

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**LUCAS IBRAHIM GOULART DE ANDRADE**

**USO DA MODELAGEM DE SOLOS PARA IDENTIFICAR ÁREAS SUJEITAS A  
EROSÃO EM CULTIVO DE OLIVEIRAS**

**Caçapava do Sul**

**2018**

**LUCAS IBRAHIM GOULART DE ANDRADE**

**USO DA MODELAGEM DE SOLOS PARA IDENTIFICAR ÁREAS SUJEITAS A  
EROSÃO EM CULTIVO DE OLIVEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito obrigatório para obtenção do  
Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

**Caçapava do Sul**

**2018**

**USO DA MODELAGEM DE SOLOS PARA IDENTIFICAR ÁREAS SUJEITAS A  
EROSÃO EM CULTIVO DE OLIVEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito obrigatório para obtenção do  
Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 20/12/2018

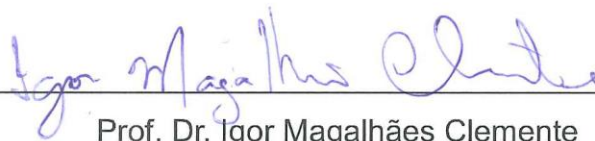
Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

Orientador  
(UNIPAMPA)



---

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

(UNIPAMPA)



---

Prof. Renan Rauber

(UNIPAMPA)

## **AGRADECIMENTO**

À minha amada noiva agradeço todos os dias por estar ao meu lado. A todos que ajudaram a construir esse estudo, agradeço por estarem presentes quando precisei. Minha família que esteve sempre presente apesar da distância física, sou grato por ter vocês ao meu lado. Amigos que fiz nesses anos de luta para conquistar o título de bacharel, obrigado por estarem nessa passagem e alegrarem nossos dias rotineiros. Obrigado Caçapava do Sul, terra de muita magia, por oferecer abrigo a um passageiro da vida que veleja por esse mundo.

## RESUMO

A erosão do solo é um processo natural, porém, em algumas situações este processo pode ser intensificado, como em plantações de oliveira. A intensa erosão do solo pode-se tornar um problema agravante, causando sérios prejuízos como a perda de fertilidade do solo. Desta forma, deve-se evitá-la através de boas práticas e, caso ocorra, deve-se remedia-la o mais rápido possível. A simulação computacional da erosão do solo aperfeiçoa o processo de identificação de áreas sujeitas à erosão, instaurando soluções mais efetivas. Neste cenário, o presente trabalho gerou simulações computacionais da erosão do solo em dois distintos plantios de oliveira, ambos inseridos nas regiões de maior crescimento da plantaçã, a região centro-sul do Rio Grande do Sul e o sul de Minas Gerais. As áreas de estudo localizam-se nos municípios de Caçapava do Sul - RS e Baependi-MG. Através do modelo *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), em conjunto com o simulador climático CLIMABR, foram geradas simulações computacionais da erosão do solo em 10 anos, para ambos os cultivos de oliveira. Deste modo, identificaram-se os locais de maior erosão nos plantios de oliveira. A partir da comparação entre esses dois plantios, os quais estão sob diferentes regimes climáticos e topográficos, foi possível reconhecer os parâmetros de maior influência na erosão de cada situação. Determinou-se que o solo e a topografia de Baependi são mais erosivos que os de Caçapava, e que o clima de Caçapava é mais erosivo que o de Baependi. A erosão máxima calculada para Baependi foi de 19 toneladas de solo por hectare em um ano, enquanto em Caçapava do Sul foi de até 7,1 toneladas de solo por hectare em um ano. Baependi foi classificada como ambientalmente incorreta em relação a erosão, estando fora dos limites toleráveis por 64 anos. Desta forma, simulou-se a erosão do solo para a plantaçã de Baependi, com um conjunto de técnicas redutoras da erosão, combinando práticas de terraceamento e plantaçã em linha de vetiveres. A soluçã mais eficaz e econômica sugerida para combater a erosão exacerbada em Baependi foi a implantaçã de terraceamentos em 140 m e 190 m, com vetiveres sobre eles. Já Caçapava do Sul, foi classificada como ambientalmente correta, estando totalmente dentro do limite de tolerância da erosão do solo em 04 anos.

Palavras-Chave: simulaçã computacional, erosão do solo, WEPP, oliveiras.

## **ABSTRACT**

Soil erosion is a natural process, but in some situations this process can be intensified, as in olive plantations. Severe soil erosion can become an aggravating problem, causing serious damage such as loss of soil fertility. In this way, that problem should be avoided through good practices and, if it occurs, it should be remedied as soon as possible. The computational simulation of soil erosion improves the process of identifying areas subject to erosion, establishing more effective solutions. In this scenario, the present work generated computational simulations of soil erosion in two different olive tree plantations, both of which were inserted in the highest growing regions of this plantation, the south-central region of Rio Grande do Sul and the south of Minas Gerais. The study areas are located at the city of Caçapava do Sul - RS and Baependi-MG. Through the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model, with the climatic simulator CLIMABR, were generated computational simulations of soil erosion up to 10 years for both olive crops. In this way, the sites of greater erosion were identified in the olive plantations. From the comparison between these two plantations, which are under different climatic and topographic regimes, it was possible to recognize the parameters of greater influence in the erosion of both situations. It was determined that the soil and topography of Baependi are more erosive than those of Caçapava, and that the climate of Caçapava is more erosive than that of Baependi. Moreover, the plantation in Baependi has the maximum erosion calculated was 19 tons of soil per hectare in one year, while in Caçapava do Sul it was up to 7.1 tons of soil per hectare in one year. Baependi was classified as environmentally incorrect in relation to erosion, being outside the tolerable limits for 64 years. Thus, soil erosion was simulated for the Baependi plantation, using a set of erosion reduction techniques. Through the combination of terraced and planting practices in vetiver lineage, the most effective and economical solution suggested to combat the exacerbated erosion in Baependi was the implantation of terraces in 140 m and 190 m, with vetiver. While for Caçapava do Sul, it was classified as environmentally correct, being totally within the limit of soil erosion tolerance in 04 years.

**Keywords:** computational simulation, soil erosion, WEPP, olive trees.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As três fases da erosão hídrica.....	17
Figura 2 - Altura de escoamento em função do número de Reynolds, indicando a erosão entressulcos, sulcos recém-formados e sulcos consolidados.....	19
Figura 3 - Localizações das áreas de estudo onde estão inseridas as plantações de oliveira, em Baependi - MG e Caçapava do Sul - RS.....	29
Figura 4 - Imagem de satélite das plantações de oliveira. Os pontos marcados são os locais de amostragem. As escalas das imagens são diferentes.....	30
Figura 5 - Balanço hídrico de Encruzilhada do Sul, representando a região de Caçava e de São Lourenço, representando Baependi. DEF = deficiência e EXC = excedente.....	32
Figura 6 - Mapas geológicos das áreas de estudo em Caçapava do Sul-RS e Baependi-MG.....	33
Figura 7 - Fotografia das árvores de Oliveira. a) Plantio do ano de 2016 em Caçapava do Sul; b) Plantio de 2006 em Caçapava; c) Plantio de 2016 em Baependi.....	36
Figura 8 - Amostras de solo do ponto 3. Cada amostra representa um horizonte...37	37
Figura 9 - Determinação das frações granulométricas. a) Proveta de sedimentação. b) Conjunto de peneiras.....	39
Figura 10 - Amostra de solo efervescendo com o peróxido de hidrogênio para determinação da matéria orgânica.....	40
Figura 11 - Interface do <i>software</i> CLIMABR.....	41
Figura 12 - Precipitações diárias simuladas para o ano de 2019.....	43
Figura 13 - Precipitação média mensal simulada.....	44
Figura 14 – Intensidade máxima mensal dos dados simulados.....	44
Figura 15 - Duração média das precipitações.....	45

Figura 16 - Mapa topográfico da fazenda de Caçapava com os respectivos perfis delimitados.....	46
Figura 17 - Mapa topográfico da fazenda de Baependi.....	47
Figura18 - Perfis topográficos.....	48
Figura 19 - Fotointerpretação dos horizontes de solo de Baependi. Escala em cm.....	49
Figura 20 – Amostra dos horizontes de solo encontrados na fazenda de Caçapava.....	50
Figura 21 - perfis de solo das fazendas de Caçapava e Baependi.....	50
Figura 22 – Curvas granulométricas das análises dos solos das plantações de oliveira de Caçapava do Sul e Baependi.....	51
Figura 23 - Histograma de frequência da matéria orgânica.....	52
Figura 24 - Perfis de elevação e erosão para o solo. A espessura da barra cinza está relacionada ao aumento da taxa de erosão.....	54
Figura 25 - Histograma da perda de siki para cada perfil, em diferentes anos.....	55
Figura 26 - Variação da perda de solo ao decorrer dos anos. Em preto o limite de tolerância de perda de solo. a) Caçapava e b) Baependi. (escala de ano diferente). .....	56
Figura 27 - Simulação da aplicação das práticas conservacionistas.....	58
Figura 28 - Simulação da perda de solo com as aplicações das práticas conservacionistas redutoras de erosão.....	59



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média da erodibilidade em sulco, entressulco e o cisalhamento crítico do solo para cada classe textural. ....	27
Tabela 2 - Informações sobre os parâmetros morfológicos e de cultivo das plantações de oliveiras de Caçapava do Sul-RS e Baependi-MG. ....	35
Tabela 3 - Dados das frações granulométricas de Baependi. ....	38
Tabela 4- Dados da quantidade de matéria orgânica de Baependi. ....	38
Tabela 5 - Tabela de declividade máxima e média. ....	48
Tabela 6 - Frações ganulométricas de Caçapava e Baependi. O dado referente à Caçapava é a médias dos cinco pontos amostrados. ....	51
Tabela 7 – Variação da erosão com os parâmetros substituídos na simulação. ....	53

## **LISTA DE SIGLAS**

ALOS - Advanced Land Observing Satellite

EPIC - Environmental Policy Integrated Climate

JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency

PALSAR - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation

SWRRB - Simulator for Water Resources in Rural Basins

USLE - Universal Soil Loss Equation

WEPP - Water Erosion Prediction Project

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Objetivos Gerais .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>16</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Erosão do solo .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Fatores que Influenciam a erosão .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.1 Clima .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2 Composição Solo .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.3 Relevo .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.4 Cobertura Vegetal .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Oliveiras e a Erosão .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Modelos de erosão hídrica .....</b>	<b>20</b>
<b>4.5 Water Erosion Prediction Project.....</b>	<b>23</b>
<b>4.5.1 Clima .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.2 Balanço Hídrico .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.3 Solos .....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.4 Crescimento Vegetativo.....</b>	<b>27</b>
<b>4.5.5 Componente Vertente.....</b>	<b>27</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 Área de Estudo .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2 Geologia Local.....</b>	<b>32</b>
<b>5.3 Topografia .....</b>	<b>34</b>
<b>5.4 Parâmetros de Cultivo.....</b>	<b>34</b>

<b>5.5 Solos.....</b>	<b>37</b>
<b>5.5.1 Granulometria.....</b>	<b>38</b>
<b>5.5.2 Matéria Orgânica .....</b>	<b>40</b>
<b>5.6 Clima.....</b>	<b>41</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1 Parâmetros Climáticos.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2 Características Topográficas .....</b>	<b>45</b>
<b>6.3 Propriedades do solo.....</b>	<b>49</b>
<b>6.4 Avaliações dos parâmetros .....</b>	<b>52</b>
<b>6.5 Erosão do solo .....</b>	<b>53</b>
<b>6.6 Práticas Conservacionistas.....</b>	<b>57</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO A - Fotografias da fazenda de Baependi. a) e b) Dia do plantio (2006); c), d) e e) Fotos de 2018 das oliveiras. ....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO B – Curvas granulométricas .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO D – Diagramas da correlação das estimativas com os valores reais. Gerados no software CLIMABR. (Passa Quatro - MG).....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo natural em que ocorre a remoção da camada superficial do solo através de agentes naturais como a água, o vento e o gelo (STEAD; STEAD, 2015). O agente erosivo mais relevante nas regiões tropicais e subtropicais é a água (ZONTA et al., 2012), que por meio das gotas de chuva impacta o solo, desagregando-o, e o transportando para locais de menor altitude, podendo depositar em rios, córregos e lagos (HERNANI, 2003). Devido a baixa taxa de geração de solo pelo intemperismo das rochas o solo é classificado como um recurso natural não renovável, composto de minerais, matéria orgânica, água e ar, o qual pode ser degradado e/ou erodido por inteiro, tornando o terreno rochoso e improdutivo (RAZA, 1980; ZONTA et al., 2012).

Segundo Zonta et al. (2012), a alteração da fauna e flora, perda de fertilidade do solo, assoreamento de rios, deslizamento de terras e perda de carbono orgânico são alguns dos problemas gerados pela má gestão dos solos, potencializando os processos de desertificação. Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2015), 33% do solo mundial está exposto a processos de degradação, salientando ainda, que a região do Pampa passa por processos erosivos intensos devido às práticas de cultivo adotadas na região. Durante as últimas décadas houve um aumento da preocupação com a conservação do solo, visto que as práticas agrícolas mais eficazes são essenciais para garantir a produção agrícola em larga escala e sem perdas econômicas. Desta forma, torna-se de suma importância um estudo detalhado da erosão do solo nestes locais, a fim de prevenir futuros prejuízos a longo prazo. A partir desta necessidade de aprofundar os conhecimentos sobre a erosão do solo, surgem também técnicas mais sofisticadas, como o uso da modelagem computacional, onde é possível simular a erosão do solo.

Segundo Bernardi et al. (2014), a simulação da erosão do solo tem amplas aplicações nas atividades da sociedade moderna, como a agricultura, engenharia e geologia, auxiliando na tomada de decisões, como por exemplo, a escolha de locais para construções de barragens, escolha de práticas de plantio e adubação, e nas construções de estradas florestais, entre outras aplicações (GARCIA, 2001; COSTA, 2016). A pluviosidade, aliada ao tipo de solo, a topografia, a vegetação e o manejo

do solo são as principais variáveis aplicadas na simulação, fornecendo informações para a compreensão do comportamento do solo de uma determinada região (AMORIM; DA SILVA; PRUSKI, 2010).

Segundo Gómez et al. (2014), no sudoeste da Espanha, na região de Andaluzia, a expansão e a intensificação do cultivo de oliveiras acelerou a erosão do solo na região, principalmente após a mecanização dos processos de cultivo. Em outras regiões da Espanha, a taxa de erosão do solo em cultivo de oliveiras apresentou valores acima do tolerável. (MARTÍNEZ et al., 2006), principalmente em plantações sem a adoção de práticas conservacionistas de solo.

As regiões da metade sul do estado do Rio Grande do Sul e do sul de Minas Gerais são as regiões com o maior potencial para o cultivo de oliveiras, devido a características climáticas e topográficas (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009). Cerca de 60% da produção nacional concentra-se no estado do Rio Grande do Sul e 37% no estado de Minas Gerais. Entre os anos de 2016 e 2017 houve um crescimento de 27% de produção de azeite nacional, e espera-se que em 2018 esse valor aumente para 41,8% (CAETANO, 2017). Nos últimos anos, principalmente após o reconhecimento internacional da alta qualidade do azeite brasileiro, diversos agricultores optaram por iniciar novas plantações de oliveiras (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009).

Tendo em vista os possíveis prejuízos causados pela erosão do solo em plantações de oliveiras, aliados à carência de estudos relacionados a este tema, torna-se relevante a simulação computacional da erosão do solo em duas distintas plantações de oliveira, sendo ambas localizadas nas regiões mais produtoras de azeite do Brasil, como o Sul de Minas Gerais e o Rio Grande do Sul (CAETANO, 2017). A simulação computacional, aplicada à previsão do comportamento da erosão do solo fornece informações importantes sobre o impacto de diversos parâmetros na erosão, tais como: o tipo de solo; topografia local; regime climático etc. Ao comparar duas plantações de oliveiras sob diferentes regimes climáticos, topográficos e com distintos tipos de solos, pode-se compreender melhor o impacto de cada mecanismo atuante da erosão. A compreensão desses parâmetros agrega conhecimento científico, e ainda, auxilia na implantação de práticas conservacionistas mais adequadas, impactando de forma positiva a economia.

## **2 OBJETIVOS**

Os objetivos desta pesquisa estão divididos em gerais e específicos.

### **2.1 Objetivos Gerais**

Simular computacionalmente a erosão do solo em dois distintos plantios de oliveira, localizados nas regiões mais produtoras de azeite de oliva do Brasil. A fim de compará-las quanto aos parâmetros erosivos e propor práticas conservacionistas mais adequadas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Entre os objetivos específicos estão:

- I. Realizar a simulação computacional da erosão do solo em 10 anos em plantios de oliveira na cidade de Baependi, Minas Gerais e Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul;
- II. Identificar o impacto dos parâmetros que influenciam na erosão em plantações de oliveira, através da comparação entre os dois plantios simulados na etapa I;
- III. Identificar os locais mais susceptíveis a erosão;
- IV. Indicar as práticas conservacionistas mais eficientes para conservação do solo.

### **3 JUSTIFICATIVA**

A perda de fertilidade nos plantios de oliveira decorrente a erosão já é conhecido nos países que costeiam o mar Mediterrâneo (GÓMEZ et al., 2009), principalmente pela idade das fazendas de oliveira, que podem ser milenares (VANWALLEGHEM et al., 2010). No Brasil, as fazendas de oliveira são recentes em relação a esses países, com isso surge à necessidade de aplicar um modelo de predição da erosão para saber como se comportará a erosão durante os anos. As duas fazendas escolhidas possuem características climáticas, topográficas, agrícolas e pedológicas diferentes. Essa diferença possibilita compará-las e classificá-las quanto à erosão, auxiliando na escolha das práticas conservacionistas mais eficientes.

Devido à carência de estudos deste âmbito no Brasil e à expansão do cultivo de oliveira previsto para os futuros anos, as regiões do centro-sul do Rio Grande do Sul e sudeste de Minas Gerais, se enquadram como uma potencial área-alvo. A caracterização detalhada da erosão nessas regiões pode auxiliar na escolha das práticas conservacionistas mais eficazes, auxiliando no desenvolvimento econômico da região.

### **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão a seguir está dividida em cinco tópicos: a erosão do solo, fatores que influenciam a erosão, oliveira e a erosão, modelos de erosão hídrica e o Projeto de Previsão de Erosão Hídrica, WEPP. O tópico erosão do solo ressalta sua importância e explica alguns fundamentos básicos. Fatores que influenciam a erosão foi dividido nos principais agentes que regem a erosão de forma sucinta. Modelos de erosão hídrica compara o modelo WEPP com a Equação Universal de Perda de Solo, USLE, o mais utilizado dos modelos, comparando suas assertividades. WEPP demonstra as principais equações e os principais fundamentos que controlam a simulação no software.



#### 4.1 Erosão do solo

Dentre os fenômenos que afetam o solo a erosão é o mais alarmante, o qual já fez com que comunidades tivessem que deixar suas terras por torná-las improdutivas, resultando até hoje nas regiões com o maior índice de pobreza e fome (BRADY; WEIL, 2009). Na região sul do Brasil a erosão hídrica é a mais preponderante dos tipos de erosão (ZONTA et al., 2012). Ela ocorre em 3 fases, a desagregação do solo, o transporte e a deposição (Figura 1). A desagregação é feita tanto pelas gotas de chuva que impactam o solo bem como pelo escoamento superficial da água que atrita o solo.

Figura 1 - As três fases da erosão hídrica.



Fonte: Shroder e Ahmadzai (2016).

Quando o solo atinge seu ponto de saturação inicia a fase de transporte, através do fluxo hídrico. O tipo de transporte varia em relação à escala. Em uma menor escala ele ocorre por fluxo laminar, em que o solo é transportado homogeneamente pela vertente. Em uma escala maior ele ocorre através de sulcos, em que o solo é transportado por canais milimétricos (LEPSCH, 2016). Chegando a escala de metros, ocorre a erosão por voçoroca, em cortes profundos se desenvolvem no solo, podendo atingir o lençol freático (BRADY; WEIL, 2009). Os processos que regem a erosão laminar e por sulcos são similares, por isso podem ser descritos em um único modelo de erosão; já a erosão por voçoroca é de uma magnitude e intensidade muito diferente dos outros tipos, por isso quando se deseja estimar a taxa de erosão não se considera os processos por voçoroca, além de ser muito mais raros de se acontecer (FLANAGAN; LIVINGSTON, 1995).

Godoy et al. (1998), em trabalho realizado no pantanal sul mato-grossense, concluiu que o assoreamento de rios está associado ao aumento da erosão, causada pela intensificação das práticas agrícolas na região. Luíz, Pinto e Scheffer (2012) relacionam o aumento da turbidez da água as práticas temporárias de agricultura e a mecanização dos processos de plantio e colheita. Grohmann e Catani (1949), concluem que a erosão do solo aliada as altas taxas de erodibilidade do solo arenito Bauru são a causa da perda de fertilidade do solo para o plantio de algodão, verificando que o solo erodido é até duas vezes mais enriquecido em elementos minerais que o solo residual.

## **4.2 Fatores que Influenciam a erosão**

Os fatores ambientais que regem a erosão são os climáticos, topográficos, pedológicos e botânicos. Esses fatores se relacionam entre si para então resultarem no total de solo erodido.

### **4.2.1 Clima**

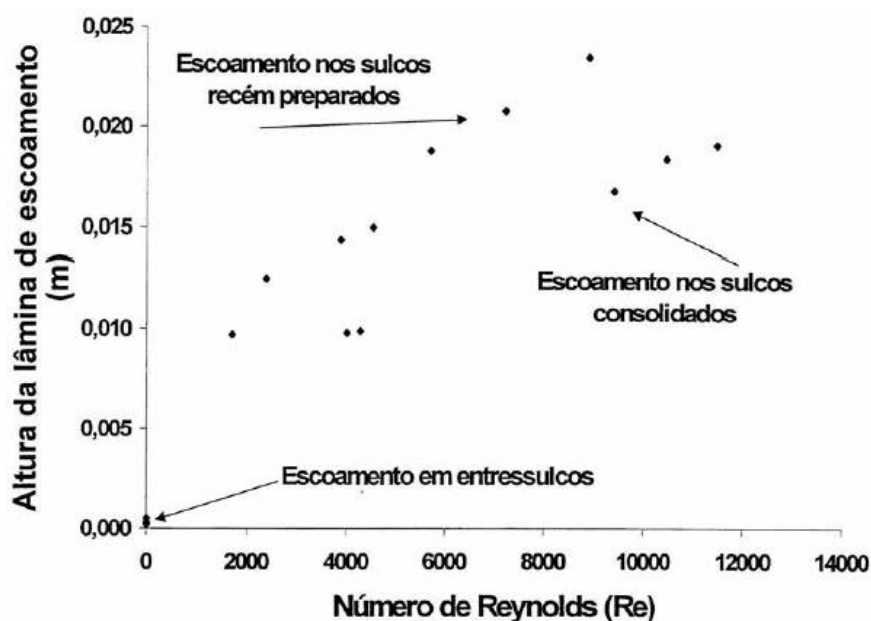
A influência do clima na erosão do solo é dada pela força motriz do fluxo em sulcos e entressulcos causados pela precipitação. Para isso é considerado a intensidade da chuva e a energia cinética das gotas de chuva (FLANAGAN et al., 1995). Outros fatores do clima que influenciam a erosão são a temperatura e a direção do vento. O grau de umidade do solo é determinado pela temperatura que favorece a evaporação e a transpiração da água no solo. A direção do vento determina o ângulo de incidência da chuva no solo, que dependendo desse ângulo pode agravar a desagregação do solo pelas gotas de chuva (MACHADO et al., 2003).

## 4.2.2 Composição Solo

Cada tipo de solo tem sua capacidade intrínseca de ser erodido, ou seja, dependendo do solo ele será mais suscetível à erosão ou não. Essa capacidade é chamada de erodibilidade e é explicada pela capacidade de infiltração de cada solo e a taxa de desagregação de suas partículas causadas pela chuva (ALBERTS et al., 1989). Genericamente solos ricos em partículas do tamanho areia são mais suscetíveis a erosão devido a maior taxa de infiltração, diferentemente dos solos argilosos que por não infiltrarem a água rapidamente podem formar poças da água, que impedem o contato direto das gotas da chuva com o solo (DE ASSIS, 1973).

Cantalice (2002) demonstra a relação da altura da lâmina de escoamento e o número de Reynolds (Figura 2), identificando o escoamento entressulcos e as duas fases do escoamento em sulcos, a fase recém-formada e a consolidada. O escoamento em sulcos consolidados é de caráter turbulento ( $Re > 2400$ ), entressulcos de caráter laminar ( $Re < 2000$ ) e os sulcos recém-formados de caráter transitório, entre fluxo laminar e turbulento ( $2000 < Re < 2400$ ).

Figura 2 - Altura de escoamento em função do número de Reynolds, indicando a erosão entressulcos, sulcos recém-formados e sulcos consolidados.



Fonte: Extraído de Cantalice (2002).

### 4.2.3 Relevo

O efeito do relevo na erosão do solo é proporcional ao grau de declividade do terreno e sua posição de afastamento do cume da vertente (FOSTER et al., 1995). A aceleração do fluxo hídrico está relacionada com a declividade do terreno e a distância do cume com a carga sedimentar transportada. Os parâmetros que compõe a vertente são: o grau de declividade, comprimento e a uniformidade da vertente (DE ASSIS, 1973). Dependendo da uniformidade pode haver empoçamento de água, a qual cessaria a capacidade de erosão e facilitaria a deposição. (FLANAGAN; NEARING, 1995).

### 4.2.4 Cobertura Vegetal

A influência da cobertura vegetal é dada pela interceptação das gotas de chuva pela folhagem, pela facilitação da infiltração pelas raízes e pela retenção do solo erodido ao redor dos caules e trocos das plantas (FLANAGAN et al., 1995). Solos expostos, ou seja, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, estão mais suscetíveis a erosão, principalmente pelo impacto direto das gotas de água e pela erosão eólica, causada pelo vento (ARNOLD et al., 1995). Em uma plantação composta por árvores, a cobertura vegetal é dada pelo diâmetro da copa da árvore e pela cobertura de gramíneas que estão entre as árvores. Em plantação de leguminosas e gramíneas em que é feito o plantio e colheita periódica, o solo passa por fases de exposição total. Dentre os meios de preparo da terra, o mais nocivo à erosão é o arar da terra, o qual altera a rugosidade do solo e, quando seguido de chuva podem causar altas taxas de erosão (BRADY; WEIL, 2009).

## 4.3 Oliveiras e a Erosão

A oliveira (*Olea europaea L.*) é plantada atualmente em todos os continentes. Elas são originadas da região que costeiam o mar mediterrâneo, como Grécia, Itália,

Portugal, Palestina, Irã, Síria e Egito, que contabilizam 90% das áreas de plantio de oliveira do planeta (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009). A região que mais propicia seu crescimento está situada entre as latitudes 30° e 45° tanto no hemisfério norte como no sul, e de clima temperado ou subtropical. A chegada da oliveira na América do Sul foi pela Argentina em 1930 e seguiu para o Brasil em 1940 (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009). Nos anos de 1940 foram iniciados os primeiros plantios de oliveira no Rio Grande do Sul e em Minas Gerais, que tiveram como objetivo avaliar sua produtividade e a realização de testes para produção de azeite. Em 1974 retomam as iniciativas privadas e públicas para o plantio de oliveira, e hoje em dia, diversos municípios iniciaram as plantações de oliveiras (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009).

O cálculo da erosão de solos em cultivo de oliveira foi proposto por diversos autores, principalmente pela perda de fertilidade das oliveiras. Martínez (2006) coletou dados de erosão em 3 regiões do mediterrâneo, sob diferentes tipos de cultivo de oliveira e constatou que a menor taxa de erosão (1 t ha/ano) está relacionado ao regime pluviométrico menos intenso. Gómez et al., (2014) realizou a coleta de dados em 3 plantações da mesma região da Espanha, sendo os parâmetros de tipo de solo, regime pluviométrico e inclinação do terreno idênticos. Com isso, constatou que a taxa de erosão mais elevada (8,5 t ha/ano) estava relacionada ao tipo de plantio que mais expunha o solo.

#### **4.4 Modelos de erosão hídrica**

O projeto de predição de erosão hídrica (WEPP) surgiu da necessidade do governo dos Estados Unidos auxiliar os produtores rurais na conservação do solo. Iniciado pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) em 1985, o modelo serviria para prever a erosão nas fazendas e usado como critério de julgamento pelas agências federais dos Estados Unidos, e substituiria a consagrada equação universal de perda de solo (USLE) (GILLEY; FLANAGAN, 2007). O modelo calcula a erosão hídrica gerada por pingos de chuva, escoamento laminar, erosão do tipo sulco e entressulco e erosão fluvial, em córregos e rios. A melhor dimensão de aplicação do modelo é em perfil de vertente de 10 metros a poucas dezenas de metros de

comprimento, e para aplicação em bacia hidrográfica, maior que 100 metros de diâmetro (FLANAGAN; LIVINGSTON, 1995). A compreensão da erosão do solo depende do entendimento de diversos aspectos que o conduzem, como o padrão de chuvas, o tipo de cobertura vegetal, a topografia, o tipo de solo, entre outros. Além disso, a sociedade carece de práticas mais efetivas de conservação de solo, devido as restrições oferecidas pelas equações (BRADY; WEIL, 2009).

A primeira e mais consagrada equação de erosão de solo foi a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que até os dias de hoje auxilia a sociedade nas áreas da agricultura, mineração, gestão de desastres naturais e na engenharia de estradas (SHI, 1990; TOY; FOSTER; RENARD, 1999; CERDÀ, 2017). Para sua obtenção, utilizou-se uma base de dados robusta, adquirida em estudos anteriores nos anos de 1930 nos Estados Unidos, orientada por Hugh H. Bennett, considerado o pai da conservação de solo. Cada um dos fatores que compõe a USLE foram obtidos separadamente, Zingg et al. (1940) calculou o fator topográfico, Smith, (1941) calculou o fator prática agrícola, e Wischmier e Smith (1965) obtiveram o fator pluviosidade e o fator erodibilidade, correlacionando assim esses 4 fatores com as taxas de erosão medida em 47 estações de captação, criando a USLE em 1961, e realizando sua última alteração em 1978 (GILLEY; FLANAGAN, 2007). Apesar de ter alguns modelos melhores que a USLE ela é usada em alguns países devido sua praticidade e assertividade, dependendo do clima (BRADY; WEIL, 2009).

Chandramohan, Venkatesh e Balchand (2015) compararam o resultado dos modelos USLE e WEPP com os dados observados em 3 bacias hidrográficas na Índia, e obtiveram o erro associados a esses modelos. O teste constatou que o modelo de WEPP apresenta um erro menor em média de 20%, em comparação ao USLE. Amorim, Da Silva e Pruski (2010) comparam o desempenho dos modelos USLE, RUSLE (atualização da USLE) e WEPP em 9 locais do Brasil e constatou que o modelo WEPP teve o maior sucesso representando 46% dos casos, seguido de 42% pela RUSLE e 12% pela USLE. Apesar de a WEPP ter sido criada 20 anos depois, poucos dados a mais foram utilizados para sua concepção, sendo a maior parte deles obtidos nos anos de 1930 (GILLEY; FLANAGAN, 2007). A maior mudança da WEPP está na possibilidade em calcular a erosão relativa do solo e estimar a sedimentação gerada por canais ou rios, e a maior vantagem é que ela pode ser usada em qualquer tipo de clima, além de permitir a simulação contínua

durante os anos ou apenas para eventos de tempestade únicos (FLANAGAN; NEARING, 1995).

De forma a calcular a erosão do solo e gerenciar melhor esse recurso não renovável, foi proposto um ambicioso projeto para modelar a erosão em diferentes tipos de cultura, nos mais diversos climas, baseado em processos físicos. O projeto (WEPP) é um modelo de simulação baseado em eventos diários, fundamentando-se no clima, nas características dos solos, na botânica e na topografia, que simula a erosão do solo em episódios únicos de tempestade ou ao decorrer dos anos (FLANAGAN et al., 1995). O modelo apresenta algumas vantagens em relação a outros modelos como a capacidade de estimar distribuição espacial e temporal do solo erodido, que diferentemente dos outros aplica o conceito de erosão relativa que é a diferença do solo erodido e o solo depositado em um determinado local (BRADY; WEIL, 2009). Outra diferença significativa é a capacidade do modelo de ser aplicado aos mais diversos tipo de clima, diferentemente dos outros modelos que são empíricos, e devem ser aplicados apenas nos locais que se aproximarem das condições climáticas utilizadas para criar o dado modelo (GILLEY; FLANAGAN, 2007) A seguir será explicado os fatores que determinam a erosão pelo WEPP, além das principais equações que o regem.

#### 4.5 Water Erosion Prediction Project

O modelo pode ser descrito em cinco componentes: clima, balanço hídrico, dinâmica do solo, crescimento vegetativo e morfologia da vertente, que interagem entre si produzindo a erosão de solo ou a deposição de sedimento. A equação de sedimentação contínua (FOSTER et al., 1989), a principal equação do modelo (Equação 1), é descrita pelo somatório da erosão em sulco e entressulcos em função da carga de sedimento que depende da distância do topo do perfil.

$$\frac{dG}{dX} = D_f + D_i \quad (1)$$

Em que

G = carga de sedimento (kg/s.m)

$X$  = distância do topo do perfil (m)

$D_f$  = erosão em sulcos (kg/s.m<sup>2</sup>)

$D_i$  = erosão entressulos (kg/s.m<sup>2</sup>)

Ambos os valores podem ser negativos,  $D_f$  e  $D_i$ , representando deposição de sedimento, e positivos se houver erosão. Para que ocorra erosão o modelo usa duas premissas: o valor do stress hídrico, causado pelo escoamento superficial, deve superar o stress de cisalhamento do solo; e o fluxo hídrico deve estar insaturado, sendo capaz de colocar a partícula do solo destacado em fluxo.

#### **4.5.1 Clima**

A atribuição do clima pode ser feita de modo direto ou indireto. No modo direto são utilizados dados meteorológicos reais coletados no local de análise, e no modo indireto é feita a estimativa dos dados meteorológicos. A estimativa é feita por processos estocásticos baseados nos dados meteorológicos históricos através do CLIGEN, que é um submodelo inserido no WEPP. O CLIGEN foi obtido pelo aperfeiçoamento dos modelos Clima Integrado a Política Ambiental (EPIC) e Simulação dos Recursos Hídricos para Bacias Hidrográficas Rurais (SWRRB) que foram desenvolvidos anteriormente ao WEPP (FLANAGAN et al., 1995). O processo estocástico define uma das possíveis combinações para modelar o clima, sendo elas: dia seco seguido de um dia úmido, dia úmido seguido de dia úmido, dia seco seguido por dia seco e dia úmido seguido por dia seco (NICKS; LANE; GANDER, 1995).

#### **4.5.2 Balanço Hídrico**

O balanço hídrico é definido pela infiltração, escoamento superficial, evapotranspiração e pela percolação profunda, através do submodelo SWRRB, o qual calcula a infiltração pelo método de Green-Ampt. Os parâmetros da evaporação



do solo, interceptação da chuva e percolação foram alterados para utilização no modelo WEPP. A simulação do balanço hídrico é feita por dia e pode simular até 100 anos (FLANAGAN et al., 1995)

#### 4.5.3 Solos

Para cada tipo de solo há uma capacidade intrínseca de ser erodido, chamado de erodibilidade, nele é considerado a capacidade de transporte do solo erodido, a taxa de desprendimento causada pelas gotas de chuva, a densidade relativa do solo e a rugosidade. A rugosidade e a densidade relativa podem ser alteradas por práticas de plantio e de colheita, alterando a capacidade natural do solo de infiltração (ALBERTS et al., 1989). A erodibilidade é um fator de difícil obtenção de modo direto, por isso diversos autores propuseram métodos indiretos para seu cálculo. De modo geral, Denardin (1990), Flanagan e Livingston (1995) utilizaram as porcentagens das frações areia fina, areia, argila e matéria orgânica para calcular a erodibilidade em sulcos, entressulcos e cisalhamento crítico. O modelo utiliza para mais de 30% de areia as equações 2, 3 e 4, conforme a seguir:

$$K_i = 2728000 + 192100 \cdot VSF \quad (2)$$

$$K_r = 0,00197 + 0,00030 \cdot VSF + 0,03863 e^{-1,84 \cdot ORGMAT} \quad (3)$$

$$\tau_c = 2,97 + 0,065 \cdot CLAY - 0,058 \cdot VSF \quad (4)$$

Onde:

$K_i$  = erodibilidade entressulco (kg.s/m<sup>4</sup>)

$K_r$  = erodibilidade sulco (s/m)

$\tau_c$  = cisalhamento hidráulico crítico (Pa)

VSF = areia fina (%)

CLAY = argila (%)

ORGMAT = matéria orgânica (%)

Para menos de 30% areia, utiliza-se as equações 5, 6 e 7:

$$K_i = 6054000 - 55130 \cdot CLAY \quad (5)$$

$$K_r = 0,0069 + 0,134 \cdot e^{-0,20 \cdot CLAY} \quad (6)$$

$$\tau_c = 3,5 \quad (7)$$

Em que:

$K_i$  = erodibilidade entressulco (kg.s/. m<sup>4</sup>)

$K_r$  = erodibilidade sulco (s/m)

$\tau_c$  = cisalhamento hidráulico crítico (Pa)

CLAY = argila (%)

Os valores de erodibilidade em sulcos, entressulcos e o cisalhamento crítico dos solos testados para a validação do modelo são demonstrados na Tabela 1. Cada linha representa uma classe textural de solo, e na segunda coluna está o número de validações em cada classe (FLANAGAN; LIVINGSTON, 1995).

Tabela 1 – Média da erodibilidade em sulco, entressulco e o cisalhamento crítico do solo para cada classe textural.

Textura	Nº de solos	Ki (kg.S/m <sup>4</sup> )	Kr (s/m)	tc (Pa)	% argila	% silte	% areia	% areia muito fina	% matéria orgânica
Franco argiloso	3	4315290	0,0048	4,7	33,2	29,6	29,6	37,2	1,9
Franco	9	5434716	0,0085	3,3	19,7	35,2	35,2	45,3	2,9
Areia	3	5651494	0,0248	2,1	4,5	8	8	87,5	0,5
Franco arenoso	7	4974960	0,0102	2,5	12,4	19	19	68,6	1,2
Franco siltoso	9	5083455	0,0121	3,5	18,1	70,7	70,7	11,1	2,1
Argiloso	1	2154983	0,0089	2,9	53,1	38,3	38,3	8,6	2,4
Argila siltosa	1	4475042	0,0117	4,8	49,5	40,9	40,9	9,6	2,6
Franco argilo siltoso	1	3409795	0,0053	3,2	39,8	55,4	55,4	4,8	3,3

Fonte: Extraída de Flanagan e Livingston (1995) e traduzida.

#### 4.5.4 Crescimento Vegetativo

O modelo de crescimento das plantas é implementado na erosão de solo através dos componentes de cobertura vegetal, altura da cobertura, produção de biomassa (queda de folhas durante a colheita) e desenvolvimento das raízes. O modelo de crescimento das plantas influencia outros parâmetros do modelo WEPP, como o balanço hídrico e o componente de erosão. Para calcular o crescimento fenomenológico é utilizado o modelo EPIC, que compõe o modelo WEPP. Ele exprime a relação entre a temperatura mínima, temperatura máxima e a temperatura média para que ocorra o crescimento vegetativo, além da influência da cobertura vegetal e a senescência para a geração de biomassa (ARNOLD et al., 1995).

#### 4.5.5 Componente Vertente

A taxa de sedimento transportado pelos sulcos e entressulcos, descrita na Equação 1, é diretamente proporcional a distância do ponto mais alto do perfil, assim no topo do perfil é impossível de haver deposição por não ter contribuição de

sedimentos vindos de cima. Empoçamento de água em regiões topograficamente favoráveis são identificadas junto ao balanço hídrico, ocasionando na anulação da erosão. Regiões de declividade muito elevada ( $>20^\circ$ ) não são aplicadas no modelo, pois o processo de voçoroca começa a ser muito atuante, e este não é contemplado no modelo (FOSTER et al., 1995).

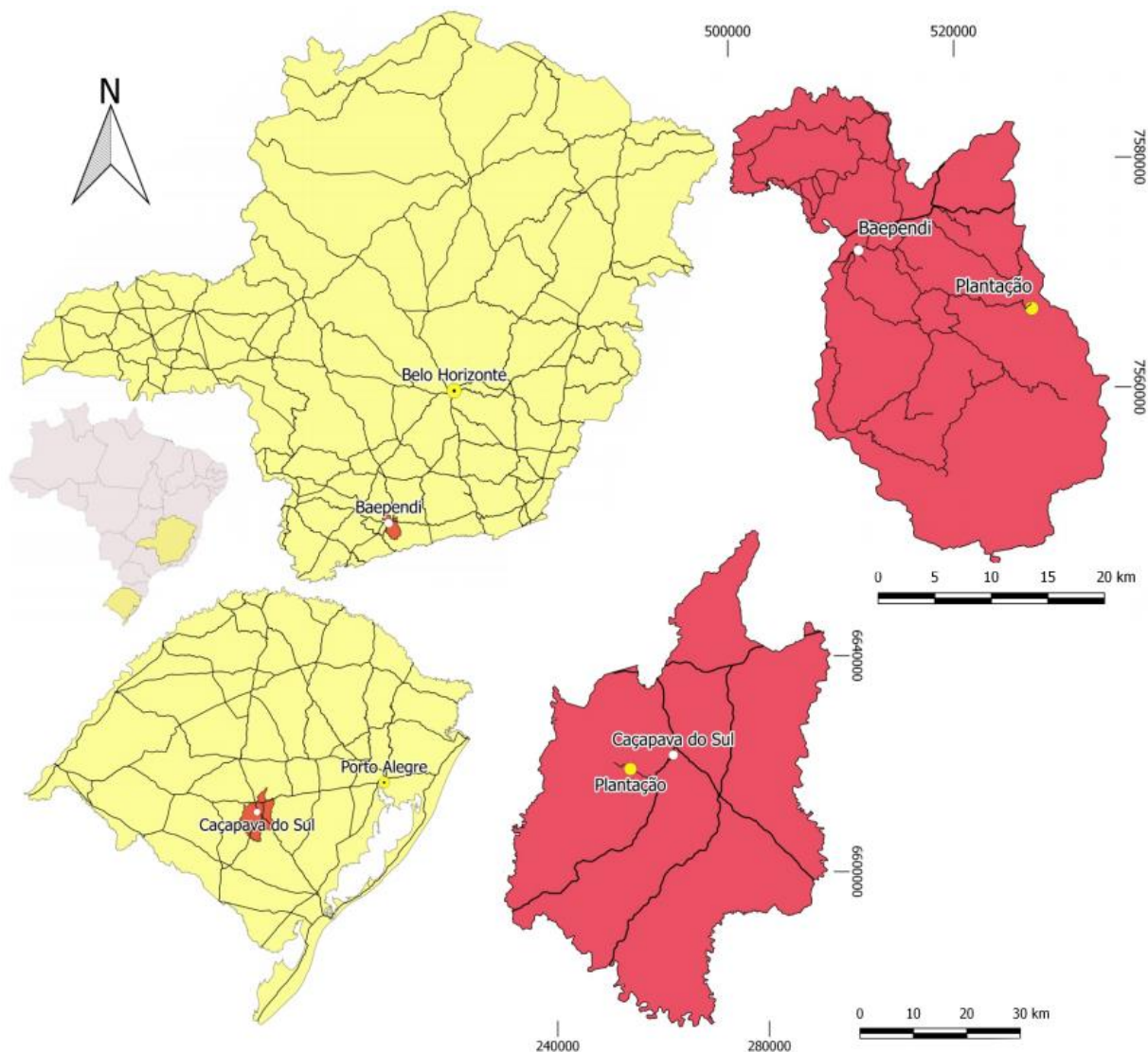
## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais e métodos foram divididos em seis tópicos: área de estudo, geologia, topografia, parâmetros de cultivo, solos e clima. A base de dados utilizada foi obtida em duas fases. O estudo prévio das condições ambientais da área, através de processamento digital de imagem. E a coleta de informações em campo, na visita técnica. A base de dados de Baependi foi disponibilizada pelo proprietário e consiste em um conjunto de dados referentes ao solo, práticas de cultivo e fotografias das oliveiras e do solo.

### **5.1 Área de Estudo**

As áreas de estudo estão localizadas nas principais regiões produtoras de azeite do Brasil, no centro-sul do Rio Grande do Sul e no sul de Minas Gerais (Figura 3).

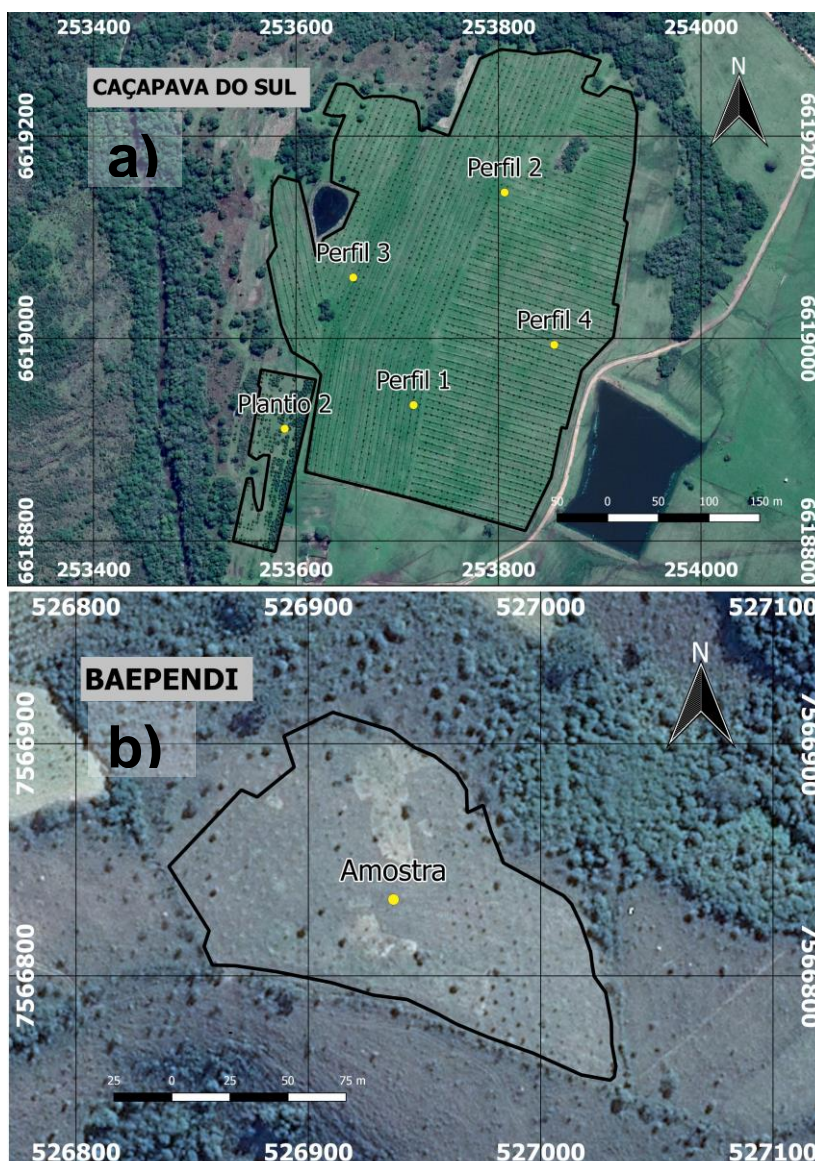
Figura 3 - Localizações das áreas de estudo onde estão inseridas as plantações de oliveira, em Baependi - MG e Caçapava do Sul - RS



Fonte: autor (2018)

A fazenda localizada no município de Caçapava do Sul, centro-sul do Rio Grande do Sul, está inserida no vale do Santa Bárbara. Ela possui 128 mil m<sup>2</sup> de oliveiras plantadas e é dividida dois plantios, um plantio mais antigo do ano de 2006, com 7 mil m<sup>2</sup> e outro mais recente do ano de 2016, com 121 mil m<sup>2</sup> (Figura 4.a). A fazenda localizada no município de Baependi, sul de Minas Gerais, possui 16 mil m<sup>2</sup> de oliveiras plantadas (Figura 4.b) e está inserida na Serra da Mantiqueira. As oliveiras foram plantadas em 2016 e passaram por uma queimada, comum desta região, que matou 3 árvores e retardou o crescimento em grande parte delas.

Figura 4 - Imagem de satélite das plantações de oliveira e respectivos pontos de amostragem de solo: (a) Plantação localizada em Caçapava do Sul, RS; (b) Plantação localizada em Baependi, MG..



Fonte: autor (2018).

Localizadas a mais de 1.300 quilômetros de distância uma da outra, as duas fazendas proporcionam um clima adequado para o crescimento da oliveira. Três fatores são essenciais para seu crescimento. Temperatura média mínima do mês mais frio abaixo de 10°C, pluviosidade média anual maior que 700 mm e temperatura média anual entre 15°C e 20°C (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009).

A fazenda de Caçapava do Sul possui uma altitude média de 180 metros e um gradiente topográfico de 25 metros. A pluviosidade média anual é de 1538 mm e os meses mais chuvosos são setembro e outubro, que são levemente acima da média mensal. A temperatura média anual é de 17 °C. A fazenda de Baependi tem uma altitude média de 1500 metros e um gradiente topográfico de 35 metros. Os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro, os quais podem apresentar um volume de precipitação seis vezes maior que os meses mais secos. A pluviosidade anual é de 1462 mm e a temperatura média anual de 18°C (INMET, 1992).

O clima de Caçapava do Sul é classificado como clima subtropical (Cfa), com verão quente, segundo a classificação climática de *Koppen-Geiger*, sendo o inverno e o verão bem definidos. O clima em Baependi é classificado como subtropical (Cwa), com inverno seco, sendo o verão e o outono chuvosos (ALVARES et al., 2013). Os meses mais quentes e mais frios de Caçapava e de Baependi são os de dezembro a fevereiro, e os de junho a agosto, respectivamente. Nos meses mais quentes, Caçapava do Sul possui uma temperatura média máxima maior que 28°C e média mínima de 18°C. Baependi nesses meses possui uma temperatura média máxima de 27°C e mínima de 18°C. Nos meses mais frios, Caçapava do Sul possui uma temperatura média máxima de 16°C e mínima de 7°C. Baependi nesses meses possui uma temperatura média máxima de 24°C e mínima de 10°C (INMET, 1992).

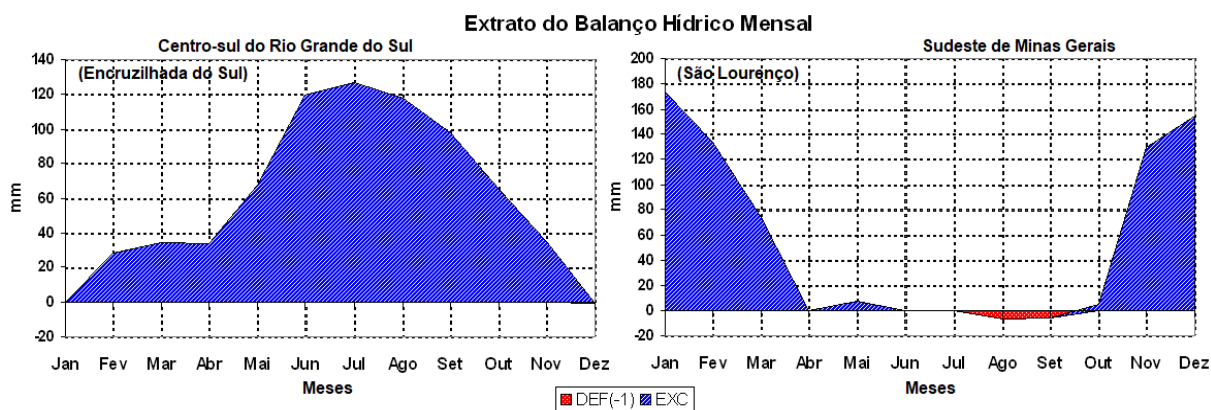
O mês com maior pluviosidade no centro-sul do Rio Grande do Sul (representado por Encruzilhada do Sul) é em julho, com 157 mm e o mais seco em março, com 97 mm. A variação pluviométrica desses meses é de 60 mm, que é relativamente baixo em comparação ao sudeste de Minas Gerais. No sudeste de Minas Gerais (representado por São Lourenço) o mês de maior pluviosidade é em Janeiro, com 278 mm e o de menor pluviosidade em agosto, com 17 mm. A variação pluviométrica para esses meses é de 216 mm.

O balanço hídrico, o qual é a diferença da água que entra e sai do solo, está diretamente relacionado com a pluviosidade e as temperaturas máximas e mínimas mensais (Figura 5). Por exemplo, a variação da pluviosidade mensal no centro sul do Rio Grande do Sul é baixa, porém a amplitude térmica anual é alta. Essa amplitude interfere diretamente na evaporação, diminuindo o valor excedente de chuva nos meses mais quentes. O sudeste de Minas Gerais possui deficiência hídrica nos meses de julho, agosto e setembro, diretamente relacionado às baixas



taxas pluviométricas. A deficiência hídrica pode causar danos às plantações, retardando o crescimento das plantas e o mau desenvolvimento dos frutos.

Figura 5 - Balanço hídrico de Encruzilhada do Sul, representando a região de Caçava e de São Lourenço, representando Baependi. DEF = deficiência e EXC = excedente.



Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2003).

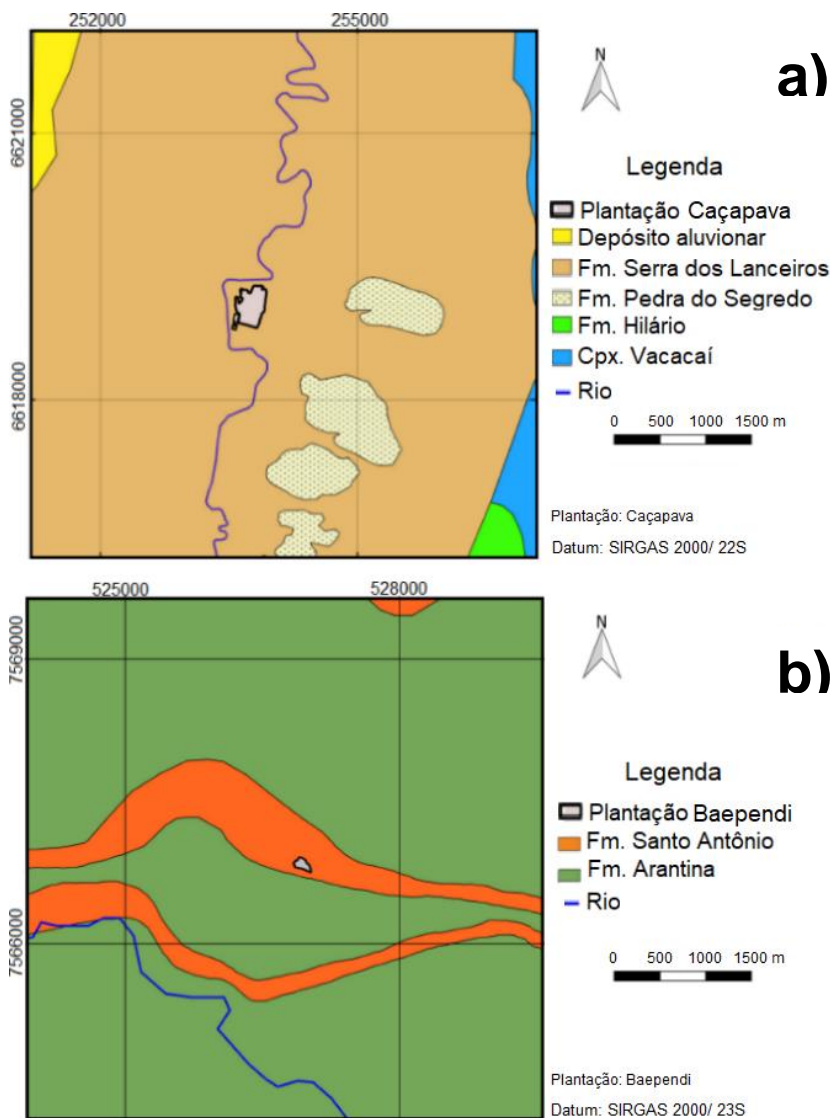
## 5.2 Geologia Local

O estudo da geologia local referente à área em que as plantações de oliveira estão inseridas é de grande importância para a avaliação qualitativa do tipo de solo. Durante o intemperismo a rocha dá origem ao solo residual, rico em minerais de composição química semelhante à rocha de origem (IBÁÑEZ, 2008). Esses minerais, oriundos da decomposição das rochas, combinam-se com os outros materiais do solo para definir a sua composição química e física (LIMA; LIMA; MELO, 2007). Os substratos rochosos das plantações de oliveira de Caçapava do sul fazem parte da Formação Serra dos Lanceiros (542 Ma), compostas por rochas sedimentares siliciclásticas (CPRM, 2008) (Figura 6.a).

As rochas da área de estudo em Baependi pertencem à Formação Santo Antônio (610 Ma; COMIG; CPRM, 2003) (Figura 6.b). Essa formação compreende rochas metamórficas, compostas por granada xistos e gnaisses, enriquecidos em aluminossilicatos (PRESS, 2006).



Figura 6 - Mapas geológicos das áreas de estudo. a) Caçapava do Sul e b) Baependi-MG.



Fonte: Adaptado de a) CPRM (2008) e b) COMIG; CPRM (2003).

Inserido dentro da Bacia do Camaquã (630 a 510 Ma) está o grupo Santa Bárbara, composto pelas Formações Serra dos Lanceiros e Pedra do Segredo (542 Ma). As rochas de ambas as formações foram geradas em ambientes sedimentares de rios fluviais entrelaçados, caracterizado por fluxos canalizados e barras laterais e frontais bem desenvolvidas (CPRM, 2008). Também dentro da Bacia do Camaquã está o Grupo Bom Jardim, composto pela formação Hilário (600 Ma). Sua porção aflorante, a sudeste da região da plantação, é composta por rochas vulcânicas intercaladas com piroclásticas. As rochas do Complexo Metamórfico do Vacacaí (750 Ma), a leste da plantação, são compostas em sua

maioria por xistos de metapelitos, grafita xisto e quartzito, metamorfizados na fácies xisto verde superior a anfibolito (BITENCOURT, 1983).

As rochas que circundam a fazenda de Baependi estão inseridas no Grupo Andrelândia. Esse Grupo é composto pelo conjunto de quatro sequências metamórficas principais, as quais são: Sequência Gnáissica inferior; Sequência Xisto-quartzítica; Sequência Gnaiss intermediário; e Gnáissico-quartzita (VASCONCELLOS, 1988). A formação Santo Antônio, inserida na sequência Xisto-quartzítica, é composta principalmente pela rocha biotita-xisto. No topo, dentro da sequência Gnáissico-quartzita, a formação Arantina é composta pelas rochas biotita xisto-gnaiss, quartzito, anfibolito e metaprecipitados químicos (COMIG; CPRM, 2003).

### **5.3 Topografia**

O modelo topográfico do seguinte estudo utilizou os dados processados do Satélite de Observação Terrestre Avançado, ALOS, lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão, JAXA, em 2006. O satélite ALOS transportou consigo o Radar de Abertura Sintética de Banda L, PALSAR, com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Terreno (ROSENQVIST et al., 2007). Esse modelo possui resolução de 12,5 metros e foi disponibilizado pela Instalação de Satélite do Alasca, ASF.

Para definir as vertentes que possuem características similares, gerou-se o mapa de direção de fluxo através do software QGIS (QGIS, 2011), utilizando os dados topográficos do ALOS-PALSAR. As vertentes então foram transferidas para o software WEPP, através da decomposição das mesmas em segmentos de 20 metros, utilizando a declividade média representante de cada segmento.

### **5.4 Parâmetros de Cultivo**

Os parâmetros de cultivo foram obtidos de quatro formas, tais como: técnicas de georreferenciamento; visita técnica a Plantação de oliveiras de Caçapava; interpretação de fotografias de Baependi (ANEXO A) e através de um questionário

com peruntas relacionadas as práticas de cultivo, direcionadas aos proprietários (Tabela 2).

Tabela 2 - Informações sobre os parâmetros morfológicos e de cultivo das plantações de oliveiras de Caçapava do Sul-RS e Baependi-MG.

Condições Iniciais	Altura Média	Cobertura do solo	Cobertura das Árvores	Grossura do Caule
Caçapava (2006)	3,5 m	Estepe – 80%	27,6%	38 cm
Caçapava (2016)	2,4 m	Estepe - 80%	0,15%	18 cm
Baependi	2,0 m	Campo Rupestre – 60%	0,10%	--

Distribuição	Espaçamento	Tipo	Profundidade do dreno	Diâmetro
Caçapava (2006)	Quadrado 4 x 4	--	--	--
Caçapava (2016)	Retângulo 6 x 7	Argila	15 cm	15 cm
Baependi	Quadrado 6,5 x 6,5	--	--	--

Poda	Frequência	Podado	Altura	Tipo
Caçapava (2006)	A cada 2 anos	30%	3,5 m	Topo e lateral
Caçapava (2016)	Todos os anos	17%	2,5 m	Formação
Baependi	--	--	--	--

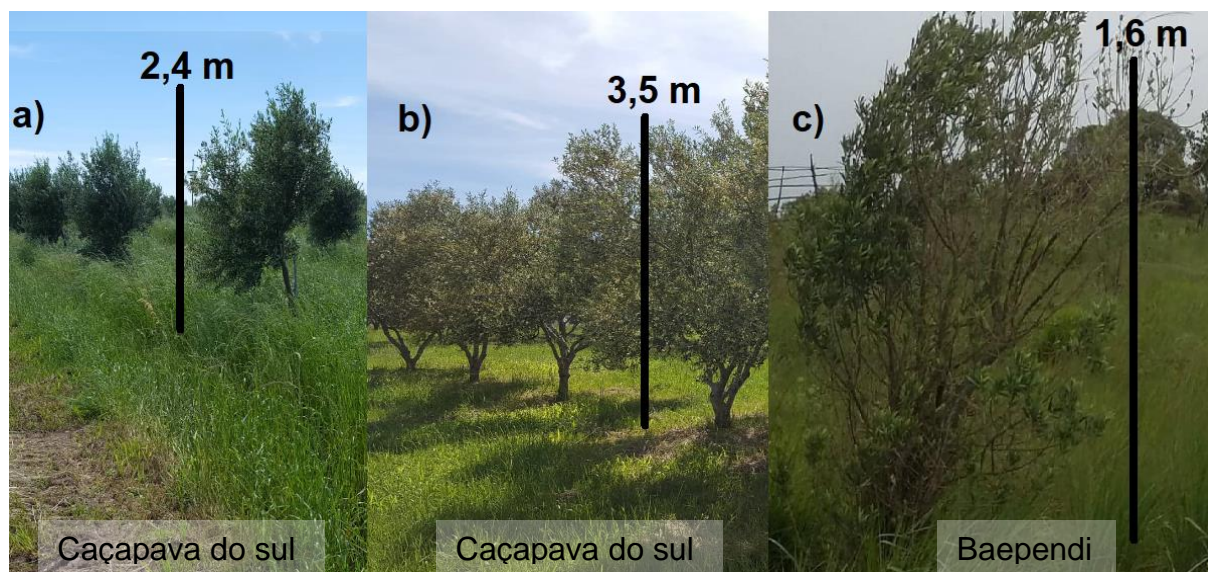
Fonte: autor (2018).

Para a plantação em Caçapava do Sul, foi realizada uma visita técnica na fazenda em setembro do ano de 2018. Foram feitas medições referentes ao espaçamento, à altura e a espessura do caule das oliveiras, além da captura de imagens e apreciação visual da cobertura do solo. A altura e a espessura do caule das oliveiras foram obtidas através da média aritmética das medições feitas em campo, utilizando uma régua topográfica e uma trena. O espaçamento das oliveiras

foi obtido por medições em campo e por sensoriamento remoto, utilizando o Google Earth.

A seguir são apresentados três fotos, uma para cada plantio de Caçapava, e outra para Baependi (Figura 7). As fotos em Caçapava foram capturadas na visita técnica e a de Baependi disponibilizada pelo proprietário.

Figura 7 - Fotografia das árvores de Oliveira. a) Plantio do ano de 2016 em Caçapava do Sul; b) Plantio de 2006 em Caçapava; c) Plantio de 2016 em Baependi.



Fonte: autor (2018).

As espécies de oliveira plantadas em Caçapava são: Arbequina, Picual e Koroneiki. Em Baependi as espécies são: Arbequina e Koroneike. A cobertura do solo é composta essencialmente por gramíneas. Elas são as responsáveis pela cobertura do solo junto às oliveiras, as quais pouco contribuem. As espécies de gramíneas da região de Caçapava do Sul em geral cobrem até 80% do solo (GUILHERME; AUGUSTO, 2000). Por estar em uma altitude muito superior, Baependi (1.500m) possui um conjunto de espécies de gramíneas diferentes. Essas espécies de regiões montanhosas cobrem até 60% do solo (GUILHERME; AUGUSTO, 2000). Além de cobrir 20% menos o solo, a fazenda de Baependi passou por um incêndio que matou três árvores e acabou com a cobertura do solo. Sendo assim, a cobertura de lá está menos desenvolvida e mais susceptível aos agentes erosivos.

## 5.5 Solos

Realizou-se uma saída de campo para a coleta de solos da plantação em Caçapava do Sul – RS. Coletaram-se os solos com o auxílio de um trado helicoidal de 1 metro de comprimento. Foram feitos 5 pontos de coleta dos solos, um em cada vertente previamente definida. Essas vertentes foram definidas em relação à direção do fluxo hídrico da topografia, em etapa pré-campo. Sondou-se até 60 cm de profundidade, coletando as amostras representantes de cada horizonte (Figura 8).

Figura 8 - Amostras de solo do ponto 3. Cada amostra representa um horizonte.



Fonte: autor (2018)

Os solos coletados foram armazenados e identificados em sacolas plásticas transparentes. Posteriormente, analisaram-se esses solos no laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Definiram-se as cores, as frações granulométricas e as quantidades de matéria orgânica.

Os dados referentes às características do solo da plantação de oliveira de Baependi, os quais incluem as frações granulométricas (Tabela 3) e a quantidade de matéria orgânica (Tabela 4), foram disponibilizados pelo proprietário da fazenda.

Tabela 3 - Dados das frações granulométricas de Baependi.

Diâmetro (mm)	Horizonte A (%)	Horizonte B (%)	Horizonte C (%)
2	12	14	20
1	10	12	15
0,5	14	4	15
0,25	22	15	10
0,125	12	25	03
0,062	06	08	02
0,031	12	06	05
0,016	1	2	3
0,008	2	2	2
0,004	1	1	2
0,002	2	2	1
< 0,001	6	9	22

Fonte: Dados disponibilizados pelo proprietário da Fazenda em Baependi.(2016)

Tabela 4- Dados da quantidade de matéria orgânica de Baependi.

Amostra	Matéria Orgânica (%)
Horizonte A	3,2
Horizonte B	2,2
Horizonte C	2,8

Fonte: Dados disponibilizados pelo proprietário da Fazenda em Baependi.(2016)

### 5.5.1 Granulometria

Para definir a curva granulométrica utilizou-se as metodologias propostas por Suguio (1973), para determinar as frações argila e silte e por Donagema et al., (2017) para determinar as areias. Donagema et al., (2017) diverge do Suguio (1973) na fase de peneiramento, pois sugere que seja feito primeiro e com a amostra saturada em água.

Inicialmente, secaram-se as amostras em temperatura ambiente por 60 horas, destorroando-as em um grau utilizando um pistilo de borracha. Posteriormente peneirou-se o material destorroado em uma peneira de 2 milímetros. O material passante foi dividido em duas porções, 50 gramas foram colocados em um béquer de peso conhecido e depois transferido para estufa, e entre 70 a 120 gramas foram colocados em uma solução com 47,9 gramas de hexametáfosfato de sódio e 125 ml água destilada por 24 horas.



O material que estava na estufa foi então transferido para o dessecador de sílica-gel por 2 horas. Esse material foi pesado novamente. Por diferença de peso inicial e final definiu-se a umidade higroscópica, que posteriormente foi utilizada junto às frações granulométricas para definir a curva granulométrica. Em seguida o material que estava na solução de hexametáfosfato e água destilada foi agitado por um misturador por 15 minutos. Essa solução foi transferida para uma proveta de sedimentação, colocando-se água destilada até completar 1 litro (Figura 9.a).

Esse material foi agitado de forma manual por 40 segundos, iniciando a fase de pipetagem, utilizando uma pipeta volumétrica de 20 ml e um pêra. Para cada pipetagem realizada, foi feito novamente a agitação manual da proveta de sedimentação. Foram feitas 7 pipetagens de tempo e profundidade estabelecidas. Os materiais pipetados foram colocados em béqueres de 50 ml de peso conhecido e então colocados na estufa. O restante do material que ficou nas provetas foi passado nas peneiras (Figura 9.b). Os materiais retidos foram colocados em béqueres de peso conhecido e posteriormente secos em estufa.

Figura 9 - Determinação das frações granulométricas. a) Proveta de sedimentação. b) Conjunto de peneiras.



Fonte: autor (2018).

Após a completa secagem dos sedimentos coletados, os béqueres foram transferidos para o dessecador sílica-gel, para resfriamento sem ganho de umidade. Passadas às duas horas no dessecador, esse material foi pesado em uma balança analítica. Os valores das pesagens dos respectivos sedimentos coletados junto à umidade higroscópica são utilizados por equações fundamentadas na lei de Stokes, para definir as frequências simples e acumuladas de cada fração granulométrica.

### 5.5.2 Matéria Orgânica

O cálculo da matéria orgânica baseou-se na metodologia de Bortolin e Cassol (2011). Após secar as amostras de solo por 60 horas em temperatura ambiente, destorroá-las e peneirá-las, separou-se 0,5 g desse material em um béquer de peso conhecido. Adicionou-se a esse material 0,5 mL de peróxido de hidrogênio 30%, dando início ao processo de digestão da matéria orgânica (Figura 10).

Figura 10 - Amostra de solo efervescendo com o peróxido de hidrogênio para determinação da matéria orgânica.



Fonte: autor (2018).

Após 1 hora de reação, esse material foi colocado na estufa a 110°C por 60 minutos. Após a secagem, o material foi transferido para o dessecador sílica-gel por 2 horas. Pesou-se esse material e então, obteve-se a concentração da matéria orgânica no solo, utilizando-se a equação 6.



$$CO(gkg^{-1}) = (PI - PF \times 1000/1,724) \quad (6)$$

Onde:

CO = teor de carbono orgânico, em  $g\ kg^{-1}$

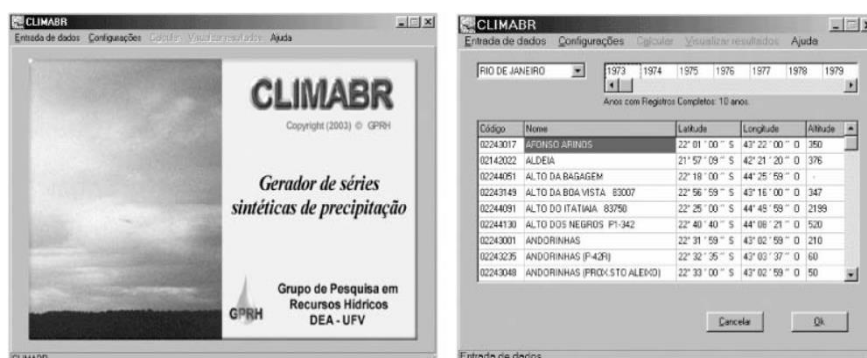
PI = peso inicial = 0,5 g

PF = peso final, após reação e secagem.

## 5.6 Clima

Para simular o clima foi utilizado o software CLIMABR (Figura 11). Através dele, pode-se simular a previsão do tempo diária durante os anos escolhidos. Diariamente simulam-se parâmetros meteorológicos como as temperaturas máximas, mínimas, precipitações, intensidade do vento, umidade e radiação (DE OLIVEIRA; ZANETTI; PRUSKI, 2005). Além disso, é possível calcular o coeficiente de determinação e o erro padrão das estimativas que as classificam quanto a sua qualidade. A capacidade de o modelo estimar os dados corretamente é alta. Visto que a temperatura máxima, mínima, umidade, radiação e intensidade do vento possuem o coeficiente de determinação igual a 1,0, indicando uma excelente correlação. Apenas as precipitações tiveram um pequeno erro de 0,002 associado, com o coeficiente de determinação igual a 0,998. Estes resultados aumentam a confiabilidade dos resultados. Os gráficos da correlação das estimativas estão disponíveis no ANEXO B e ANEXO C.

Figura 11 - Interface do *software* CLIMABR.



Fonte: Extraído de De Oliveira; Zanetti; Pruski (2002).

Para utilizar o software, devem-se definir os anos e as estações meteorológicas e climatológicas a serem utilizadas. As simulações foram realizadas entre os anos de 2019 e 2029, ou seja, dez anos. Para a fazenda de Caçapava utilizou-se as estações do Passo do Caçã, a 52 km da fazenda, com 12 anos de dados históricos. Em Baependi utilizou-se as estações de Passa Quatro a 48 km da fazenda, com 11 anos de dados históricos. Os dados utilizados são dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012).

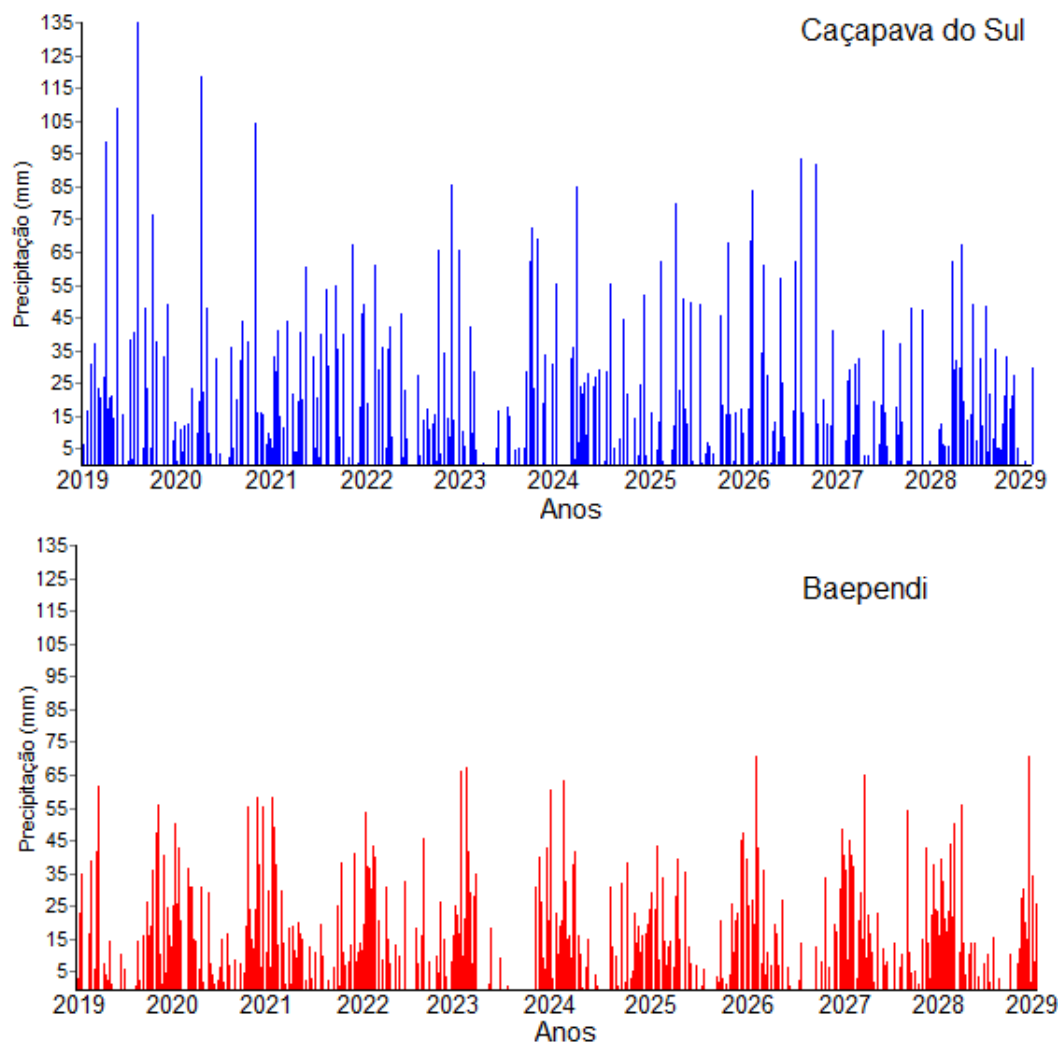
## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados foram divididos em: parâmetros climáticos, características topográficas, propriedades do solo, avaliação dos parâmetros, erosão do solo e práticas redutoras.

### **6.1 Parâmetros Climáticos**

No CLIMABR foram gerados dez anos de simulação, de 2019 a 2029. Na sessão a seguir serão apresentados os resultados dessa simulação em forma de gráficos. No gráfico de precipitação total diária (Figura 12) são mostrados a quantidade e os dias de chuva simulados. Através dele podem-se identificar padrões de ocorrência distintos em cada plantação. Verificou-se que dias chuvosos seguidos de dias chuvosos são mais comuns em Baependi. Em Caçapava do Sul a quantidade de chuva máxima em um dia é de 135 mm, enquanto que em Baependi é de 71 mm.

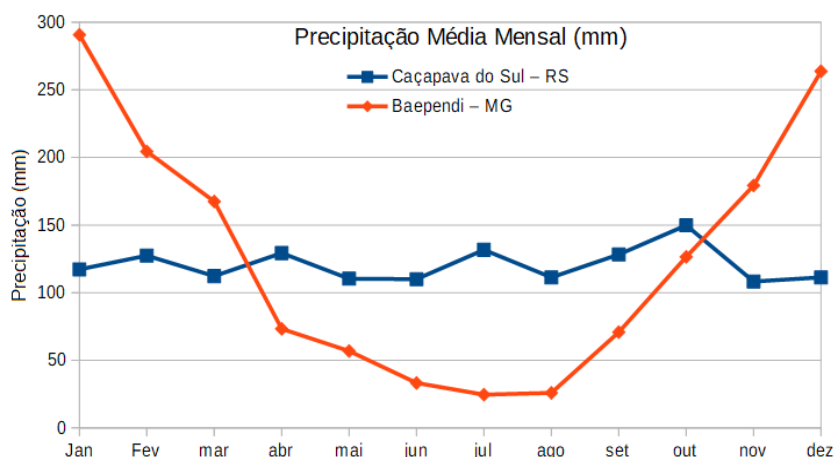
Figura 12 - Precipitações diárias simuladas dos anos de 2019-2029.



Fonte: autor (2018).

Através do gráfico de precipitação média mensal, observa-se que Caçapava do Sul apresenta um regime de chuva uniforme durante todo ano, com uma média de 125 mm de precipitação por mês (Figura13). Já Baependi, apresenta durante o inverno sua época de mais baixa pluviosidade, variando 35 até 20 mm por mês, enquanto no verão a precipitação consegue atingir valores de até 290 mm por mês. A precipitação média máxima de Caçapava é de 150 mm e de Baependi 285 mm. A precipitação média mínima em Caçapava é de 110 mm e de Baependi 25 mm. As duas fazendas se contrabalançam em relação a sua erosividade. Apesar de Baependi possuir 135 mm a mais na precipitação máxima, Caçapava chove por mais meses que Baependi.

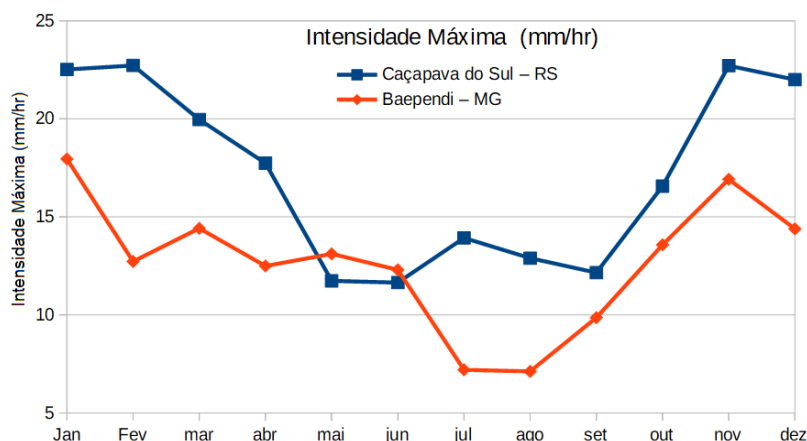
Figura 13 - Precipitação média mensal simulada dos anos de 2019-2029.



Fonte: autor (2018).

A intensidade máxima é a quantidade máxima de precipitação em uma hora. Ela é considerada um dos fatores mais importantes na determinação da erosão (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010). A intensidade máxima em Caçapava do Sul varia de acordo com os meses, sendo os meses de novembro a abril os mais intensos, chegando a 23 mm/hora (Figura 14). Em Baependi a intensidade máxima varia semelhante à sua precipitação média mensal, sendo a maior intensidade no mês de janeiro, com 18 mm/hora. Durante 10 meses, Caçapava possui a maior intensidade máxima. Pode-se sugerir que a intensidade máxima de Caçapava é mais erosiva do que Baependi.

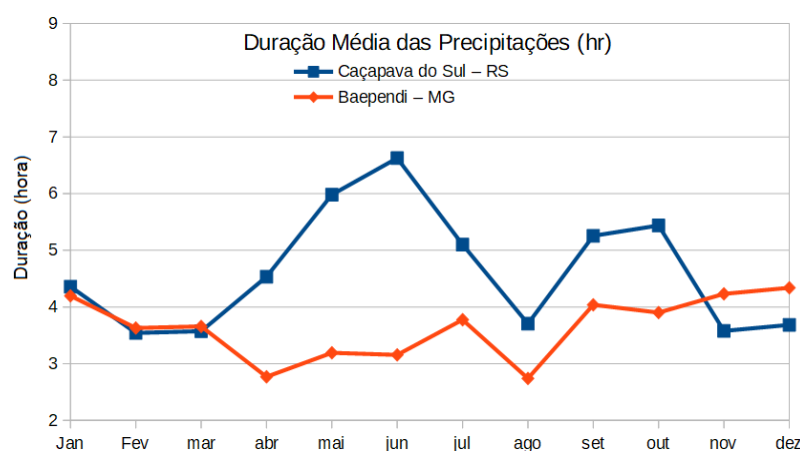
Figura 14 – Intensidade máxima mensal dos dados simulados.



Fonte: autor (2018).

Em geral, Caçapava do Sul possui as durações médias das precipitações maiores que Baependi (Figura 15). A duração das chuvas em Baependi apresenta certa constância, de 3,5 horas, variando entre 4,2 e 2,8 horas. Já em Caçapava do Sul essa variação é até 3 horas, variando entre 6,8 e 3,5 horas. Através da comparação dos gráficos, observa-se que Caçapava tem um potencial erosivo maior do que Baependi, principalmente pela sua intensidade média máxima e o tempo de duração das chuvas maior.

Figura 15 – Simulação da duração da média mensal das precipitações.

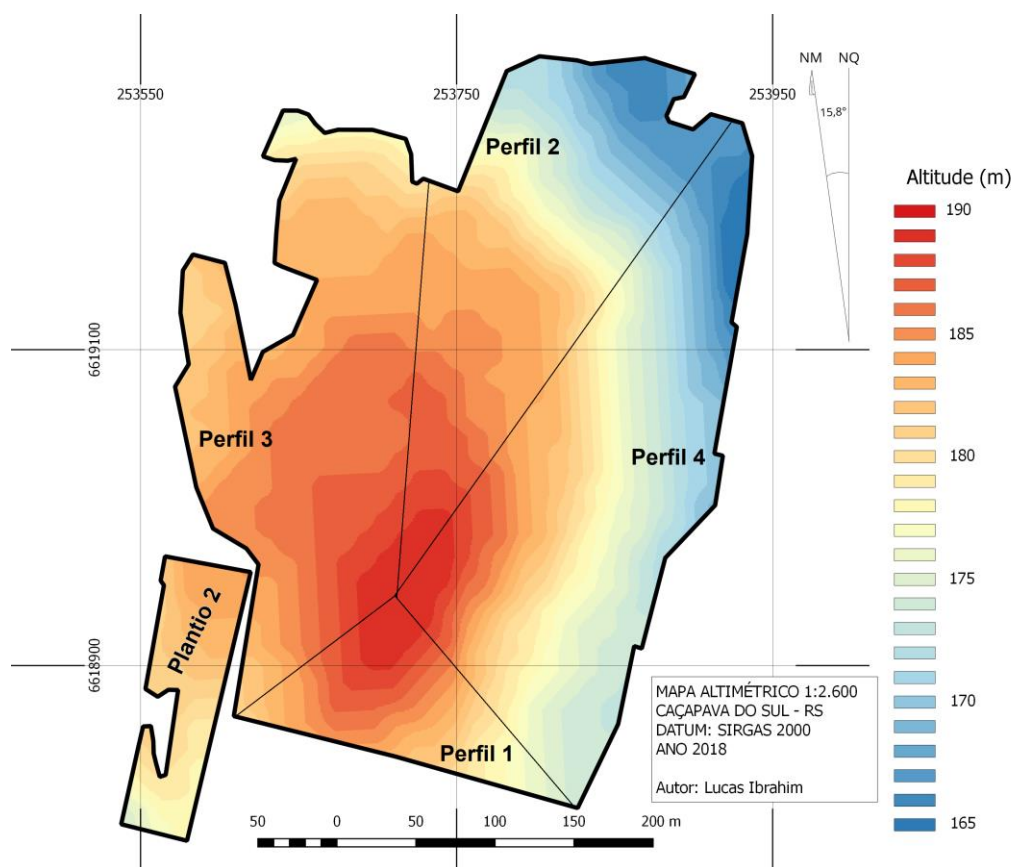


Fonte: autor (2018).

## 6.2 Características Topográficas

A plantação de oliveiras em Caçapava do Sul possui uma área de 128.000 m<sup>2</sup> e altitudes variando entre 165 e 190 m. O maior plantio apresenta sua altitude máxima localizado na região central, e separa a região em quatro perfis captadores de água (Figura 16). O menor plantio, localizado a sudoeste do maior plantio, tem altitude máxima em sua borda e foi representado por uma única vertente.

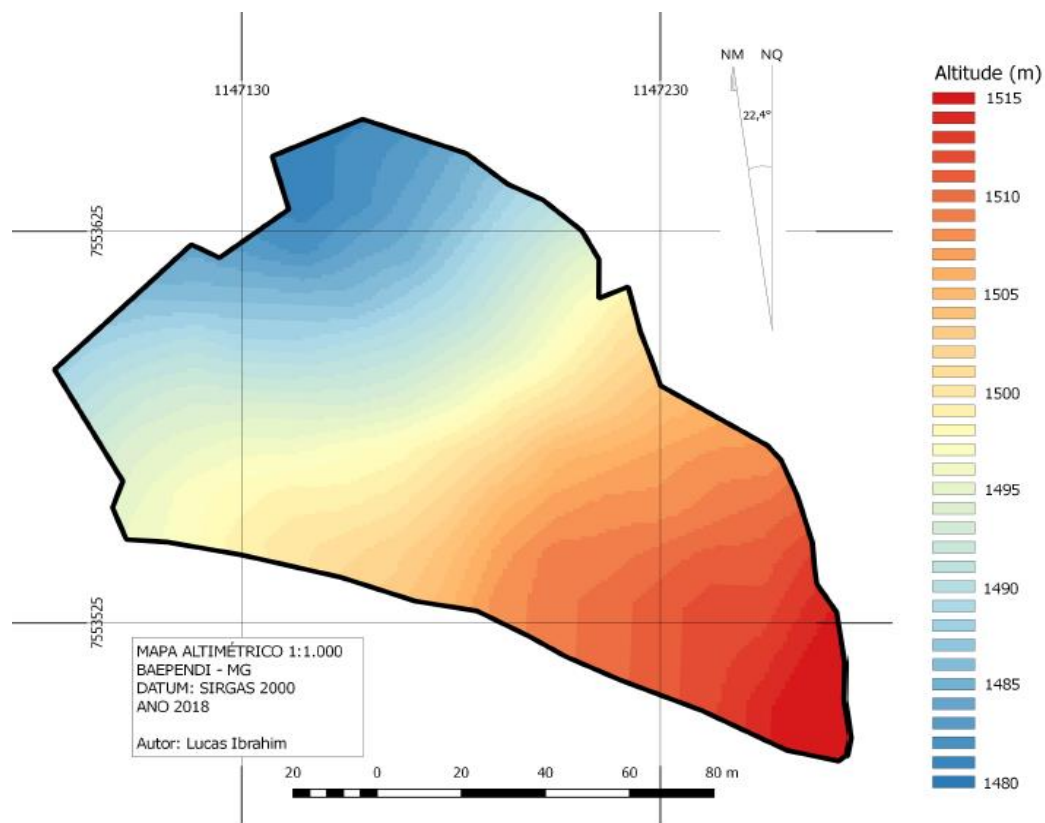
Figura 16 - Mapa topográfico da fazenda de Caçapava com os respectivos perfis delimitados.



Fonte: autor (2018).

A plantação de Baependi é bem menor, possui uma área de 16.131 m<sup>2</sup> e sua altitude varia de 1480 m a 1515 m (Figura 17). Ela está inserida em uma única vertente de direção de fluxo noroeste com 216 metros de comprimento.

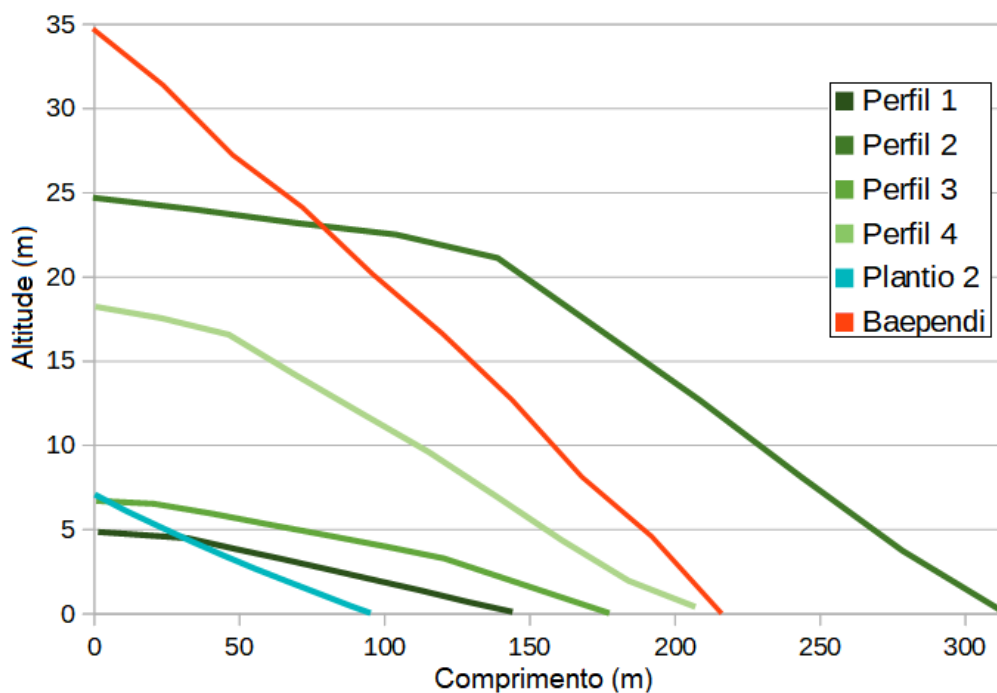
Figura 17 - Mapa topográfico da fazenda de Baependi.



Fonte: autor (2018).

O Perfil 1, 2, 3 e 4 representam as vertentes do maior plantio de Caçapava e o Perfil do Plantio 2, o menor. A fazenda de Baependi é representada por um perfil. Através da figura 18, observa-se que o perfil com a maior altitude é Baependi com 35 m. O perfil 2 de Caçapava é o mais extenso, com 315 m, seguido por Baependi com 216 m. Dos perfis de Caçapava, o perfil 2 tem a maior altitude e o perfil 1 a menor.

Figura 18 - Perfis topográficos.



Fonte: autor (2018).

Na geração dos perfis foram calculadas suas declividades máximas e médias (Tabela 5).

Tabela 5 - Tabela de declividade máxima e média.

Perfil	Declividade Máxima	Declividade Média
Baependi	20°	18,2°
Perfil 1	4,2°	3,9°
Perfil 2	15,6°	10,9°
Perfil 3	5,7°	3,3°
Perfil 4	11,5°	10°
Plantio 2	9,0°	7,2°

Fonte: autor (2018).

Pode-se sugerir que Baependi possui a topografia mais erosiva dos perfis, pois além de possui 4,4 ° de declividade máxima a mais que Caçapava, ela possui a

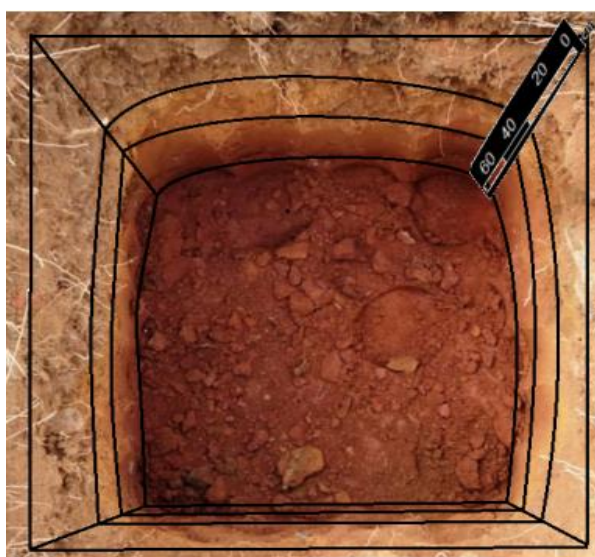


maior declividade média. Esses dois fatores contribuem para o aumento da velocidade de escoamento. Ao aumentar a velocidade de escoamento, o atrito entre o solo e o escoamento passa ser mais atuante na desagregação do solo, contribuindo para a erosão. Dentre os perfis de Caçapava, sugere-se que o perfil 2 seja o mais erosivo, seguidos dos perfis 4, 3, plantio 2 e 1.

### 6.3 Propriedades do solo

Através da foto interpretação utilizando o sistema de cores Munsell (1994), no qual são atribuídos códigos baseados nas cores dos solos na fotografia. Identificaram-se três horizontes de colorações distintas em Baependi (Figura19). O horizonte A de cor vermelho amarelado (5YR5/6), o horizonte B de cor amarelo avermelhado (5YR7/8) e o horizonte C de cor vermelho (10R4/8).

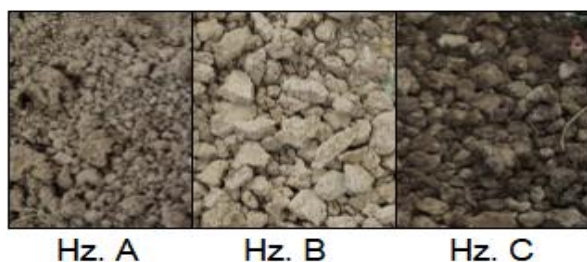
Figura 19 - Fotointerpretação dos horizontes de solo de Baependi. Escala em cm.



Fonte: Foto disponibilizada pelo proprietário da fazenda em Baependi (2016). Modificado pelo autor (2018).

Em Caçapava as cores foram definidas junto às amostras coletas em campo (Figura 20). Foram identificadas três cores. O horizonte A de cor marrom escuro (7.5YR3/4), o horizonte B de cor castanho avermelhado (HUE5Y6/4) e o horizonte C de cor marrom escuro (5YR4/6).

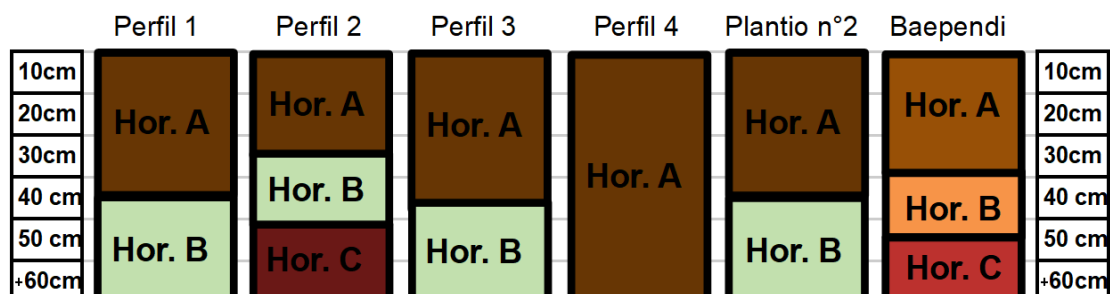
Figura 20 – Amostra dos horizontes de solo encontrados na fazenda de Caçapava.



Fonte: autor (2018).

Amostraram-se cinco pontos em Caçapava do Sul e um ponto em Baependi. Em nenhum dos plantios foi encontrado o substrato rochoso. No plantio principal de Caçapava, o maior, foi coletado quatro amostras, uma para cada perfil. O solo do perfil um apresentou dois horizontes (Figura 21). O primeiro horizonte, com 35 cm de espessura e o segundo com 25 cm. O perfil 2 apresentou 25 cm de horizonte A, 15 cm de horizonte B e mais de 20 cm de horizonte C. O perfil 3 é composto de 35 cm de horizonte A e mais de 25 cm de horizonte B. O perfil 4 nos 60 cm sondados foi encontrado apenas horizonte A. A última amostra em Caçapava foi coletada no plantio secundário e apresentou 35 cm de horizonte A e mais de 25 cm de horizonte B. Através da foto interpretação de Baependi, estipulou-se 30 cm de horizonte A, 15 cm de horizonte B e 15 cm de horizonte C.

Figura 21 - perfis de solo das fazendas de Caçapava e Baependi.

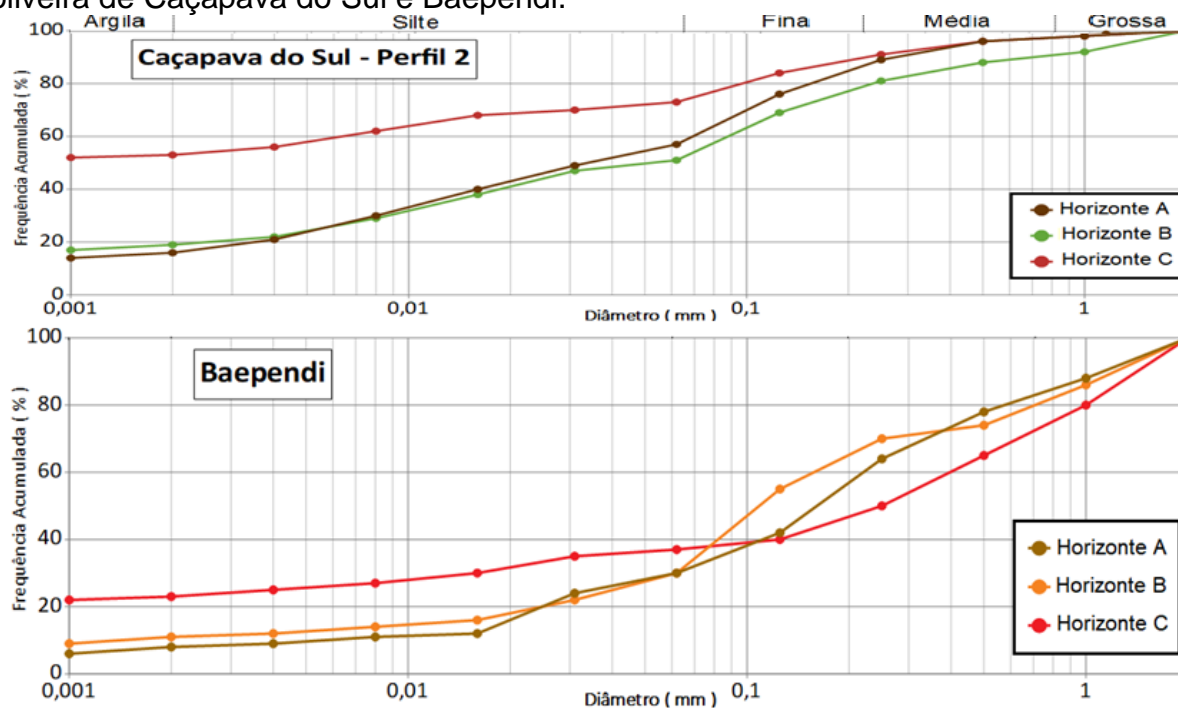


Fonte: autor (2018).

Através das análises granulométricas (ANEXO B; Figura 22) identificou-se que o solo de Baependi é 25% mais arenoso que os solos de Caçapava. Os

horizontes A em Baependi, e em Caçapava são 5% mais arenosos que seus respectivos horizontes B. O horizonte C é o mais argiloso em Caçapava.

Figura 22 – Curvas granulométricas das análises dos solos das plantações de oliveira de Caçapava do Sul e Baependi.



Fonte: dados de Caçapava, autor (2018). Dados de Baependi, proprietário (2016).

Através da tabela 6, foi feita a classificação dos solos das fazendas de Caçapava e Baependi. O solo da fazenda de Caçapava, segundo a sociedade brasileira de ciências do solo (DOS SANTOS et al., 2003), é classificado como franco argilo-arenoso. O solo da fazenda de Baependi é classificado como areia franca.

Tabela 6 - Frações granulométricas de Caçapava e Baependi. O dado referente à Caçapava é a médias dos cinco pontos amostrados.

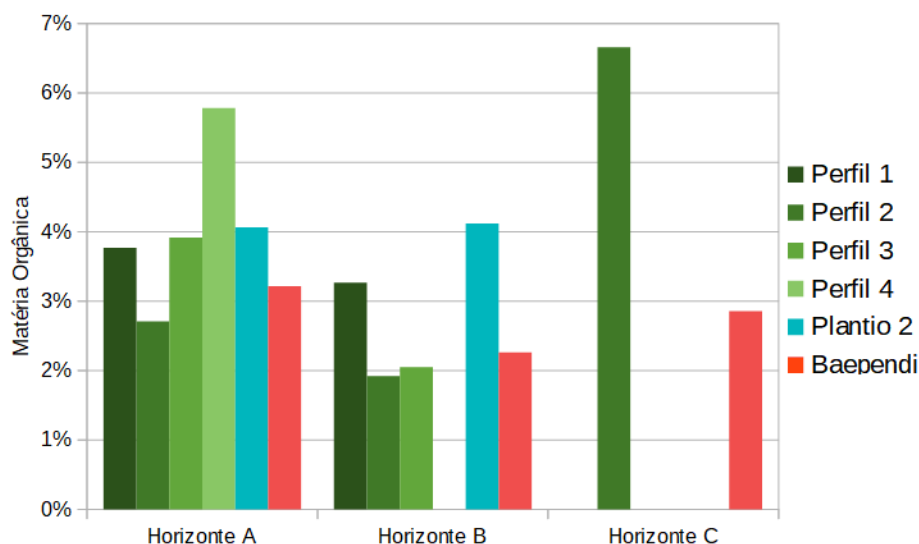
Fazenda	Argila %	Silte %	Areia Fina %	Areia Média %	Areia Grossa %	Matéria Orgânica %
Caçapava	20	25	35	15	5	3,8
Baependi	10	20	35	20	15	2,8

Fonte: autor (2018).

De modo geral, solos mais arenosos são mais susceptíveis a erosão do que solos argilos (SILVA, 1999). A partir desse fato podemos classificar em função da granulometria que o solo de Baependi é o mais erodível. Em Caçapava do Sul o solo menos erodível é do plantio 2, seguidos dos perfis 1, 2, 3 e 4.

A matéria orgânica no solo influencia na estabilidade dos agregados, ligando as superfícies externas das argilas (GUERRA, 1990). Nos solos amostrados a quantidade de matéria orgânica é maior no horizonte A (Figura 23). Esse fato está ligado à cor dos solos, em geral, solos mais escuros são mais ricos em matéria orgânica. Em todos os casos a quantidade de matéria orgânica diminui no horizonte B, que possuem coloração mais clara. No horizonte C, presente no ponto 4 de Caçapava e em Baependi, a quantidade de matéria orgânica apresenta uma configuração aleatória. Em Caçapava a quantidade de matéria orgânica alcança os patamares mais elevados, 6,5%. Já em Baependi as quantidades permanecem entorno de 2,4 %.

Figura 23 - Histograma de frequência da matéria orgânica.



Fonte: Dados de Caçapava autor (2018). Dados de Baependi proprietário (2016).

#### 6.4 Avaliações dos parâmetros que controlam a erosão

Para identificar qual dos parâmetros (solo, clima e topografia) é o mais agravante para a erosão, realizaram-se simulações computacionais alternando-os

entre as fazendas. Por exemplo, na plantação de Caçapava do Sul, utilizou-se o solo de Baependi. Calculou-se a diferença das taxas de erosão desta simulação, e da simulação com os dados apenas de Caçapava. Em outro exemplo, utilizou-se na fazenda em Baependi o clima de Caçapava do Sul. Calculou-se a diferença da taxa de erosão que o fator clima alternado causou. Essa avaliação possibilitou classificar os parâmetros, tais como o tipo de solo, topografia e clima, entre os mais e menos erosivos em cada plantação de oliveira.

Alternando os três fatores, foi gerada a Tabela 7, na qual se observa que a erosão de solo variou nas duas fazendas. Percebe-se que o solo de Baependi tem a maior erodibilidade, pois quando este fator é simulado com as características da plantação de Caçapava do Sul, aumenta-se em 339% a erosão em relação ao valor real. O clima de Caçapava é mais erosivo, pois quando este parâmetro é simulado com a plantação de Baependi, a erosão aumenta em 180%. A topografia de Baependi também tem maior influência na erosão, pois quando simulada com os dados de Caçapava, a erosão aumenta em 195%.

Tabela 7 – Variação da erosão com os parâmetros substituídos na simulação.

<b>Parâmetros</b>	<b>Plantação Caçapava</b>	<b>Plantação Baependi</b>
Solo de Caçapava	-	-51%
Solo de Baependi	+339%	-
Topografia de Caçapava	-	-75%
Topografia de Baependi	+195%	-
Clima de Caçapava	-	+180%
Clima de Baependi	-61%	-

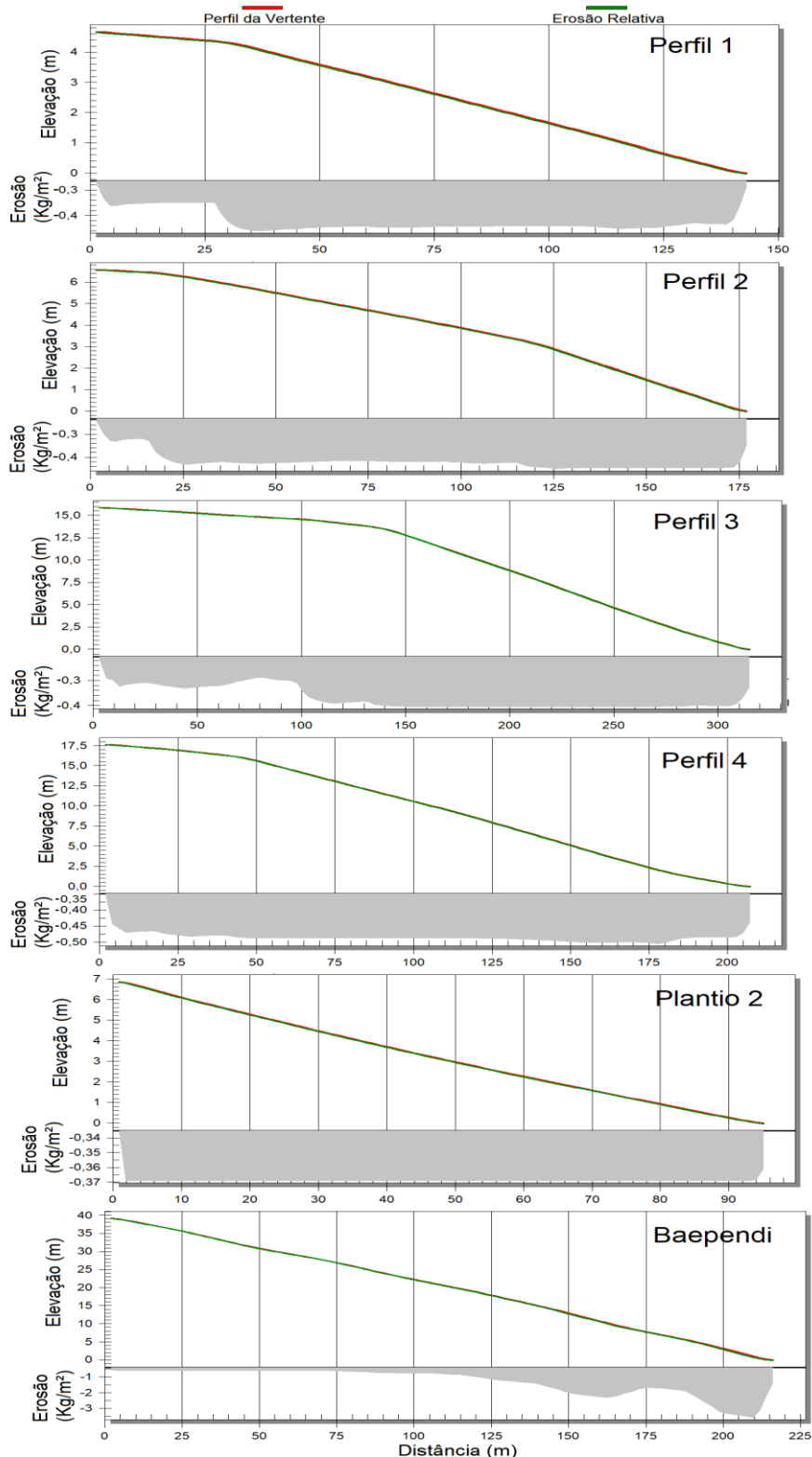
Fonte: autor (2018).

## 6.5 Erosão do solo

Os resultados da erosão de solo são os perfis ao longo da vertente, gerados a partir da simulação WEPP (Figura 24). Neles, observam-se os locais de maior e menor erosão. Valores positivos da erosão representam a deposição do solo e

negativos, a erosão. Nos perfis, a deposição do solo só ocorre nos casos de simulação da implantação de práticas conservacionistas de terraceamento.

Figura 24 - Perfis de elevação e erosão para o solo. A espessura da barra cinza está relacionada ao aumento da taxa de erosão.

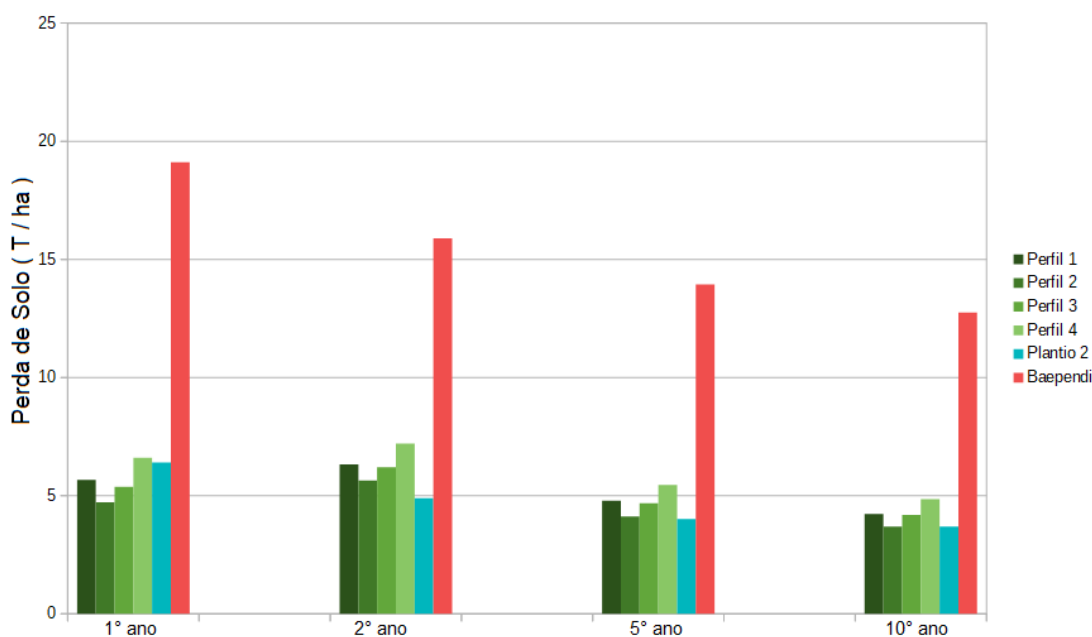


Fonte: autor (2018).

Em Caçapava, a maior taxa de erosão está no perfil 4, com 0,5 kg/ m<sup>2</sup> (Figura 24). Como esperado a topografia está diretamente relacionada com as taxas de erosão em Caçapava, sendo os locais mais íngremes os mais erodidos. Em Baependi por outro lado, as maiores taxas estão localizadas no final da vertente, com 3 kg/m<sup>2</sup>, 6 vezes mais que Caçapava. Observa-se que os perfis topográficos do plantio 2 e de Baependi são semelhantes, porém os locais de maior erosão, são totalmente diferentes. Esse fato pode ser explicado pela declividade de Baependi mais acentuada em relação à Caçapava.

Para monitorar a variação das taxas de erosão ao decorrer do tempo foram realizadas 4 simulações (Figura 25). De modo geral, ao decorrer dos 10 anos a taxa de erosão decresce. Entre o primeiro e o segundo ano houve um pequeno aumento de 15% da erosão nos perfis 1, 2, 3 e 4. Os perfil do plantio 2 e Baependi decaíram 15%. Entre o segundo e o décimo ano houve um decréscimo constante das taxas de erosão para todos os perfis. O pequeno aumento das taxas nos 2 primeiros anos está relacionado ao regime pluviométrico mais intenso. Já o decréscimo que é mais evidente ao decorrer da década está relacionado ao aumento da cobertura vegetal, consequência do amadurecimento vegetativo.

Figura 25 - Histograma da perda de siki para cada perfil, em diferentes anos.

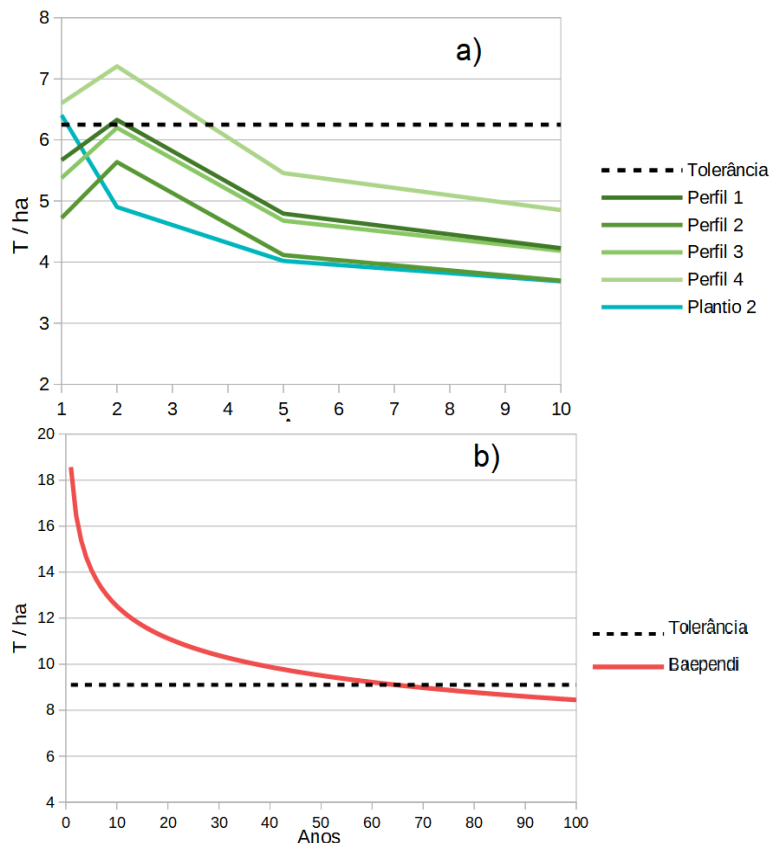


Fonte: autor (2018).

Para qualificar a erosão é utilizado o parâmetro de tolerância de perda de solo. O solo de Caçapava, segundo o IBGE (2002), é um Argissolos Vermelho-Amarelo eutrófico. De Passos (2016) calculou para este tipo de solo a tolerância de 6,1 t/ha. O solo de Baependi, segundo a UFLA (2010), é um Argissolo Vermelho Distrófico. A tolerância para esse tipo de solo, segundo Demarchi (2014), é de 9,1 t/ha. Acima desses valores a tolerância à erosão é economicamente e ambientalmente prejudicial.

O perfil 4 é o único perfil de Caçapava que se apresenta acima da tolerância de perda do solo, mas já no terceiro ano ele encontra-se abaixo (Figura 26.a). Nota-se que depois do terceiro ano, toda a plantação de Caçapava, incluindo o plantio 2, estão dentro dos limites de tolerância. Esta característica qualifica a fazenda em relação ao solo como ambientalmente correta. Em Baependi a erosão de solo no primeiro ano está duas vezes maior do que tolerância estabelecida para seu tipo de solo, e só alcança os níveis toleráveis em 64 anos (Figura 26.b).

Figura 26 - Variação da perda de solo ao decorrer dos anos. Em preto o limite de tolerância de perda de solo. a) Caçapava e b) Baependi. (escala de ano diferente).



Fonte: autor (2018).



## 6.6 Práticas Conservacionistas

Para minimizar o impacto sobre a plantação de Baependi, foi realizada uma análise quantitativa da aplicação dos modelos de combate à erosão. Foram simuladas diversas combinações de duas práticas conservacionistas: a plantação em linhas de vetiver e o terraceamento. O Vetiver é uma espécie de capim, o qual apresenta grande comprimento das raízes, cerca de 4 metros, e vem sendo empregado no Oriente Médio, Ásia e Europa, para conter a erosão do solo (GREENFIELD, 1990). No Brasil, esse tipo de capim tem se mostrado inovador e vêm sendo utilizado para combater a erosão de forma eficiente (SILVA, 2017; VIEIRA, 2018). Já o terraceamento, é uma prática mecânica de conservação do solo a qual se destina ao controle da erosão hídrica (LOMBARDI et al., 1994).

A simulação computacional possibilitou a identificação das localizações mais efetivas para instalação das práticas conservacionistas mais adequadas. Quando implantadas, essas práticas conservacionistas reduzem as taxas de erosão do solo, deixando-as estabilizadas até mesmo em décadas antes do tempo naturalmente previsto.

Foram simulados diversos cenários com os terraceamentos e os vetiveres. Optou-se por simular de um a cinco terraços, e foi verificado que um e principalmente dois terraços são os mais eficazes. Os vetiveres também foram simulados em diversos cenários, alterando a posição e a quantidade das linhas. Verificou-se que a melhor quantidade de linhas são quatro, distribuídas nas regiões de maior erosão. Verificou-se que a melhor combinação de terraceamento com vetiveres seria dois terraços com vetiveres sobre eles.

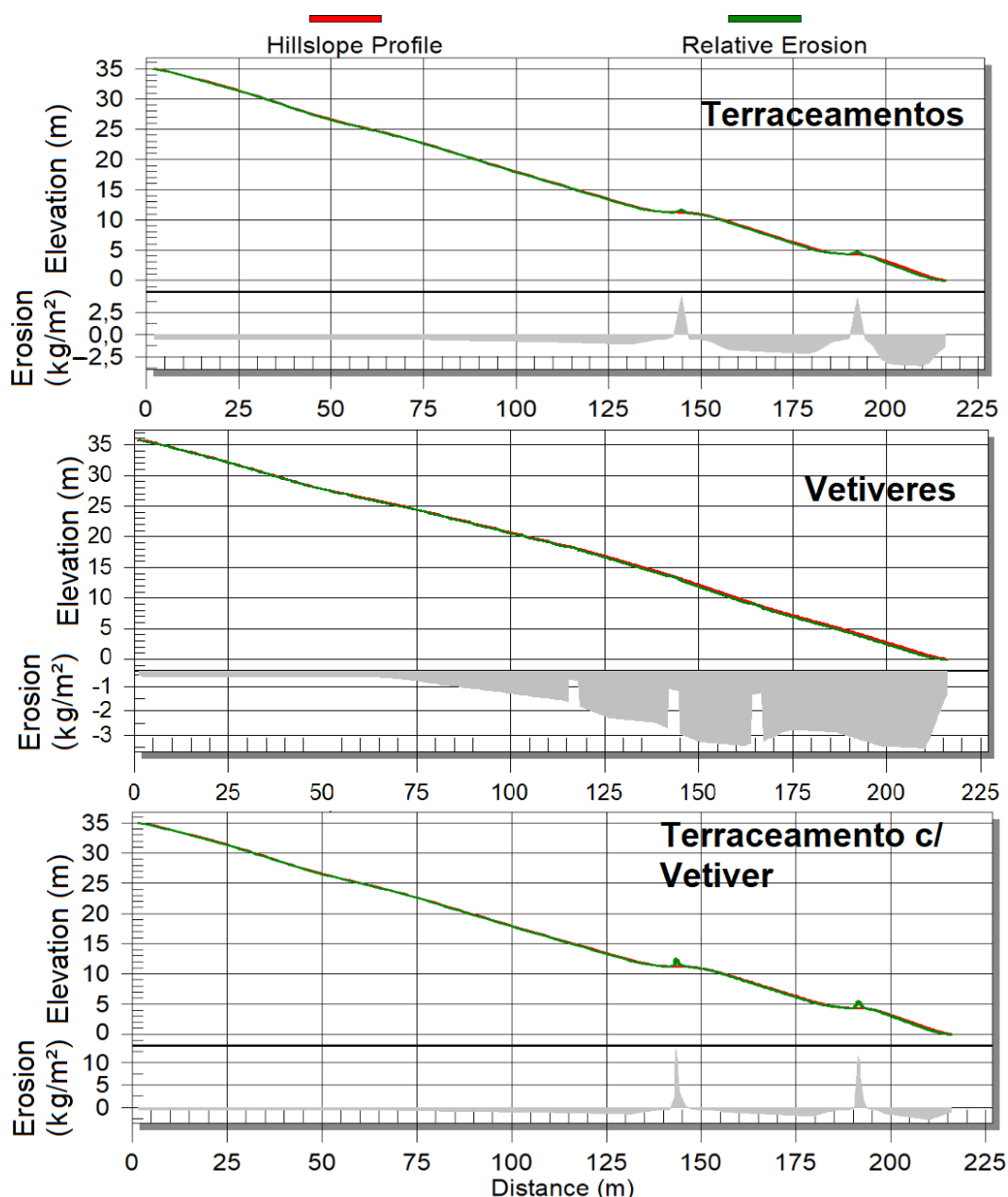
As simulações comparadas foram as:

- I. Linhas de vetiveres;
- II. 2 terraços ;
- III. 2 terraços + linhas de vetiveres

A partir dos resultados (Figura 27), notou-se que a aplicação de apenas a prática de terraceamento gera uma deposição de até + 3 kg/m<sup>2</sup> na vertente. Já a

aplicação sozinha do vetiver, reduz a erosão local para  $-2 \text{ kg/m}^2$ . Quando as duas práticas conservacionistas são combinadas, ocorre a maior deposição, de  $+10 \text{ kg/m}^2$ .

Figura 27 - Simulação da aplicação das práticas conservacionistas.

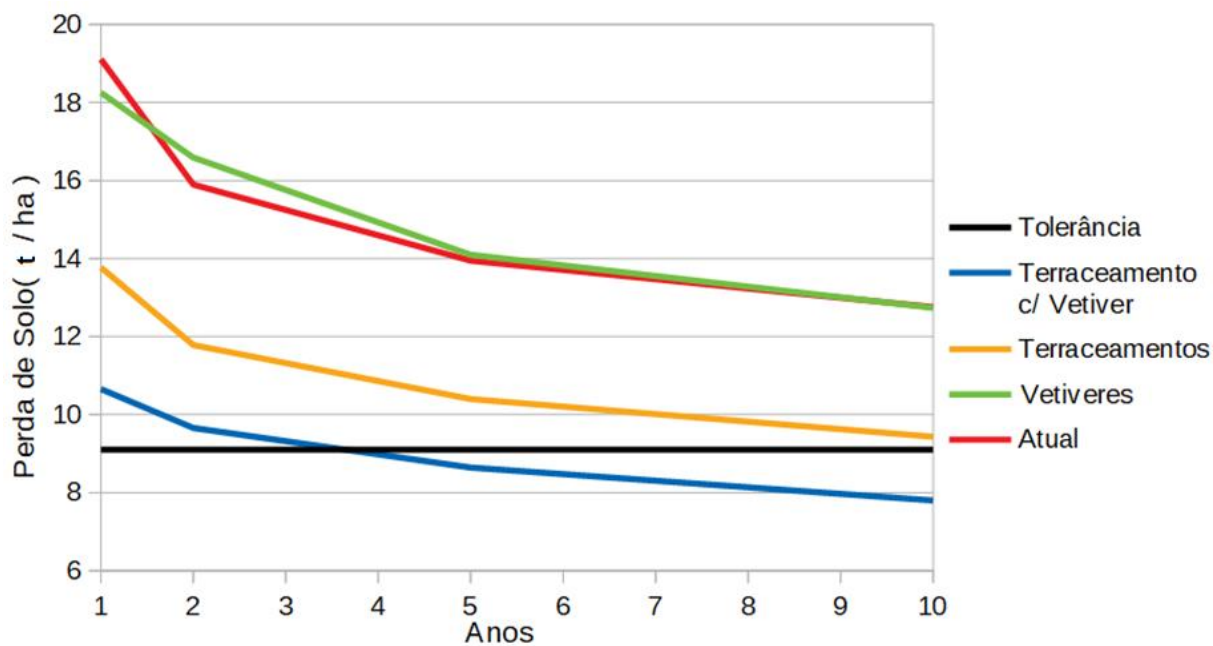


Fonte: autor (2018).

A única prática conservacionista que reduz a erosão até a tolerância em menos de 10 anos é o terraceamento com vetiver (Figura 28). A plantação unicamente de vetiveres não diminuiu quase nada a erosão, comparada com a

condição atual. O terraceamento diminui consideravelmente a erosão, alcançando o limite de tolerância em 12 anos. Percebe-se a grande efetividade da combinação de vetiver mais o terraceamento, com eles a tolerância é alcançada em 4 anos.

Figura 28 - Simulação da perda de solo com as aplicações das práticas conservacionistas redutoras de erosão.



Fonte: autor (2018).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão detalhada da erosão de solo permitiu a sugestão de práticas redutoras de erosão mais eficientes e econômicas. A simulação computacional mostrou-se eficiente, identificando os parâmetros mais erosivos de cada região. Utilizando em conjunto, o modelo de erosão de solo WEPP e o simulador climático CLIMABR, foi possível identificar as regiões com maior e menor erosão. O plantio de Baependi tem a maior taxa de erosão, com 19 toneladas de solo perdido por hectare em um ano. Caçapava do Sul em seu plantio mais susceptível a erosão perde até 7,1 toneladas de solo por hectare por ano.

As altas taxas de erosão em Baependi estão relacionadas à composição de seu solo, mais arenoso e empobrecido em matéria orgânica, e a sua maior declividade máxima, com 20° de inclinação. Caçapava do Sul está ambientalmente correta em relação à erosão, encontrando-se dentro do tolerável. O clima é o único fator mais erosivo de Caçapava, provocado pela sua mais elevada intensidade máxima e seu maior tempo de duração das precipitações. Apenas o perfil 4 está fora do limite, mas já no terceiro ano ele encontra-se dentro. Por estar acima dos limites toleráveis de erosão, sugere-se que a Fazenda em Baependi aplique práticas redutoras de erosão. A prática mais eficiente simulada foi o terraceamento nos 140 m e 190 m, com a plantação de vetiveres sobre eles. Com isso a erosão de solo ficaria tolerável em apenas 3 anos, em contrapartida aos 64 anos, caso mantido a estrutura atual.

## REFERÊNCIAS

ALBERTS, E. E. et al. Soil component. **NSERL report (USA)**, 1989.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMORIM, Ricardo SS; DA SILVA, Demetrius D.; PRUSKI, Fernando F. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MODELOS DE PREDIÇÃO DA EROSIÃO HÍDRICA USLE, RUSLE E WEPP PARA DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO BRASIL. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, p. 1046-1049, 2010

ARNOLD, J. G. et al. Plant growth component (Chapter 8). **Technical Documentation: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP)**, 1995.

BERNARDI, AC de C. et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. **Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2014

BITENCOURT, M. F. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. **Simpósio Sul-brasileiro de Geologia**, v. 1, p. 37-48, 1983..

BORTOLIN, M. A.; CASSOL, L. C. Determinação da matéria orgânica do solo usando peróxido de hidrogênio: Uma metodologia ecologicamente correta. **Actas do Fertbio**, 2010.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.

CAETANO, Marcela. Rio Grande do Sul e Minas Gerais projetam dobrar produção de azeite. **Diário Comércio Indústria e Serviço**, São Paulo, 11 jul. 2017. Agronegócios. Disponível em: < <https://www.dci.com.br/agronegocios/rio-grande-do-sul-e-minas-gerais-projetam-dobrar-producao-de-azeite-1.500340> >. Acesso em: 05 nov. 2018.

CANTALICE, José Ramon Barros. Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo. 2002.

CERDÀ, Artemi. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. **Science of the total environment**, v. 378, n. 1-2, p. 151-155, 2007.

CHANDRAMOHAN, T.; VENKATESH, B.; BALCHAND, A. N. Evaluation of three soil erosion models for small watersheds. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1227-1234, 2015.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens**. Oficina de Textos, 2016.

COUTINHO, Enilton Fick; RIBEIRO, Fabrício Carlotto; CAPPELLARO, Thaís Helena. Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.). **Embrapa Clima Temperado-Sistema de Produção (INFOTECA-E)**, 2009.

DEMARCHI, Julio Cesar; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DE ASSIS, Antonio Francisco Ferraz. **O solo e as práticas de controle à erosão**. Secretaria de Agricultura, 1973.

DE OLIVEIRA, Vicente de PS; ZANETTI, Sidney S.; PRUSKI, Fernando F. CLIMABR part I: model for generation of synthetic series of precipitation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 348-355, 2005.

DE PASSOS, Morel et al. INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS NA ERODIBILIDADE E TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Geociências (São Paulo)**, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2016.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DONAGEMMA, Guilherme Kangussú et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

DOS SANTOS, H. G. et al. Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

FAO, ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR)–Main Report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy**, v. 650, 2015.

FLANAGAN, D. C. et al. Chapter 1: Overview of the WEPP Erosion Prediction Model In USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, Vol. **Vol. NSERL Report**, n. 10, 1995.

FLANAGAN, D. C.; LIVINGSTON, Stanley J. WEPP user summary. 1995.

FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. **USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation**. NSERL report, 1995.

FLANAGAN, Dennis C.; GILLEY, John E.; FRANTI, Thomas G. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 5, p. 1603-1612, 2007.

FOSTER, G. R. et al. Hillslope erosion component. **WEPP: USDA-Water Erosion Prediction Project**, p. 11.1-11.12, 1995.

GARCIA, Alessandra Reis. Uso do modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado para estimar taxas de erosão em estradas florestais. 2001.

GILLEY, John E.; FLANAGAN, D. C. Early investment in soil conservation research continues to provide dividends. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 5, p. 1595-1601, 2007.

GODOY, J. M. et al. Aplicabilidade da geocronologia da deposição de sedimento com <sup>210</sup>Pb como ferramenta na avaliação do assoreamento do rio Taquari, Pantanal, MS. **Geochimica Brasiliensis**, v. 12, n. 2, 1998.

GÓMEZ, José A. et al. Olive cultivation, its impact on soil erosion and its progression into yield impacts in Southern Spain in the past as a key to a future of increasing climate uncertainty. **Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 170-198, 2014.

GÓMEZ, José A. et al. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 5-13, 2009.

GREENFIELD, John C. Vetiver grass: the hedge against erosion. **World Bank Publications**, 1990

GROHMANN, F.; CATANI, R. A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo do arenito Bauru. **Bragantia**, v. 9, n. 5-8, p. 125-132, 1949.

GUERRA, Antonio José Teixeira. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do instituto de geociências**, v. 13, p. 43-52, 1990.

GUILHERME, Guimarães; AUGUSTO, Frederico. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília-DF. **Cerne**, v. 6, n. 1, 2000.

HERNANI, Luis Carlos. O manejo e conservação de solo e água. **Revista Ação Ambiental**, v. 6, n. 24, p. 14-17, 2003.

IBGE. **Mapa exploratório de solos do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, [2002]. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientes/pedologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/rs\\_pedologia.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientes/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/rs_pedologia.pdf)> Acesso em 01 nov.2018.

INMET, INDEM; INMET. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais climatológicas (1961-1990). 1992.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. oficina de textos, 2016.

LOMBARDI NETO, F. et al. **Terraceamento agrícola**. Campinas: CATI, 1994.

LUÍZ, Ângela Marli Ewerling; PINTO, Maria Ligia Cassol; DE OLIVEIRA SCHEFFER, Elizabeth Weinhardt. Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia hidrográfica do rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 24, 2012.



MACHADO, Carlos Cardoso et al. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais. 2003.

MARTÍNEZ, José R. Francia; ZUAZO, Víctor H. Durán; RAYA, Armando Martínez. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). **Science of the Total Environment**, v. 358, n. 1-3, p. 46-60, 2006.

NICKS, A. D.; LANE, L. J.; GANDER, G. A. Chapter 2. Weather generator. Pp. 2.1-2.22. **US Department of Agriculture (USDA) Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, National Soil Erosion Research Laboratory (NSERL) Report**, n. 10, 1995.

QGIS, D. T. Quantum GIS geographic information system. **Open Source Geospatial Foundation Project**, v. 45, 2011.

RAZA, Moonis (Ed.). **Renewable Resources for Regional Development: The Indian and the Soviet Experience: Proceedings of the Indo-Soviet Symposium on Utilization and Conservation of Renewable Natural Resources for Regional Development, New Delhi, 1980**. Concept Publishing Company, 1989.

ROSENQVIST, Ake et al. ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 11, p. 3307-3316, 2007.

SANTOS, Glenio Guimarães; GRIEBELER, Nori Paulo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. 2010.

SHI, Sun Baoping Zhao Tingning Qi. Application of USLE in Loessial Gully Hill Area [J]. **Research of Soil and Water Conservation**, v. 2, p. 008, 1990.

SHRODER, John F.; AHMADZAI, Sher Jan. **Transboundary water resources in Afghanistan: Climate change and land-use implications**. Elsevier, 2016.

SILVA, AS da. Análise morfológica dos solos e erosão. **Erosão e Conservação dos Solos**. Ed. Bertrand Brasil, p. 101-126, 1999.

SILVA, Allan Castro da. **Recuperação de área de encosta sob processo erosivo e revegetação de talude, utilizando capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), no município de Engenheiro Paulo de Frontin, no estado do Rio de Janeiro**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. SILVA, Marx; FREITAS, Diego & CANDIDO, Bernardo & H. OLIVEIRA, A. (2015).

SMITH, Dwight D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Agric. Engg.**, v. 22, p. 173-175, 1941.

STEAD, Jean Garner; STEAD, W. Edward. **Management for a small planet**. Routledge, 2015.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia sedimentar**. Edgard Blücher, 2007.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. RUSLE for mining, construction and reclamation lands. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 54, n. 2, p. 462-467, 1999.

UFLA. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Lavras, [2010]. 4 mapa, color. Escala 1: 650.000. Disponível em: <[http://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](http://www.dps.ufv.br/?page_id=742)>. Acesso em: 01 nov. 2018.

VANWALLEGHEM, Tom et al. Applying a simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards. **Geomorphology**, v. 114, n. 3, p. 294-302, 2010

VASCONCELLOS, Antonio Carlos BC. **Grupo Andrelandia na região a norte de Ouro Fino, MG**. 1988. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo..

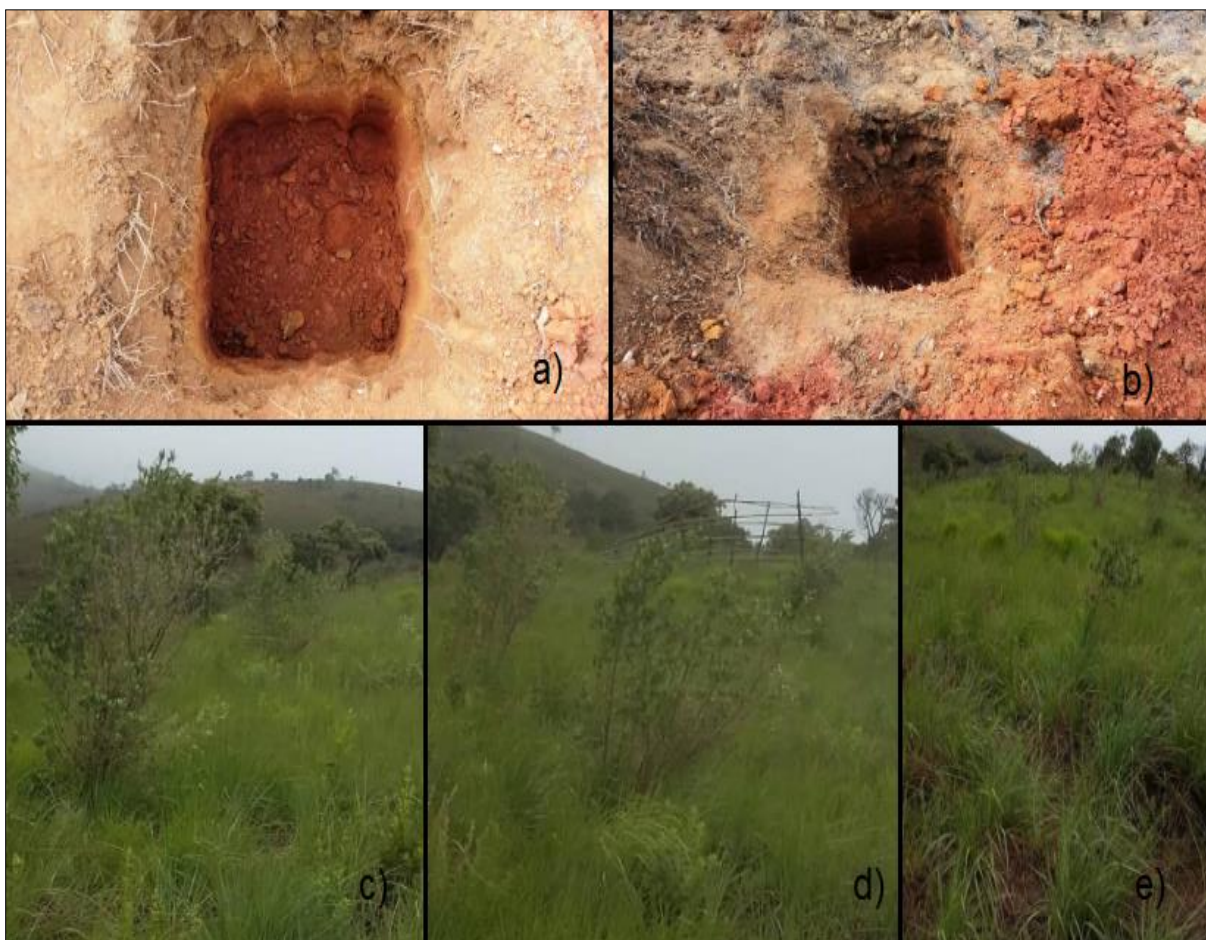
VIEIRA, Carmem Lucas et al. Emprego do capim vetiver para o controle da erosão e cobertura do solo nos areas do sudoeste do estado do RS, Brasil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 2, p. 338-351, 2018.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight David. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation**. Washington DC: Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1965.

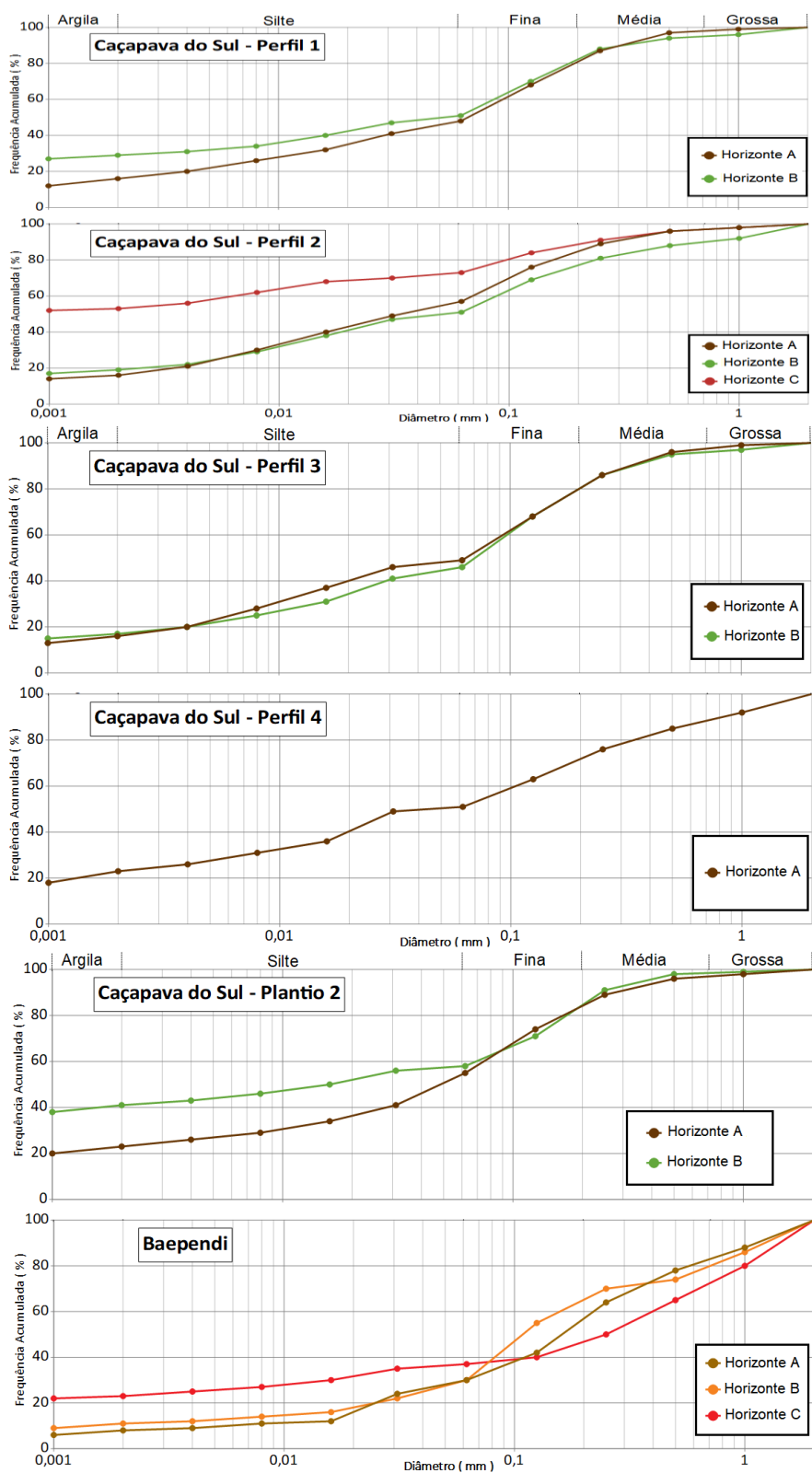
ZINGG, Austin W. et al. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agric. Engng.**, v. 21, p. 59-64, 1940.

ZONTA, J. H. et al. Práticas de conservação de solo e água. **Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**.

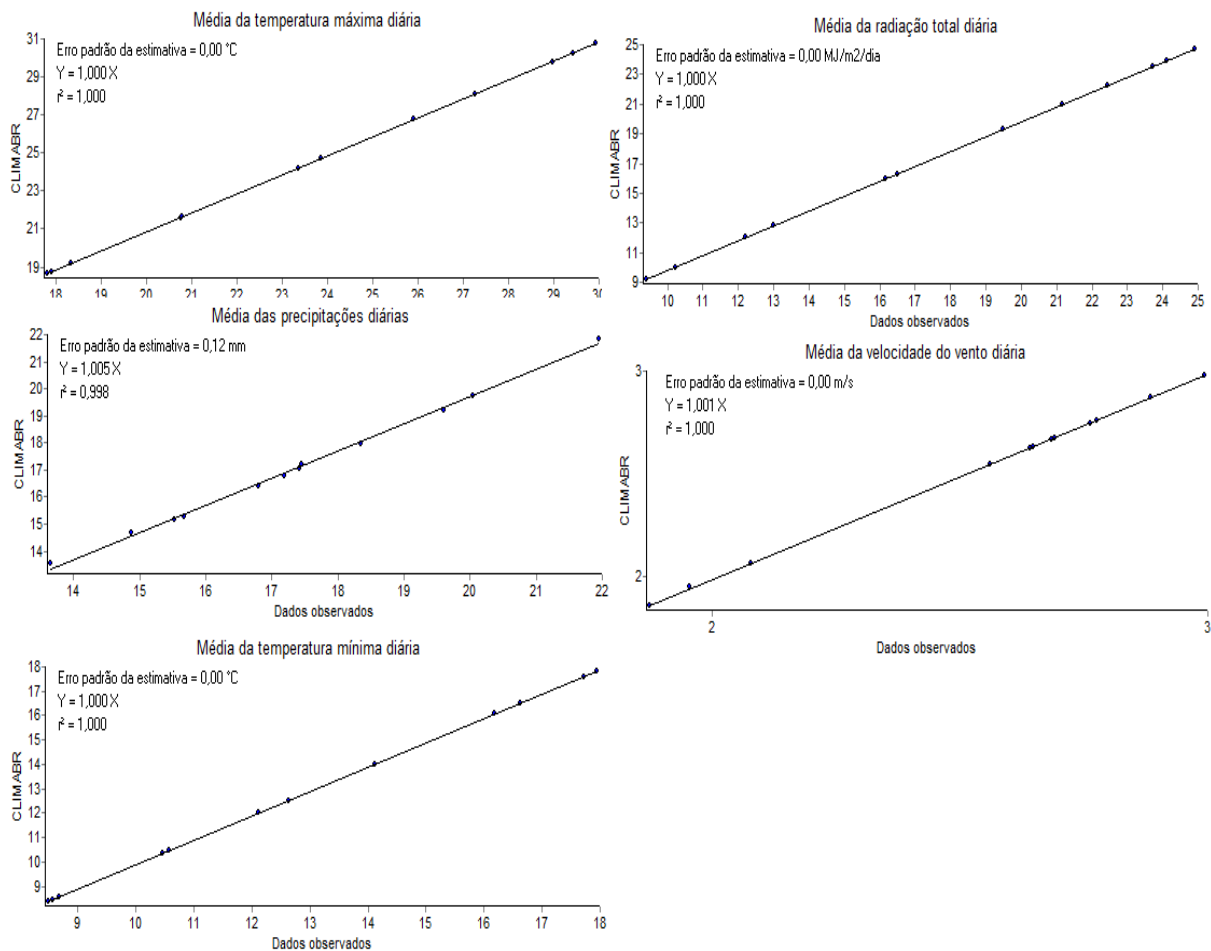
**ANEXO A** - Fotografias da fazenda de Baependi. a) e b) Dia do plantio (2006); c), d) e e) Fotos de 2018 das oliveiras.



## ANEXO B – Curvas granulométricas



**ANEXO C – Diagramas da correlação das estimativas com os valores reais.  
Gerados no software CLIMABR. (Passo do Cação – Bagé - RS)**



**ANEXO D – Diagramas da correlação das estimativas com os valores reais.  
Gerados no software CLIMABR. (Passa Quatro - MG)**

