireland, Corsica and Southeast Brazil. In: ROBINSON, D. A.; WILLIAMS, R. B. G. (Orgs.). **Rock Weathering and Landform Evolution**. New York: John Wiley & Sons, 1994, p. 21-40.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. **Bairro Chácara das Flores**. Disponível em: <<http://www.santamaria.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

RITTER, D. F. **Process Geomorphology**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2002. 559p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Editora Contexto, 1990. 88p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Regional. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 9, p. 65-75, 1995. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53692/57655>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

SALGADO, A. A. R. et al. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, n. 1, p. 55-69, 2004. Disponível em: <http://www.ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_5_n_1_2004/RGB_Ano_5_n_1_55_69.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2016.

SALGADO, A. A. R. **Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG – Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais**. 2006. 167f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais)–Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 229-267.

SANTOS, C. A.; MERSCHMANN, M. A. C. Ensaio de erodibilidade como parâmetro no estudo de ravinas e voçorocas, na região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. In: VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais...** Presidente Prudente/SP, 2001.

SARTORI, M. da. G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo, v. 1, n. 20, p. 27 - 49, 2003.

SAYDELLES, A. P., SARTORI, M. G. B. Análise da insolação direta nas vertentes do Bairro Centro da cidade de Santa Maria-RS, 10, 2007. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2007 Santa Maria. **Anais...** Santa Maria. 2007. p. 1-10.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, p. 597-646, 1963.

SELBY, M. **Earth's changing surface: an introduction to Geomorphology**. New York: Oxford University Press, 1985. 607p.

SOUCH, C. Chemical denudation. In: GOUDIE, A. S. (Org.). **Encyclopedia of Geomorphology**. London: Routledge, 2004, v. 1, p. 144-148.

SOUZA, C. F. de. **Contrastes regionais e formações urbanas**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms**. New York: Longman Scientific & Technical and John Wiley & Sons, 1991. 537p.

SWANTESSON J. O. H. Micro-mapping as a Tool for the Study of Weathered Rock Surfaces. In: ROBINSON, D. A.; WILLIAMS R. G. B. (Orgs.). **Rock Weathering and**

Landform Evolution. London: John Wiley & Sons, p. 209-223, 1994.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes.** Essex: John Wiley & Sons, 1994. 460p.

TOMAZETTI, A. **Mudanças observadas na área urbana de Santa Maria - RS, sob influência do traçado das linhas férreas para Porto Alegre e Cruz Alta.** Santa Maria: Editora da UFSM, 2000. 73p.

TOMINAGA, L. K. **Análise morfodinâmica das vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião-SP.** 2000. 162p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 97p.

TULER, M. **Fundamentos de geodésia e cartografia.** Porto Alegre: Bookman, 2016.

VALADÃO, C. R. **Evolução de longo termo do relevo do cráton do São Francisco (denudação, paleosuperfícies e movimentos crustais).** 1998. 343f. Tese (Doutorado em Geografia)–Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul. Geografia física e vegetação.** Porto Alegre: Sagra, 1975.

VILAR, O. M.; PRANDI, E. C. Erosão dos solos. In: CINTRA, J. C. A.; ALBIERO, J. H. (Orgs.). **Solos do interior de São Paulo.** São Carlos: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; USP, v.1, 1993. p. 177-206.

WERLANG, M. K. **Configuração da rede de drenagem e modelado do relevo: conformação da paisagem na zona de transição da Bacia do Paraná na Depressão Central do Rio Grande do Sul.** 2004. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

WHITE, A. F.; BLUM, A. E. Effects of climate on Chemical weathering in watersheds. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, n. 9, p. 1729-1747, 1995.

WHITE, A. F. et al. Chemical weathering in a tropical watershed, Luquillo Mountains, Puerto Rico: long term versus short term weathering fluxes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 62, n. 2, p. 209-226, 1998.

WILDNER, W. et al. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. CPRM: Serviço Geológico do Brasil, Escala 1:750.000 Porto Alegre, 2006.

WILLIAMS, J. R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. IN: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. **USDA-ARS Handbook S-40**, 1975. p. 118-124.

WMO. **World Meteorological Organization**, s/d. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/search?search_api_views_fulltext=>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. D. B. Feições erosivas na bacia do córrego do Espraiado, São Pedro (SP), seus tipos e evolução entre 1972 - 2002. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 37, p. 414-425, junho 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: DETERMINAÇÃO DA ARGILA NATURAL E O GRAU DE FLOCULAÇÃO

| DETERMINAÇÃO ARGILA NATURAL E GRAU DE FLOCULAÇÃO | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Amostra | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
| Número do copo | 69 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 80 |
| Peso do copo | 28,253 | 27,680 | 34,593 | 32,985 | 44,171 | 32,311 | 31,107 | 32,126 |
| Peso Copo + Material | 28,324 | 27,861 | 34,790 | 33,055 | 44,201 | 32,349 | 31,170 | 32,179 |
| Material | 0,071 | 0,181 | 0,197 | 0,070 | 0,030 | 0,039 | 0,063 | 0,053 |
| % Argila Natural | 7,178 | 18,809 | 20,465 | 7,139 | 3,009 | 3,886 | 6,364 | 5,316 |
| % Argila total | 13,08 | 44,51 | 43,53 | 14,13 | 8,27 | 8,61 | 14,76 | 10,72 |
| Grau de Floculação | 45,12 | 57,74 | 52,99 | 49,48 | 63,62 | 54,87 | 56,88 | 50,41 |

| MATERIAL EM SUSPENSÃO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Amostra | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
| Solo Úmido em suspensão | 50,014 | 50,007 | 50,039 | 50,025 | 50,022 | 50,021 | 50,046 | 50,012 |
| Peso Cápsula | 11,418 | 19,17 | 14,262 | 21,145 | 22,983 | 22,37 | 14,058 | 17,35 |
| Solo úmido | 22,855 | 31,73 | 38,072 | 54,838 | 45,968 | 46,942 | 37,788 | 65,009 |
| Solo Seco + Cápsula | 34,083 | 49,767 | 50,975 | 74,965 | 68,646 | 68,98 | 51,312 | 81,659 |
| Solo seco | 22,665 | 30,597 | 36,713 | 53,82 | 45,663 | 46,61 | 37,254 | 64,309 |
| Teor de Umidade | 0,838 | 3,703 | 3,702 | 1,891 | 0,668 | 0,712 | 1,433 | 1,088 |
| Material Seco em Suspensão | 49,59822 | 48,22137 | 48,25283 | 49,09635 | 49,6901 | 49,66722 | 49,33878 | 49,47348 |

APÊNDICE 2: DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO DE INDERBITZEN ADAPTADO

| ENSAIO DE INDERBITZEN ADAPTADO | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| Formação Litológica | C | SM | SM | SM | SM | C | C | C |
| Pontos Coletados | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
| Declividade | 4° | 2° | 8° | 3° | 2° | 5° | 2° | 5° |
| Perdas no processo de ensaio (gramas) | 0,689 | 1,165 | 1,578 | 1,024 | 1,378 | 0,754 | 0,601 | 0,7114 |
| % Material erodido no ensaio | 8,721 | 14,746 | 19,974 | 12,962 | 17,443 | 7,012 | 7,607 | 9 |

C = Formação Caturrita

SM = Formação Santa Maria – Membro Alemoa

Total de perda no ensaio 49,125 g

APÊNDICE 3: TABELA DE DADOS GEORREFERENCIAMENTO

| Ponto | Coordenada Geográfica | | Coordenada UTM | | Altitude Geométrica | Ondulação Geoidal | Altitude Ortométrica |
|-------|-----------------------|------------|----------------|-------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | Norte | Leste | | | |
| 1 | -29,667738 | -53,827638 | 6.714.686,654 | 226.319,884 | 141,213 | 9,65 | 131,563 |
| 2 | -29,667731 | -53,827909 | 6.714.686,788 | 226.293,625 | 138,242 | 9,65 | 128,592 |
| 3 | -29,667306 | -53,827997 | 6.714.733,701 | 226.283,952 | 137,535 | 9,65 | 127,885 |
| 4 | -29,667271 | -53,827489 | 6.714.738,784 | 226.333,045 | 142,914 | 9,65 | 133,264 |
| 5 | -29,667142 | -53,826966 | 6.714.754,324 | 226.383,337 | 146,693 | 9,65 | 137,043 |
| 6 | -29,668747 | -53,824512 | 6.714.582,180 | 226.625,300 | 133,734 | 9,65 | 124,084 |
| 7 | -29,669277 | -53,824232 | 6.714.524,080 | 226.653,846 | 124,197 | 9,65 | 114,547 |
| 8 | -29,669177 | -53,825016 | 6.714.533,313 | 226.577,663 | 122,735 | 9,65 | 113,085 |
| 9 | -29,668483 | -53,827074 | 6.714.605,389 | 226.376,514 | 124,196 | 9,65 | 114,546 |
| 10 | -29,667487 | -53,825373 | 6.714.719,842 | 226.538,519 | 136,428 | 9,65 | 126,778 |
| 11 | -29,667858 | -53,825328 | 6.714.678,815 | 226.543,881 | 140,139 | 9,65 | 130,489 |
| 12 | -29,667158 | -53,826252 | 6.714.754,240 | 226.452,516 | 141,644 | 9,65 | 131,994 |
| 13 | -29,667416 | -53,824450 | 6.714.729,897 | 226.627,699 | 130,831 | 9,65 | 121,181 |
| 14 | -29,667987 | -53,827973 | 6.714.658,254 | 226.288,122 | 137,168 | 9,65 | 127,518 |
| 15 | -29,668091 | -53,827520 | 6.714.647,795 | 226.332,266 | 141,217 | 9,65 | 131,567 |
| 16 | -29,668189 | -53,827106 | 6.714.637,910 | 226.372,619 | 145,204 | 9,65 | 135,554 |
| 17 | -29,668315 | -53,826714 | 6.714.624,868 | 226.410,916 | 146,082 | 9,65 | 136,432 |
| 18 | -29,668470 | -53,826304 | 6.714.608,653 | 226.451,035 | 144,727 | 9,65 | 135,077 |
| 19 | -29,668739 | -53,825690 | 6.714.580,281 | 226.511,216 | 140,791 | 9,65 | 131,141 |
| 20 | -29,668513 | -53,826178 | 6.714.604,184 | 226.463,352 | 143,452 | 9,65 | 133,802 |
| 21 | -29,668874 | -53,825254 | 6.714.566,345 | 226.553,798 | 134,766 | 9,65 | 125,116 |
| 22 | -29,668659 | -53,825297 | 6.714.590,080 | 226.549,052 | 137,669 | 9,65 | 128,019 |
| 23 | -29,668128 | -53,825020 | 6.714.649,608 | 226.574,435 | 139,985 | 9,65 | 130,335 |
| 24 | -29,668145 | -53,824641 | 6.714.648,620 | 226.611,179 | 137,709 | 9,65 | 128,059 |
| 25 | -29,668086 | -53,824249 | 6.714.656,088 | 226.648,976 | 135,517 | 9,65 | 125,867 |
| 26 | -29,666957 | -53,823100 | 6.714.783,978 | 226.757,175 | 117,779 | 9,65 | 108,129 |
| 27 | -29,667517 | -53,823235 | 6.714.721,571 | 226.745,619 | 118,996 | 9,65 | 109,346 |
| 28 | -29,667700 | -53,823555 | 6.714.700,525 | 226.715,129 | 125,383 | 9,65 | 115,733 |
| 29 | -29,668509 | -53,823132 | 6.714.611,830 | 226.758,276 | 125,954 | 9,65 | 116,304 |
| 30 | -29,668712 | -53,823556 | 6.714.588,321 | 226.717,771 | 128,703 | 9,65 | 119,053 |
| 31 | -29,668745 | -53,824188 | 6.714.583,168 | 226.656,666 | 131,753 | 9,65 | 122,103 |
| 32 | -29,668165 | -53,825320 | 6.714.644,797 | 226.545,487 | 142,260 | 9,65 | 132,610 |
| 33 | -29,668040 | -53,825703 | 6.714.657,750 | 226.508,064 | 144,466 | 9,65 | 134,816 |
| 34 | -29,667797 | -53,826291 | 6.714.683,300 | 226.450,471 | 145,642 | 9,65 | 135,992 |
| 35 | -29,667702 | -53,826847 | 6.714.692,517 | 226.396,377 | 147,526 | 9,65 | 137,876 |
| 36 | -29,667728 | -53,827340 | 6.714.688,468 | 226.348,711 | 144,567 | 9,65 | 134,917 |
| 37 | -29,665693 | -53,825552 | 6.714.918,323 | 226.516,328 | 132,220 | 9,65 | 122,570 |
| 38 | -29,664824 | -53,828035 | 6.715.008,795 | 226.273,544 | 151,031 | 9,65 | 141,381 |
| 39 | -29,666304 | -53,827932 | 6.714.844,948 | 226.287,529 | 144,086 | 9,65 | 134,436 |
| 40 | -29,665655 | -53,827962 | 6.714.916,833 | 226.282,865 | 145,786 | 9,65 | 136,136 |
| 41 | -29,667231 | -53,825377 | 6.714.748,216 | 226.537,439 | 133,035 | 9,65 | 123,385 |
| 42 | -29,668026 | -53,824984 | 6.714.661,002 | 226.577,645 | 139,274 | 9,65 | 129,624 |
| 43 | -29,666681 | -53,825860 | 6.714.808,053 | 226.489,181 | 132,282 | 9,65 | 122,632 |
| 44 | -29,666532 | -53,826302 | 6.714.823,527 | 226.445,979 | 138,531 | 9,65 | 128,881 |
| 45 | -29,666859 | -53,824837 | 6.714.790,737 | 226.588,718 | 129,439 | 9,65 | 119,789 |
| 46 | -29,666315 | -53,825447 | 6.714.849,609 | 226.528,180 | 129,150 | 9,65 | 119,500 |
| 47 | -29,666113 | -53,825864 | 6.714.871,019 | 226.487,255 | 132,933 | 9,65 | 123,283 |
| 48 | -29,665312 | -53,826853 | 6.714.957,487 | 226.389,320 | 144,478 | 9,65 | 134,828 |
| 49 | -29,665759 | -53,826837 | 6.714.907,965 | 226.392,081 | 144,493 | 9,65 | 134,843 |
| 50 | -29,665258 | -53,826364 | 6.714.964,631 | 226.436,524 | 140,240 | 9,65 | 130,590 |
| 51 | -29,664804 | -53,826804 | 6.715.013,926 | 226.392,688 | 140,926 | 9,65 | 131,276 |
| 52 | -29,664860 | -53,826106 | 6.715.009,368 | 226.460,428 | 137,153 | 9,65 | 127,503 |
| 53 | -29,665392 | -53,826023 | 6.714.950,581 | 226.469,906 | 136,522 | 9,65 | 126,872 |
| 54 | -29,668687 | -53,826455 | 6.714.584,228 | 226.437,037 | 123,710 | 9,65 | 114,060 |
| 55 | -29,668007 | -53,826734 | 6.714.658,939 | 226.408,135 | 147,520 | 9,65 | 137,870 |
| 56 | -29,668078 | -53,826488 | 6.714.651,714 | 226.432,124 | 145,910 | 9,65 | 136,260 |
| 57 | -29,668191 | -53,826318 | 6.714.639,575 | 226.448,887 | 145,170 | 9,65 | 135,520 |
| 58 | -29,668246 | -53,826162 | 6.714.633,794 | 226.464,205 | 143,890 | 9,65 | 134,240 |
| 59 | -29,667383 | -53,826923 | 6.714.727,725 | 226.388,193 | 147,160 | 9,65 | 137,510 |
| 60 | -29,667492 | -53,827445 | 6.714.714,430 | 226.337,904 | 143,860 | 9,65 | 134,210 |
| 61 | -29,667487 | -53,826314 | 6.714.717,610 | 226.447,442 | 142,990 | 9,65 | 133,340 |
| 62 | -29,668402 | -53,827972 | 6.714.612,250 | 226.289,303 | 123,780 | 9,65 | 114,130 |
| 63 | -29,668599 | -53,827363 | 6.714.591,833 | 226.348,803 | 123,860 | 9,65 | 114,210 |
| 64 | -29,663999 | -53,827940 | 6.715.100,500 | 226.280,553 | 160,780 | 9,65 | 151,130 |

| | | | | | | | |
|-----------|------------|------------|---------------|-------------|---------|------|---------|
| 65 | -29,664172 | -53,826493 | 6.715.084,750 | 226.421,136 | 144,070 | 9,65 | 134,420 |
| 66 | -29,669300 | -53,824857 | 6.714.520,083 | 226.593,438 | 122,700 | 9,65 | 113,050 |
| 67 | -29,664649 | -53,825883 | 6.715.033,270 | 226.481,438 | 137,450 | 9,65 | 127,800 |
| 68 | -29,668639 | -53,825641 | 6.714.591,486 | 226.515,666 | 141,860 | 9,65 | 132,210 |
| 69 | -29,668377 | -53,825659 | 6.714.620,486 | 226.513,249 | 143,190 | 9,65 | 133,540 |
| 70 | -29,668620 | -53,825355 | 6.714.594,248 | 226.543,285 | 140,300 | 9,65 | 130,650 |
| 71 | -29,668003 | -53,825955 | 6.714.661,224 | 226.483,559 | 145,010 | 9,65 | 135,360 |
| 72 | -29,668615 | -53,825890 | 6.714.593,557 | 226.491,499 | 142,300 | 9,65 | 132,650 |
| 73 | -29,668742 | -53,826315 | 6.714.578,463 | 226.450,673 | 123,680 | 9,65 | 114,030 |
| 74 | -29,668915 | -53,825823 | 6.714.560,471 | 226.498,855 | 123,150 | 9,65 | 113,500 |
| 75 | -29,668288 | -53,827691 | 6.714.625,584 | 226.316,214 | 124,770 | 9,65 | 115,120 |
| 76 | -29,668588 | -53,826690 | 6.714.594,622 | 226.413,955 | 123,780 | 9,65 | 114,130 |
| 77 | -29,668343 | -53,827536 | 6.714.619,777 | 226.331,401 | 123,820 | 9,65 | 114,170 |
| 78 | -29,668364 | -53,827465 | 6.714.617,609 | 226.338,338 | 123,710 | 9,65 | 114,060 |
| 79 | -29,668437 | -53,827260 | 6.714.610,095 | 226.358,424 | 123,880 | 9,65 | 114,230 |
| 80 | -29,668437 | -53,827260 | 6.714.610,095 | 226.358,424 | 123,650 | 9,65 | 114,000 |

APÊNDICE 4: VÍDEO DA PROGRESSÃO DENUDACIONAL DA VILA SÃO RAFAEL, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS.