



**RONAN NAVES CARVALHO**

**BACIAS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA EM  
ESTRADAS RURAIS: UMIDADE DO SOLO E VIDA ÚTIL**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**RONAN NAVES CARVALHO**

**BACIAS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA EM ESTRADAS  
RURAS: UMIDADE DO SOLO E VIDA ÚTIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas para a obtenção do título de Mestre.

Dr. Gilberto Coelho

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Carvalho, Ronan Naves.

Bacias de acumulação de águas da chuva em estradas rurais :  
Umidade do solo e vida útil / Ronan Naves Carvalho. - 2017.  
91 p. : il.

Orientador(a): Gilberto Coelho.

.  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Bacias de acumulação de águas da chuva. 2. Estradas rurais.  
3. Comportamento da umidade do solo. I. Coelho, Gilberto. . II.  
Título.

**RONAN NAVES CARVALHO**

**BACIAS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA EM ESTRADAS  
RURAS: UMIDADE DO SOLO E VIDA ÚTIL**

**BASINS OF RAINWATER ACCUMULATION ON RURAL ROADS:  
SOIL MOISTURE AND USEFUL LIFE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 14 de setembro de 2017.

Dr. Carlos Rogério de Mello	UFLA
Dr. Junior Cesar Avanzi	UFLA
Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques	UNINCOR

Prof. Dr. Gilberto Coelho  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras - UFLA, pela oportunidade de realização do Mestrado.

A CEMIG (Projeto P&D - GT-456 Modelo Fitogeográfico da Bacia do Rio Grande.) e à FAPEMIG (projeto APQ 02339-13 Bacias de decantação em estradas rurais: contribuição para o ciclo hidrológico) pelos recursos disponibilizados e a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus pais, José Dimas e Maria de Fátima, por seu amor, apoio por suas palavras de ânimo e por ter contribuído pela formação do meu caráter.

Ao professor Dr. Gilberto Coelho, pela orientação fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e, também, por sua amizade, colaboração e imensa paciência.

Aos professores Dr. Marcelo Ribeiro Viola, Dr. Luis Fernando Coutinho de Oliveira, Dr. Adriano Valentim Diotto pela atenção, disponibilidade, auxílio e colaboração.

Aos funcionários Renato e Elvis pela amizade, convivência e enorme colaboração e auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório.

A todos os professores da UFLA que contribuíram para a minha formação.

À banca por ter aceitado o convite de avaliar essa dissertação.

A todos os meus amigos, pelo estímulo, contribuições, ajudas, paciência e apoio.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho alcançasse seus objetivos.

Muito obrigado!

## RESUMO

A proposta deste trabalho foi avaliar o comportamento da água proveniente de volumes que viessem a se armazenar em bacias de acumulação a jusante de estradas rurais. O trabalho foi realizado em duas áreas experimentais, localizadas em uma área de floresta e em um local com bacia de acumulação adjacente a área de pastagem. Para a construção da pesquisa, foram realizados monitoramentos da umidade do solo posteriores às bacias de acumulação, sendo que em cada área foram instalados 5 pontos de monitoramento de umidade no solo, instalados entre 0 e 10 metros da saída da bacia, formando um eixo em linha reta na direção dos cursos d'água. A umidade volumétrica foi monitorada de 20 em 20 cm de profundidade até 80 cm, e entre maio de 2015 e abril de 2017 na área de floresta (área 1) e de janeiro de 2016 a abril de 2017 na área de pastagem (área 2). Para coleta de dados utilizou-se a sonda TDR PRIME PICO IPH3 da fabricante IMKO. Além disso, vários parâmetros físico-hídricos avaliados, tais como condutividade hidráulica saturada do solo, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade, e análise textural do solo. Também foi realizado análises dos atributos geométricos das bacias antes e depois do período hidrológico de chuvas com o intuito de avaliar a vida útil das mesmas, para estas determinações foram levantados dados de campo com GPS geodésico e posteriormente trabalhados no software ArcGIS 9.3. Diante dos dados obtidos, notou-se que a umidade no solo na área 1 em uma análise temporal teve alta variabilidade em todo o período, oscilando desde 29,5% em alguns pontos nos períodos de estiagem a mais de 52% em períodos chuvosos na área 1, e entre 25% e 41,3% na área 2, com destaque as camadas mais profundas nesta área que sofreram menores variações do conteúdo de água no solo. Além disso, vale salientar que nas duas áreas analisadas, durante todo o período de avaliação, em nenhum momento a umidade atingiu valores inferiores aos valores de umidade de ponto de murcha permanente em qualquer ponto ou camada. Para observar indícios de movimento da água no perfil das áreas estudadas em decorrência das bacias de acumulação, foram feitas análises de pequenos períodos isolados que consistiam de eventos de chuvas isoladas seguidos de longos períodos de estiagem. Nestas análises, constatou-se que em ambas as áreas, houve fortes indícios de que a água armazenada nas bacias de acumulação estivesse se infiltrando no solo e se movimentando em direção aos pontos de monitoramento de umidade instalados. Nas avaliações, foi perceptível que o volume de água armazenada após alguns dias da ocorrência da precipitação e após o primeiro “secamento” do solo, se elevava novamente nos primeiros pontos e depois nos monitoramentos posteriores eram detectados nos pontos posteriores. Com relação as análises de vida útil das bacias, entre os períodos avaliados, calculado em decorrência da redução de volume (-37,29% na área 1 e -32,93% na área 2) das bacias de acumulação, teve-se que a bacia de acumulação na área 1 ter por volta 2,68 anos e a da área 2 em torno de 3,03 anos, além de terem recebido 104,2 e 35,3 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> respectivamente, de sedimentos no intervalos entre as campanhas de coleta de dados. Diante dos resultados apresentados, pode-se inferir que as bacias de acumulação estariam influenciando no comportamento da umidade no solo ao longo do perfil, proporcionando o solo ficasse umedecido por mais tempo e que estariam evitando o carreamento de quantidades de sedimentos consideráveis para os cursos d'água próximos.

**Palavras-chave:** bacias de acumulação de águas das chuvas, estradas rurais, comportamento da umidade no solo, estimativa de vida útil das bacias.

## ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the behavior of water from volumes that would be stored in basins of accumulation along the roadside. This work was carried out in two experimental areas, the first one located in a forest area and the second area in a site with an accumulation basin adjacent to pasture areas. For the construction of the research, soil moisture monitoring was carried out after the accumulation basins, and in each area 5 soil moisture monitoring points were installed in the soil, being 0, 1, 3, 6 and 10 meters of the skirt of the basin, forming a straight axis in the direction of the water courses. The soil moisture at these points was monitored from 20 to 20 cm deep to 80 cm, and between may 2015 and april 2017 in the forest area (area 1) and from january 2016 to april 2017 in the pasture area (area 2), and for the collection of soil moisture data, a FDR PRIME PICO IPH3 probe from the manufacturer IMKO was used. In order to better characterize the areas, several physical and hydraulic parameters were determined, such as saturated hydraulic conductivity of the soil, soil density, particle density, porosity, and soil textural analysis. It was also performed analyzes of the geometric attributes of the basins before and after the hydrological period of rainfall in order to evaluate the useful life of the basins, for these determinations were collected field data with geodetic GPS and later worked on the software ArcGIS 9.3. Considering the data obtained, it was noticed that the soil moisture in area 1 in a temporal analysis had high variability throughout the period, ranging from 29,5% in some points in the dry periods to more than 52% in rainy periods in the area 1, and between 25% and 41.3% in area 2, highlighting the deeper layers in this area that suffered minor variations in soil water content. In addition, it is worth noting that in the two analyzed areas, during the entire evaluation period, at no moment did the soil moisture reach values lower than the values of permanent wilt point soil moisture at any point or layer. In order to observe signs of water movement in the profile of the areas studied as a result of the accumulation basins, analyzes were made of small isolated periods that consisted of isolated rainfall events followed by long periods of drought. In these analyzes, it was found that in both areas there was strong evidence that the water stored in the accumulation basins was seeping into the soil and moving towards the soil moisture monitoring points installed. In the evaluations, it was noticeable that the volume of water stored after a few days of the occurrence of precipitation and after the first "drying" of the soil, was raised again in the first points and later in the later monitoring were detected in the posterior points. Regarding the analyzes of the useful life of the basins, between the evaluated periods, calculated as a result of the volume reduction (-37,29% in area 1 and -32,93% in area 2) of the accumulation basins, it was the accumulation basin in area 1 is about 2,68 years and that of area 2 is around 3,03 years, in addition to receiving 104,2 and 35,3 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, respectively, of sediments in the intervals between the data collection campaigns. In view of the presented results, it can be inferred that the accumulation basins would be influencing the soil moisture behavior along the profile, allowing the soil to be moistened for a longer time and that would be avoiding the carrying of considerable sediment amounts for the nearby watercourses.

**Keywords:** Rainwater accumulation basins, rural roads, soil moisture behavior, estimated basin life.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área experimental - área 1. ....	7
Figura 2 – Localização e área de drenagem referente às nascentes da área 1. ....	7
Figura 3 – Mapa de uso do solo da área 1. ....	8
Figura 4 – Mapa de relevo referente à área 1. ....	9
Figura 5 – Localização da área experimental - área 2. ....	10
Figura 6 – Localização e área de drenagem referente à nascente da área 2. ....	10
Figura 7 – Mapa de uso do solo da área 2. ....	11
Figura 8 – Mapa de relevo referente à área 2. ....	12
Figura 9 – Croqui da configuração de como foi construído e instalado o experimento na área 1. ....	14
Figura 10 – Fotografia de um tubo de monitoramento da umidade do solo instalado na área 1. ....	14
Figura 11 – Croqui da configuração de como foi construído e instalado o experimento na área 2. ....	15
Figura 12 – Modelo de sonda utilizada para medir umidade do solo, destacando a sonda e o tubo de acesso – Sonda TDR TRIME-PICO IPH/T3 IMKO. ....	15
Figura 13 – Triângulo Textural para classificação granulométrica do solo. ....	17
Figura 14 – Pluviômetro automático com detalhamento do sistema de báscula. ....	18
Figura 15 – Modelo de Permeametro de Guelph de carga constante utilizado. ....	19
Figura 16 – GPS topográfico de dupla frequência e comunicação RTK, utilizado para levantamentos de alta precisão. ....	22
Figura 17 – Rotina metodológica para determinação do volume das bacias de acumulação no software ArcGIS 9.3® ....	23
Figura 18 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto A da área 1 por camadas no período de 2015/2016. ....	34
Figura 19 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto B da área 1 por camadas no período de 2015/2016. ....	34
Figura 20 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto C da área 1 por camadas no período de 2015/2016. ....	35
Figura 21 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto D da área 1 por camadas no período de 2015/2016. ....	36



Figura 22 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto E da área 1 por camadas no período de 2015/2016. ....	37
Figura 23 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto A da área 1 por camadas no período de 2016/2017. ....	37
Figura 24 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto B da área 1 por camadas no período de 2016/2017. ....	38
Figura 25 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto C da área 1 por camadas no período de 2016/2017. ....	39
Figura 26 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto D da área 1 por camadas no período de 2016/2017. ....	39
Figura 27 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto E da área 1 por camadas no período de 2016/2017. ....	40
Figura 28 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 0 – 20 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1. ....	41
Figura 29 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 20 – 40 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1. ....	41
Figura 30 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 40 – 60 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1. ....	42
Figura 31 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 60 – 80 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1. ....	43
Figura 32 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 0 – 20 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1. ....	44
Figura 33 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 20 – 40 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1. ....	44
Figura 34 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 40 – 60 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1. ....	45
Figura 35 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 60 – 80 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1. ....	45
Figura 36 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto A da área 2 por camadas no período de 2016/2017. ....	49
Figura 37 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto B da área 2 por camadas no período de 2016/2017. ....	49

Figura 38 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto C da área 2 por camadas no período de 2016/2017. ....	50
Figura 39 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto D da área 2 por camadas no período de 2016/2017. ....	50
Figura 40 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto E da área 2 por camadas no período de 2016/2017. ....	51
Figura 41 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 0 – 20 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2. ....	51
Figura 42 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 20 – 40 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2. ....	52
Figura 43 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 40 – 60 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2. ....	52
Figura 44 – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 60 – 80 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2. ....	53
Figura 45 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 25/08/2015 a 20/10/2015 no perfil de pontos de monitoramento da umidade do solo na área 1. ....	55
Figura 46 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 18/07/2016 no perfil de pontos de monitoramento de umidade do solo na área 1. ....	58
Figura 47 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 10/07/2016 no perfil de pontos de monitoramento de umidade do solo na área 2. ....	60
Figura 48 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 12/08/2016 a 16/09/2016 no perfil de pontos de monitoramento de umidade do solo na área 2. ....	63
Figura 49 – Área de captação de água para a bacia de acumulação na área de floresta. ....	65
Figura 50 – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de floresta levantada em setembro de 2016. ....	65
Figura 51 – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de floresta levantada em junho de 2017. ....	66
Figura 52 – Área de captação de água para a bacia de acumulação na área de pastagem. ....	68
Figura 53 – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de pastagem levantada em setembro de 2016. ....	69

Figura 54 – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de pastagem levantada em junho de 2017.....	70
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantificação da área de cada tipo de uso do solo identificado na área 1.....	8
Tabela 2 – Quantificação da área de cada tipo de uso do solo identificado na área 2.....	12
Tabela 3 – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado (Ks).....	17
Tabela 4 – Dados de Caracterização Físico-Hídrica do solo para a área 1 – Densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e condutividade hidráulica (Ks).....	25
Tabela 5 – Dados de Caracterização Físico-Hídrica do solo para a área 1 – Análise Textural e Matéria Orgânica. ....	26
Tabela 6 – Dados de Caracterização físico-hídrica do solo para a área 1 – umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), porosidade (P), Macroporosidade (Map) e Microporosidade (Mip).....	27
Tabela 7 – Dados de caracterização físico-hídrica do solo para a área 2 – Densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e condutividade hidráulica saturada (Ks). ....	29
Tabela 8 – Dados de caracterização físico-hídrica do solo para a área 2 – Análise textural e matéria orgânica. ....	30
Tabela 9 – Dados de Caracterização Físico-Hídrica do solo para a área 2 – Umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), porosidade (P), Macroporosidade (Map) e Microporosidade (Mip).....	31
Tabela 10 – Dados estatísticos descritivos de umidade do solo volumétrica referente ao período hidrológico 2015/2016 para a área 1. ....	32
Tabela 11 – Dados estatísticos descritivos de umidade do solo volumétrica referente ao período hidrológico 2016/2017 para a área 1. ....	33
Tabela 12 – Dados estatísticos descritivos de umidade do solo volumétrica referente ao período hidrológico 2016/2017 para a área 2. ....	48
Tabela 13 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 25/08/2015 a 20/10/2015 na área 1.....	56
Tabela 14 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 18/07/2016 na área 1.....	58
Tabela 15 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 10/07/2016 na área 2.....	61
Tabela 16 – Armazenamento da água no solo referente ao período de 12/08/2016 a 16/09/2016 na área 2.....	63

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>Disponibilidade e escassez da água .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2.</b>	<b>A importância da preservação e conservação de estradas - bacia de acumulação..</b>	<b>3</b>
<b>2.3.</b>	<b>Processo de infiltração da água no solo. ....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.</b>	<b>Caracterização das áreas de estudo .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>Área 1 - Área de Floresta .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>Área 2 - Área de Pastagem .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.</b>	<b>Construção das barragens de contenção de água da chuva.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.</b>	<b>Monitoramento de umidade e volume de água armazenado no solo .....</b>	<b>13</b>
<b>3.4.</b>	<b>Caracterização Físico-hídrica.....</b>	<b>16</b>
<b>3.5.</b>	<b>Precipitação afluente às bacias e determinação de eventos isolados.....</b>	<b>18</b>
<b>3.6.</b>	<b>Determinação da permeabilidade do solo nas bacias de contenção de água da chuva .....</b>	<b>19</b>
<b>3.7.</b>	<b>Avaliação do comportamento da água no solo em decorrência das bacias de acumulação .....</b>	<b>20</b>
<b>3.8.</b>	<b>Levantamento planialtimétrico das áreas e das bacias de acumulação em estudo</b>	<b>21</b>
<b>3.9.</b>	<b>Determinação dos parâmetros geométricos e vida útil das bacias de acumulação e a quantidade de sedimentos transportados. ....</b>	<b>22</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.</b>	<b>Caracterização físico-hídrica dos locais experimentais .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Área 1 – Área de floresta .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Área 2 – Área de Pastagem.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.</b>	<b>Caracterização da umidade no solo .....</b>	<b>32</b>

<b>4.2.1. Área 1 -Área de floresta .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.2. Área 2 –Área de pastagem .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3. Avaliação de Eventos Isolados – Associação de ocorrência de altos índices de precipitação seguidos de longos períodos de estiagem .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.1. Área 1 - Área de Floresta .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.2. Área 2 - Área de Pastagem .....</b>	<b>60</b>
<b>4.4. Vida útil e permeabilidade do solo no interior das bacias de acumulação.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4.1. Área 1 - Área de floresta .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4.2. Área 2 - Área de pastagem.....</b>	<b>68</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O homem, desde a história antiga, armazenava águas superficiais de chuva em seu proveito. No ano 106 D.C., os nabateos já produziam alimentos no deserto de Neguev (com precipitação média anual de 100 a 150 mm), utilizando sistemas de captação de água superficial, que era concentrada em tabuleiros nas partes baixas dos terrenos. Antes disso, a umidade residual armazenada no solo já tinha sido usada nos tempos do Rei Salomão, há cerca de dez séculos A.C., na mesma região do Neguev (BARROS, 2000).

Para tanto, quando o meio natural é alterado para a construção de uma estrada, iniciam-se processos erosivos bem como modificações nos padrões naturais de drenagem. As estradas rurais, até pouco tempo eram um componente pouco lembrado e estudado nas questões ambientais. Hoje existe uma grande preocupação da contribuição das estradas rurais para o aumento da degradação ambiental, principalmente devido ao assoreamento de córregos e nascentes o que pode ocasionar impactos ambientais consideráveis (SOARES *et al.*, 2012).

A erosão provocada pela água no leito e nas margens das estradas é um dos principais fatores de degradação das estradas, sendo responsável por mais da metade do volume das perdas de solo.

Mesmo em estradas de pequeno porte, localizadas nas áreas internas de propriedades rurais, destinadas apenas ao uso particular, podem ocorrer problemas erosivos, podendo tanto a estrada ser prejudicada pela ocorrência de erosão e aporte de sedimentos advindos das áreas marginais, como ser a responsável pela erosão nestas áreas.

O procedimento mais comum para prevenir danos provocados pela erosão é controlar o escoamento superficial da água das chuvas na faixa terraplenada da estrada. Para Camargo Côrrea (2010), a produção de sedimentos das estradas está correlacionada com: o tipo de solo; o comprimento e inclinação da rampa; e a inclinação e altura dos taludes de corte e aterro.

Segundo Griebeler (2012), a redução dos problemas de erosão nas estradas de terra pode ser obtida pela adoção de medidas que evitem que a água proveniente do escoamento superficial, tanto aquele gerado na própria estrada como o proveniente das áreas às suas margens acumulem-se na estrada e passe a utilizá-la para o seu escoamento.

A água escoada pela estrada deve ser coletada nas suas laterais e encaminhada, de modo controlado, para os escoadouros naturais, artificiais, bacias de decantação ou outro sistema de retenção localizado no terreno marginal.

Uma alternativa para a destinação das águas coletadas em estradas é a sua condução para bacias de acumulação ou decantação ou retenção, ou também conhecidas como barraginhas. Esta técnica consiste na escavação de bacias nas áreas marginais às estradas para permitir a captação e o armazenamento e posterior infiltração das águas advindas das estradas (GRIEBELER *et al.*, 2006).

A tecnologia de adequação de estradas rurais de terra, associando um sistema de drenagem de águas pluviais com as bacias de acumulação, disciplina essas águas de forma a eliminar seu efeito destrutivo, acumulando-as em locais determinados, facilitando sua infiltração no solo, favorecendo o abastecimento do lençol freático e aumentando a água das nascentes.

As bacias de decantação mantem o solo no seu entorno com maior teor de umidade, situação que pode proporcionar uma maior recarga do aquífero freático, que por sua vez, pode reduzir a amplitude existente entre os valores de vazão máxima e mínima nos cursos d'água existentes nas proximidades de bacias de decantação.

Como as bacias propiciam maior tempo de oportunidade para infiltração, haverá uma melhor recarga dos lençóis freáticos. Tal situação resulta em um regime de produção de água mais uniforme durante o período de vazante ou estação das secas, sendo este comportamento extremamente desejável.

As benesses das bacias de decantação são empiricamente conhecidas, porém, estudos técnicos que as comprovem são escassos, logo, apresenta-se essa proposta com o intuito de gerar esclarecimentos sobre este assunto.

Desta forma o presente trabalho visou à compreensão dos efeitos da construção de bacias de acumulação sobre os fenômenos do ciclo hidrológico. Para isso, como atual trabalho objetivou-se monitorar e avaliar o comportamento da umidade do solo na direção do eixo principal após as bacias de acumulação de águas da chuva, tendo como foco eventos isolados de precipitação seguidos de períodos de estiagem para análise do comportamento do volume de água armazenado ao longo dos eixos de pontos de monitoramento de umidade instalados.

Em complemento, foram realizados trabalhos de caracterização físico-hídrica da área para melhor compreensão do comportamento da umidade no solo e análises temporais do volume das bacias de acumulação associando a sua vida útil.



## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Disponibilidade e escassez da água**

Há poucas décadas atrás, acreditava-se que a água era um bem infinito, um recurso inesgotável e o seu uso e a conservação não tinham relevância para o desenvolvimento da sociedade. Porém, como Weber e Bailly (2002) enfatizam “*a abundância cria por si mesma necessidades novas e gera a escassez.*” E o quadro de abundância mudou para uma condição de esgotamento. A partir dos anos 2000, todas as iniciativas para o desenvolvimento urbano e rural, para serem viáveis, precisam ter como premissa a disponibilidade de água.

A reciclagem natural da água depende de várias condições ambientais locais. São alguns fatores naturais que afetam o equilíbrio da quantidade e a qualidade de água na terra e o seu tempo de resistência (permanência da água na forma líquida): a quantidade e a distribuição das precipitações, o balanço de energia, a geomorfologia, a natureza e dimensões das formações geológicas, a vegetação natural que a recobre e a interação entre as espécies (SALATI *et al.*, 2002). Além disso, há os fatores antrópicos, que contribuem para a não permanência da água na superfície continental. Alguns desses fatores são: a agricultura sem controle de erosão e irrigação; a construção de barragens e hidrelétricas, que aumenta a disponibilidade local de água, mas eleva a evapotranspiração potencial e os intensos desmatamentos.

Deste modo, em relação a problemática da água, se pode afirmar que é uma questão localizada: cada contexto ambiental, econômico, social, cultural, demográfico e político governamental pode definir a condição desse recurso para a utilização da população. No entanto, a questão da água perpassa do nível local para uma questão de recursos comuns globais (GOLDMAN, 2001). A compreensão desse aspecto conduz ao entendimento de que as políticas públicas relacionadas aos recursos hídricos sempre devam ser pautadas a partir da realidade de cada contexto em particular.

### **2.2. A importância da preservação e conservação de estradas - bacia de acumulação**

Na implantação de sistemas de drenagem em estradas não pavimentadas não se pode deixar de considerar a estrada como elemento integrante do ambiente rural, tendo em vista a interferência mútua entre estas e as áreas marginais (PRUSKI *et al.*, 2006).

Desta forma, não basta promover a retirada da água que escoar nas estradas se não houver uma destinação racional para esta, pois haverá apenas uma transferência do problema da estrada para áreas adjacentes. Diante desse contexto, é de grande importância que, dentre as metas traçadas para a implantação de práticas conservacionistas em estradas não pavimentadas, seja considerada a implantação de estruturas hidráulicas capazes de reter, de forma adequada, o volume do escoamento superficial proveniente das estradas.

O uso de estruturas hidráulicas para a contenção do escoamento superficial em estradas não pavimentadas, além de conter o processo erosivo, também possui uma atribuição funcional que proporciona benefícios expressivos à bacia pela recarga do lençol freático e, conseqüentemente, à conservação do recurso água (BERTOLINI et al., 1993). Neste contexto, a implantação de bacias de acumulação destinadas à contenção do escoamento superficial proveniente das estradas pode ser uma alternativa de grande importância.

De acordo com Griebeler (2002), a técnica para a implantação de bacias de acumulação consiste na escavação do solo das áreas marginais às estradas para permitir a captação e o armazenamento da água escoada e, conseqüentemente, permitir a posterior infiltração.

A construção de bacias de acumulação e infiltração pode contribuir expressivamente para adequação do sistema de drenagem, controle dos processos erosivos e redução do assoreamento de nascentes, rios e lagos, pois o escoamento superficial é armazenado nestas, favorecendo sua infiltração e evaporação.

Silva (2009) salienta que a implantação de bacias de acumulação e infiltração destinadas à contenção do escoamento superficial proveniente das estradas consiste em uma alternativa de grande potencial de uso, principalmente, nas situações em que não há sistemas de terraceamento para os quais possa ser conduzido o escoamento superficial.

### **2.3. Processo de infiltração da água no solo.**

Segundo AMERMAN (1983), a definição de infiltração de água no solo foi feita por Horton em 1933 como sendo o processo pelo qual a água penetra no solo, umedecendo-o. AMERMAN (1983) registra que, a infiltração é expressa como o processo pelo qual a água atravessa a interface ar-solo. É um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge “altos” teores de umidade do solo,

enquanto que as camadas inferiores apresentam-se ainda com “baixos” teores. Há então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição.

Neste contexto, o processo de infiltração da água no solo pode determinar o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, responsável pela erosão hídrica. Assim, o conhecimento do processo e sua relação com as características do solo são de fundamental significância para o eficiente manejo do solo e da água nos cultivos agrícolas (REICHARDT, 1996).

Segundo Guerra (2000) e Carvalho (2002), a taxa de infiltração e a retenção de água pelo solo são importantes, pois auxiliam na definição de políticas de proteção e de conservação do solo e da água, planejamento de sistemas de drenagem e irrigação.

De acordo com Carduro e Dorfman (1988) condições tais como: porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outras, influem fortemente na infiltração da água no solo. Segundo Reichert et al. (1992) a textura do solo afeta o salpico de partículas provocado pelo impacto das gotas de chuva, contribuindo para uma redução da porosidade da camada superficial do solo. Além do impacto da gota, Morin e Van Winkel (1996) citam a dispersão físico-química das argilas do solo como causa da formação do selamento superficial e, conseqüentemente, da redução da taxa de infiltração.

Para Pinheiro et al. (2009) a compreensão e a avaliação da capacidade de armazenamento de água no solo, bem como os fluxos que ocorrem tanto na superfície (infiltração e evaporação) quanto na profundidade do solo (drenagem interna), são importantes quando se trata da drenagem, erosão, biologia da fauna e flora desse solo, lixiviação de elementos químicos, entre outros aspectos.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Essa dissertação foi retirada dos projetos APQ 02339-13 Bacias de decantação em estradas rurais: contribuição para o ciclo hidrológico e P&D da Cemig GT-456 Modelo Fitogeográfico da Bacia do Rio Grande.

#### **3.1. Caracterização das áreas de estudo**

O experimento foi conduzido em dois locais. O primeiro foi denominado como área 1 ou área de floresta, cuja denominação foi dada, pois a bacia de acumulação, assim como os pontos de monitoramento instalados no local a jusante da bacia se encontravam dentro de uma área de floresta plantada. A segunda área de estudo sob o título de área 2 ou área de pastagem tem a bacia de acumulação de água instalada e os pontos de monitoramento instalados a jusante da bacia de acumulação em uma área de pastagem. A descrição de cada área se apresenta nos tópicos subsequentes.

Contudo, para este trabalho foi utilizado apenas às áreas de contribuição para as referidas bacias de acumulação.

##### **3.1.1. Área 1 - Área de Floresta**

A área 1, denominada também como área de floresta, se localiza nas proximidades das coordenadas 21°13'51,09" S e 44°58'39,01" O, situada no município de Lavras-MG, no interior do Campus Universitário da Universidade Federal de Lavras (UFLA) (FIGURA 1). Na área estabelecida, há duas nascentes que alimentam um dos reservatórios de abastecimento de água do Campus Universitário e uma estrada não pavimentada próxima as nascentes.

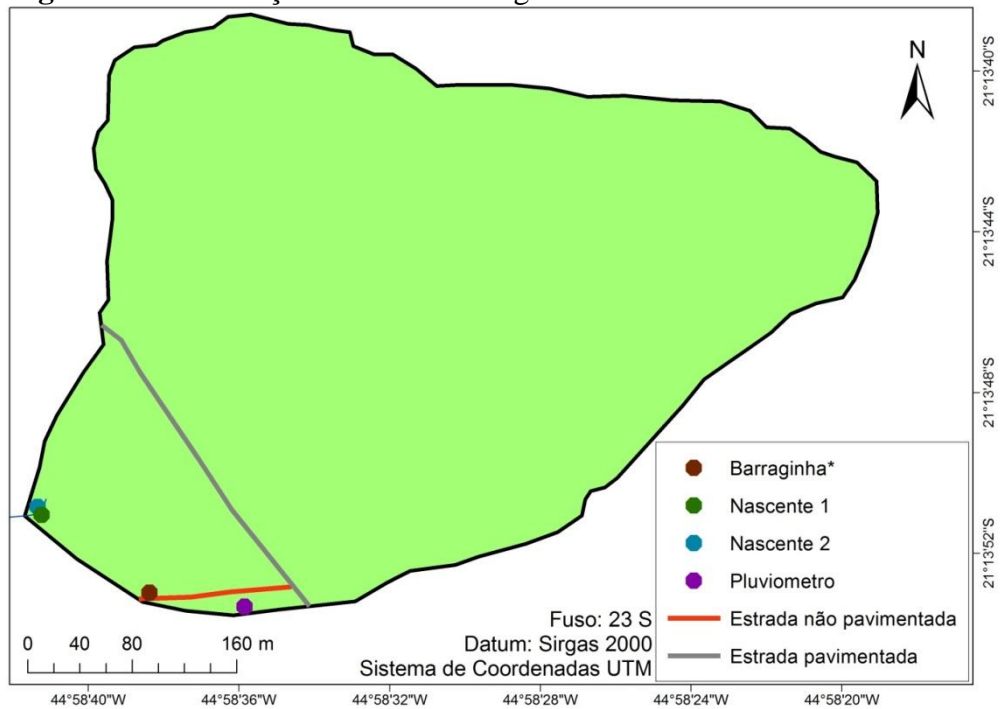
A Figura 2 apresenta de forma cartográfica a área de drenagem referente às nascentes, a localização da bacia de acumulação fruto de estudos deste trabalho, a estrada não pavimentada na qual foi construído a bacia de acumulação adjacente a ela, a localização das calhas para monitoramento da vazão das nascentes e o pluviômetro instalado no local.

**Figura 1** – Localização da área experimental - área 1.



Fonte: Google Earth (2017).

**Figura 2** – Localização e área de drenagem referente às nascentes da área 1.



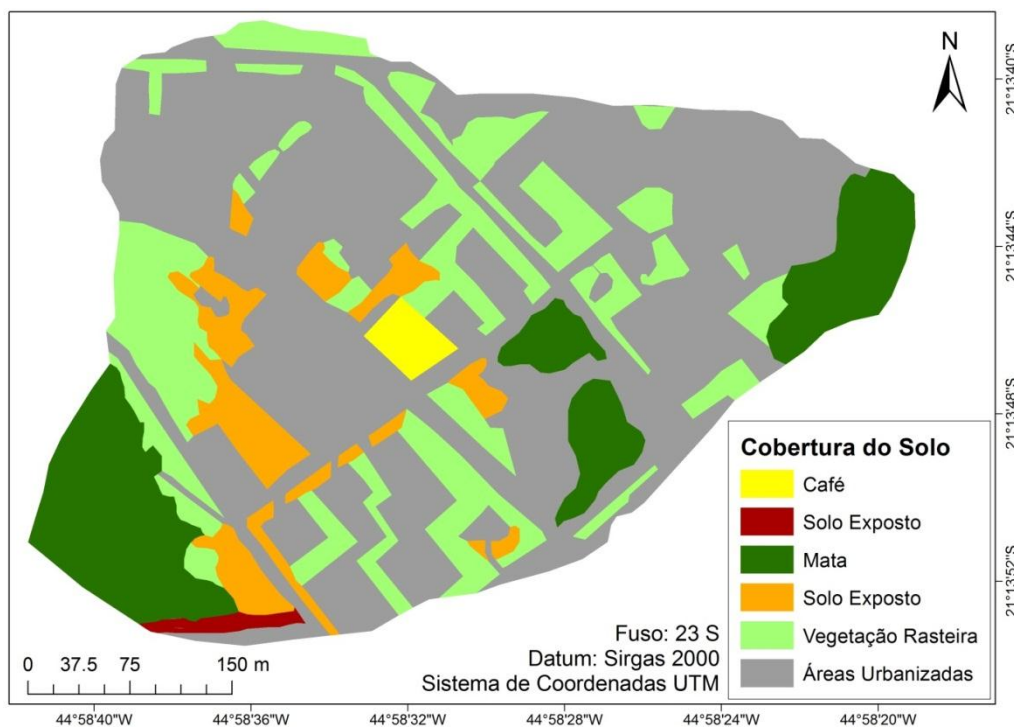
Fonte: Do Autor (2017).

\*Barraginha: Bacia de acumulação de água das chuvas.

A localidade da área de estudo apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico de acordo com Curi et al. (2017) e o local onde foi instalada a bacia de

acumulação é ocupado por vegetação de reflorestamento, já área de drenagem como um todo para as nascentes está ocupada por áreas de mata, áreas impermeáveis devido à urbanização da universidade, áreas de solo exposto e áreas com diversos tipos de vegetação rasteira, tais como gramíneas e brachiárias (FIGURA 3). A porcentagem de área ocupada por cada uso do solo se encontra na Tabela 1.

**Figura 3** – Mapa de uso do solo da área 1.



Fonte: Do Autor (2017).

**Tabela 1** – Quantificação da área de cada tipo de uso do solo identificado na área 1.

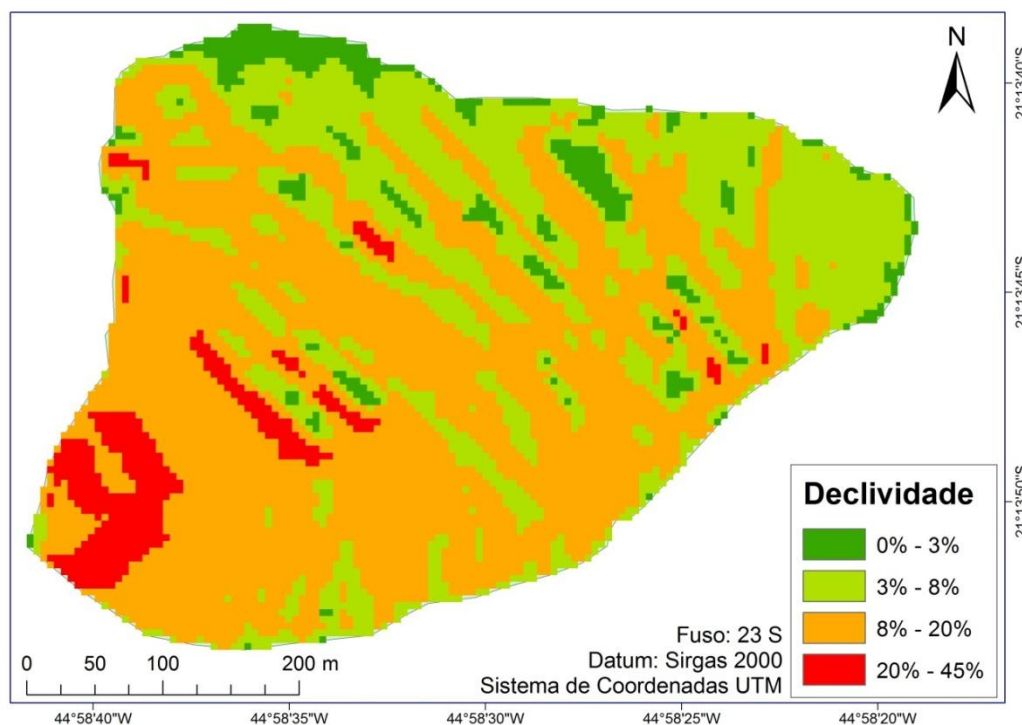
<b>Tipo de Uso do solo</b>	<b>Área (ha)</b>
<b>Área construída</b>	11,36
<b>Café</b>	0,21
<b>Estrada de terra</b>	0,12
<b>Mata</b>	2,84
<b>Solo exposto</b>	1,30
<b>Vegetação rasteira</b>	3,96
<b>Área total</b>	<b>19,79</b>

Fonte: Do Autor (2017).

Vale salientar que a área foi reflorestada entre 2010 e 2011, e na época em questão o solo foi previamente preparado para o plantio das mudas. Este fato será de suma importância para o entendimento de alguns parâmetros físico-hídricos do solo do local.

Segundo Dantas, Carvalho & Ferreira (2007) o clima da localidade é do tipo Cwa, com invernos secos e verões chuvosos, de acordo com a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 20,4°C, tendo no mês mais frio e no mês mais quente, temperaturas médias entre 17,1°C e 22,8°C, respectivamente. A precipitação anual normal é de 1.460 mm e a evapotranspiração real anual igual a 873 mm

**Figura 4** – Mapa de relevo referente à área 1.



Fonte: Do Autor (2017).

A Figura 4 representa o mapa de classes de declividade da área 1, sendo o fatiamento das classes de declividade conforme o proposto por Santos et al. (2013), onde se verifica grande variabilidade espacial do relevo na área. As classes de declividade de maior relevância do relevo em termos de área correspondem ao relevo suavemente ondulado (3 a 8% de declividade) e ondulado (8 a 20% de declividade) correspondendo a 60,4 e 25,7% da área total, respectivamente.

### 3.1.2. Área 2 - Área de Pastagem

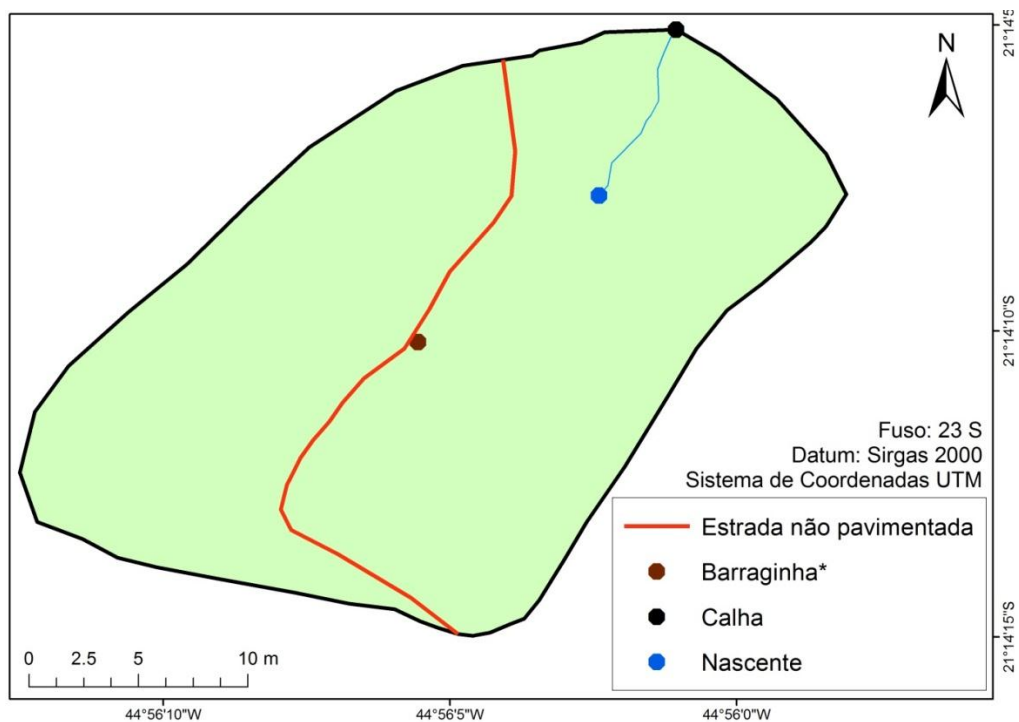
A segunda área de estudo, aqui denominada de área 2 ou área de pastagem, está localizada no entorno das coordenadas 21°14'11,04" S e 44°56'04,91" O, situada no município de Ijaci-MG, mais detalhadamente na localidade conhecida como Taboão (FIGURA 5).

**Figura 5** – Localização da área experimental - área 2.



Fonte: Google Earth (2017).

**Figura 6** – Localização e área de drenagem referente à nascente da área 2.



Fonte: Do Autor (2017).

\*Barraginha: Bacia de acumulação de água das chuvas.

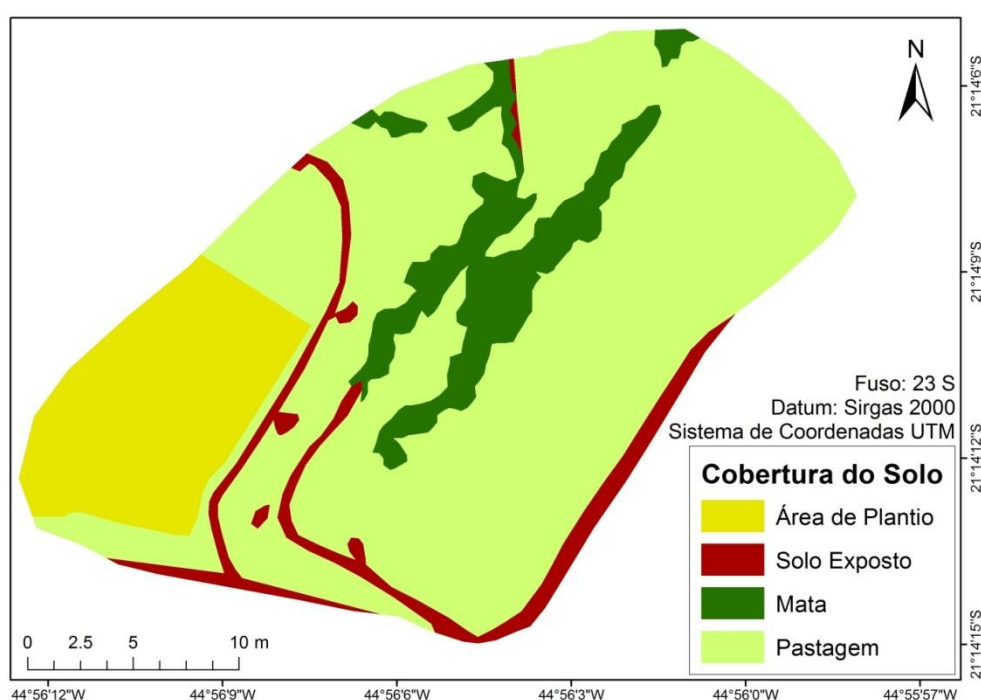
Na Figura 6, geograficamente estão identificados à área de drenagem referente à nascente da localidade, o ponto de instalação da calha para monitoramento da vazão da



nascente, a localização da bacia de acumulação construída e a estrada de terra principal onde foi implantada a bacia de acumulação em estudo.

Com relação ao clima, a localidade apresenta as mesmas características identificadas para a área 1, ou seja, seguindo Dantas, Carvalho & Ferreira (2007) o clima da localidade é do tipo Cwa, com invernos secos e verões chuvosos, de acordo com a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 20,4°C, tendo no mês mais frio e no mês mais quente, temperaturas médias entre 17,1°C e 22,8°C, respectivamente. A precipitação anual normal é de 1.460 mm e a evapotranspiração real anual igual a 873 mm.

**Figura 7** – Mapa de uso do solo da área 2.



Fonte: Do Autor (2017).

De acordo com as características do local e de resultados obtidos da caracterização físico-hídrica do local, o solo da área em questão pode ser enquadrado como Argissolo de acordo com classificação sugerida por EMBRAPA SOLOS (2013). A localidade no entorno de onde foi instalada a bacia de acumulação está ocupada por pastagens em estágios avançados de degradação, assim como ocorre predominantemente na área de drenagem da nascente, além de áreas de cultivo anual e regiões de mata (FIGURA 7). A porcentagem de área ocupada por cada uso do solo está discriminada na Tabela 2.

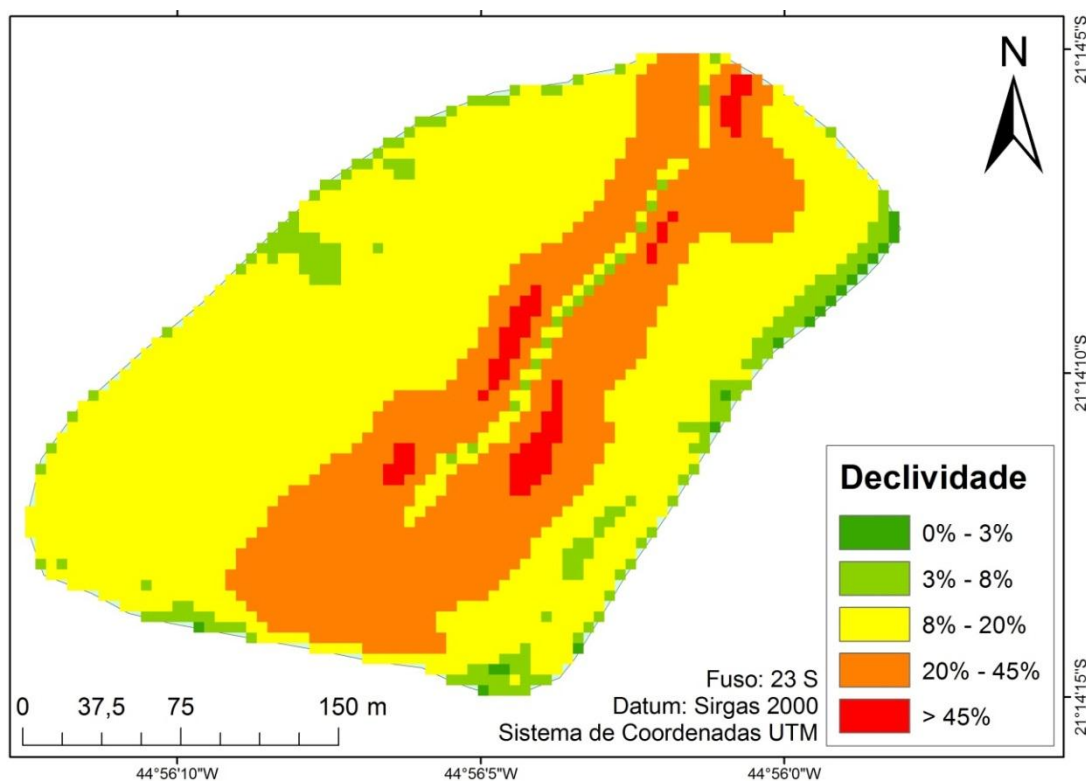
**Tabela 2** – Quantificação da área de cada tipo de uso do solo identificado na área 2.

<b>Tipo de Uso do solo</b>	<b>Área (ha)</b>
<b>Cultura anual</b>	1,15
<b>Estrada rural</b>	0,45
<b>Mata</b>	0,73
<b>Pastagem</b>	5,18
<b>Área total</b>	<b>7,51</b>

Fonte: Do Autor (2017).

O relevo da área 2, representado na Figura 8, possui grande variabilidade espacial, com predominância foi de relevo ondulado (8% a 20% de declividade) e fortemente ondulado (20 a 45% de declividade), o que correspondem a 53,7 e 35,2% da área total, respectivamente.

**Figura 8** – Mapa de relevo referente à área 2.



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.2. Construção das barragens de contenção de água da chuva

As bacias de acumulação foram construídas nas áreas escolhidas no entorno das estradas não pavimentadas com o objetivo de conter e desviar as águas de chuva que escoam

por elas. Estas bacias foram construídas em pontos estratégicos das estradas, posicionadas em direção aos cursos d'água, e de fácil acesso para o estudo.

Para a construção das bacias de acumulação, adotou-se como base a metodologia proposta por EMATER (2005).

Para a construção das bacias de acumulação foram utilizados tratores retroescavadeiras adequados para o serviço.

O processo de criação da bacia, a construção se iniciou com a retirada de terra foi do centro para as extremidades, mantendo as laterais inclinadas, ou seja, formando-se taludes ou 'saías' de terra acumulada no entorno das bacias de acumulação.

As dimensões das bacias foram estabelecidas de acordo com as condições do terreno e espaço disponível para a construção das mesmas. Neste caso, estabeleceu-se que as bacias buscassem ter entre 3 m e 10 m de diâmetro com formas circulares, com a altura variando entre 0,8 m e 2,5 m tendo como referência o ponto mais profundo da bacia. Adicionalmente, foram construídas com a maior dimensão posicionada no sentido perpendicular do declive do terreno.

### **3.3. Monitoramento de umidade e volume de água armazenado no solo**

Neste estudo, o monitoramento da umidade do solo teve como objetivo avaliar espacialmente o comportamento da mesma no solo tendo em vista as bacias de acumulação a montante dos pontos de monitoramento.

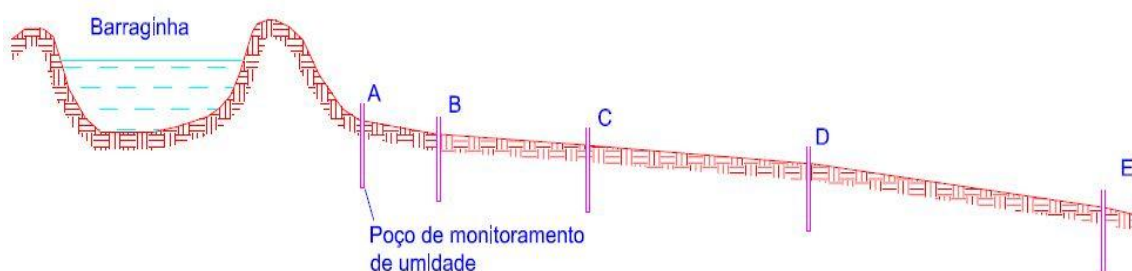
A umidade do solo foi monitorada no entorno das bacias de acumulação construídas mais próximas de cada nascente em estudo. Em cada bacia de acumulação a umidade do solo foi monitorada a partir da "saia" das bacias de acumulação (região após o maciço de terra retirado da bacia) em 5 pontos instalados até a profundidade de 0,8 m em linha reta na direção do eixo principal de cada bacia de acumulação levando em consideração o curso d'água estudado e o declive do terreno.

O primeiro ponto de monitoramento em cada bacia de acumulação foi implantado exatamente no fim da saia da bacia de acumulação, e os pontos posteriores a 1 m, 3 m, 6 m e 10 m deste primeiro ponto e conseqüentemente da saia da bacia de acumulação, totalizando 5 pontos de monitoramento em cada área. E em cada ponto a umidade do solo foi monitorada a cada 20 cm, ou seja, em 4 profundidades. No total, em cada área foram coletados 20 dados de

umidade em cada campanha de monitoramento. Para melhor descrição, os pontos foram nomeados de “A”, “B”, “C”, “D” e “E”, respectivamente.

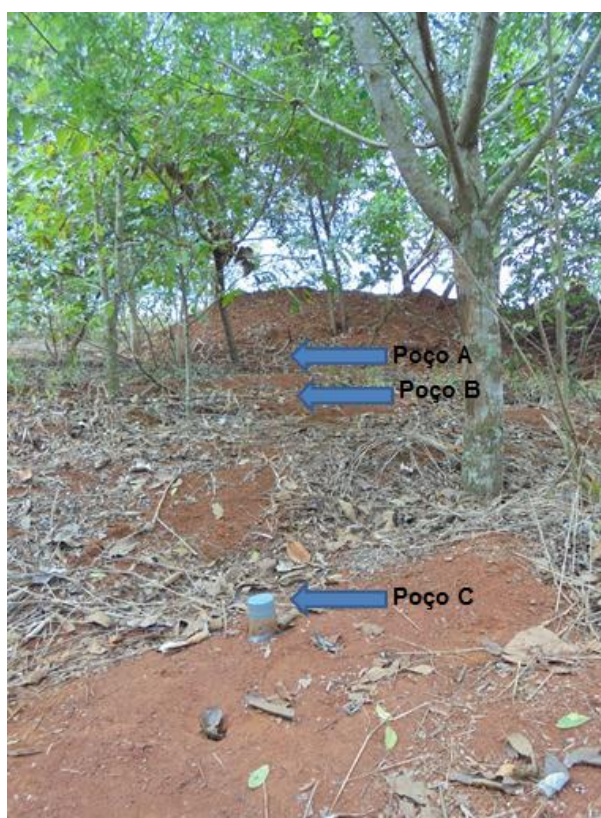
As Figuras 9 e 11 apresentam o croqui de como ficou a disposição dos pontos instalados em cada área em estudo. Depois de instalados verificou-se que a declividade do primeiro ao último ponto foi de 10,3% na área 1, e na área 2 a declividade entre os pontos extremos foi de 32,1%.

**Figura 9** – Croqui da configuração de como foi construído e instalado o experimento na área 1.



Fonte: Do Autor (2017).

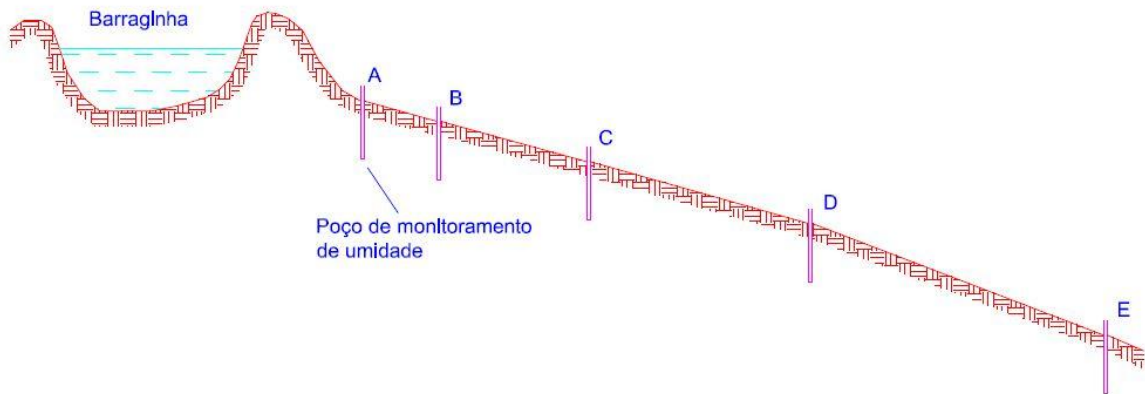
**Figura 10** – Fotografia de um tubo de monitoramento da umidade do solo instalado na área 1.



Fonte: Do Autor (2016).

O monitoramento da umidade foi realizada 2 vezes por semana ou após a ocorrência de eventos de precipitação em ambas as áreas durante todo o período de análise. Sendo que neste trabalho o período de análise de umidade ocorreu entre abril de 2015 e abril de 2017 para a primeira área. E entre janeiro de 2016 e abril de 2017 na área 2.

**Figura 11** – Croqui da configuração de como foi construído e instalado o experimento na área 2.



Fonte: Do Autor (2017).

A umidade foi medida utilizando uma sonda TDR (Reflectometria no Domínio do tempo) TRIME-PICO IPH/T3 da fabricante IMKO, previamente calibrada em laboratório, que permitiu a leitura de umidade em várias profundidades (FIGURA 12).

**Figura 12** – Modelo de sonda utilizada para medir umidade do solo, destacando a sonda e o tubo de acesso – Sonda TDR TRIME-PICO IPH/T3 IMKO.



Fonte: IMKO Micromodultechnik GmbH (2017).

Devido à dinâmica e disposição dos pontos de monitoramento de umidade em campo e o perfil adotado, foi possível realizar avaliações tanto na vertical como na horizontal do comportamento da umidade no solo ao longo do tempo, e analisar o comportamento da água no perfil do solo em decorrência da presença de bacia de acumulação.

### **3.4. Caracterização Físico-hídrica**

Para compreensão e maior entendimento dos solos das áreas em estudo, efetuou-se a caracterização físico-hídrica dos solos dos locais. Além disso, os dados levantados foram de suma importância para subsidiar discussões a cerca do comportamento da umidade do solo.

Desse modo, os seguintes parâmetros foram avaliados: densidade aparente ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ), análise granulométrica, ou seja, percentuais de areia, silte e argila, condutividade hidráulica do solo em regime saturado ( $K_s$ ), porosidade total ( $P$ ), microporosidade ( $M_{ip}$ ) e macroporosidade do solo ( $M_{ap}$ ), umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) e matéria orgânica.

Foram coletadas amostras de solo em todos os pontos e em cada profundidade estabelecida para o estudo. Ou seja, em cada área de estudo, foram coletadas amostras em cada ponto de monitoramento da umidade e em todas as profundidades. Isto é, em cada área coletou-se amostras nos pontos A, B, C, D e E, e nas profundidades de 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60 e 60 – 80 cm em cada um desses pontos, totalizando 20 amostras de solo em cada área de estudo para estudo.

Para determinação de  $D_p$ , análise granulométrica e matéria orgânica foram coletadas amostras de solo deformadas com o auxílio de um trado perfurante do tipo holândes e embaladas em “sacos transparentes de plástico” para preservação das amostras.

Para determinação da  $K_s$ ,  $D_s$ , porosidade total,  $M_{ap}$  e  $M_{ip}$  do solo, foram coletadas amostras indeformadas com o auxílio de um “extrator de solo do tipo Uhland. As amostras indeformadas foram em cilindros de diâmetro de 6,6 cm e altura de 8,2 cm e embaladas em papel alumínio para preservação das amostras.

Posteriormente, as amostras de solo foram levadas para o laboratório para dar procedimento às análises pertinentes. Para a realização das análises e obtenção dos parâmetros acima citados para as áreas de estudo, seguiu-se as metodologias propostas e compiladas por EMBRAPA (2011). Os trabalhos laboratoriais e execução das metodologias para obtenção

dos parâmetros foram realizados no Laboratório de Física dos Solos de Engenharia de Água e Solo e no Laboratório de Resíduos Sólidos e Geotecnia Ambiental do Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras.

Para avaliação dos resultados obtidos para condutividade hidráulica do solo em condições saturadas, fez-se uso da classificação sugerida por Freire (2003), em que ele classifica a  $K_s$  por intervalos de valores (TABELA 3).

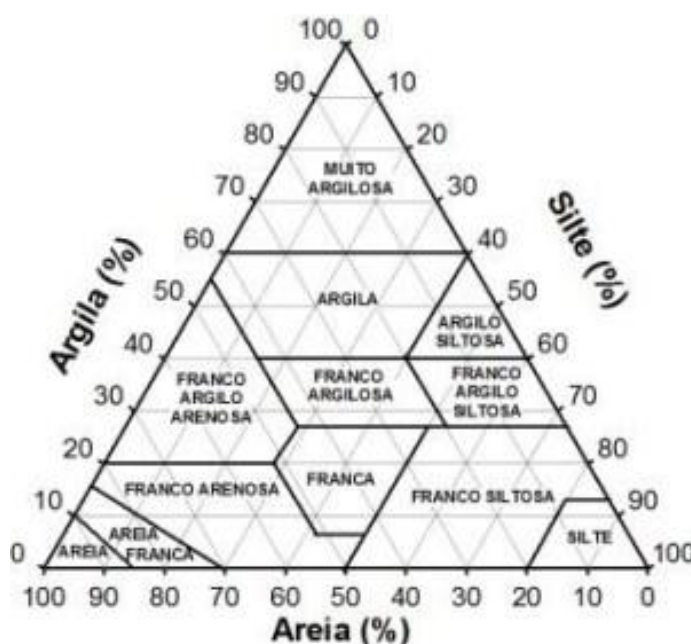
**Tabela 3** – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado ( $K_s$ ).

Classificação	Intervalo de $K_s$ (m.dia <sup>-1</sup> )
Muito Rápida	> 6,0
Rápida	3,0 < $K_s$ < 6,0
Moderadamente Rápida	1,5 < $K_s$ < 3,0
Moderada	0,48 < $K_s$ < 1,5
Moderadamente Lenta	0,12 < $K_s$ < 0,48
Lenta	0,03 < $K_s$ < 0,12
Muito Lenta	< 0,03

Fonte: Freire (2003).

Com relação aos resultados obtidos da análise granulométrica do solo, fez-se a classificação de cada amostra de acordo com o Triângulo Textural (TT) proposto pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) citado por Ferreira (2010), em que classifica a textura do solo de acordo com os percentuais de areia, silte e argila (FIGURA 13).

**Figura 13** – Triângulo Textural para classificação granulométrica do solo.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2010).

A avaliação destes parâmetros foi de suma importância para o entendimento da dinâmica da umidade do solo no contexto de análise da umidade do solo temporalmente e o movimento da mesma ao longo do perfil analisado.

### 3.5. Precipitação afluyente às bacias e determinação de eventos isolados

A precipitação foi monitorada e registrada por meio de pluviômetro automático do tipo báscula, modelo Data Logging Rain Gauge RG3-M, marca Onset HOB0 Data Loggers (FIGURA 14), instalado nas proximidades das bacias. Foram utilizados dois pluviômetros, instalados nas proximidades das bacias de acumulação.

**Figura 14** – Pluviômetro automático com detalhamento do sistema de báscula.



Fonte: weathershop.com (2017).

Estes dados foram quantificados e acumulados por dia, criando-se uma série histórica diária do período de duração do experimento que serviram de subsídio para a escolha dos principais eventos isolados de chuva que foram frutos para a realização da evolução da água armazenada no solo e detectar possíveis movimentos da água ao longo dos perfis de pontos instalados para monitoramento da umidade a jusante das bacias de acumulação de água da chuva.

Para a escolha dos eventos isolados para análise, tomou-se a decisão de que estes eventos deveriam ter ocorrido durante o período de estiagem. E a escolha dos eventos levou-se em consideração a seguinte característica: período de no mínimo 10 dias sem precipitação, seguido da ocorrência de precipitação de forma mais intensa em que tenha sido possível ocorrer escoamento, e por fim uma sequência de no mínimo 15 dias após sem chuvas.



Desta maneira, para este trabalho foi possível avaliar 2 eventos em cada área. Sendo que para área 1 (área de floresta), os eventos isolados foram entre 25/08/2015 e 20/10/2015, e 27/05/2016 e 18/07/2016. E para área 2, no período de 27/05/2016 a 10/07/2016, e 12/08/2016 e 16/09/2016.

### **3.6. Determinação da permeabilidade do solo nas bacias de contenção de água da chuva**

Para avaliar a permeabilidade do solo das bacias de acumulação no início e fim do experimento, fez-se uso do permeâmetro de *Guelph* de carga constante (FIGURA 15), seguindo a metodologia proposta por Oliva (2005). O teste a princípio, fornece diretamente dados da capacidade de infiltração do solo desde a situação inicial até alcançar o estado de saturação, ou seja, até a capacidade de infiltração básica (CIB). A posteriori, efetua-se o cálculo da condutividade hidráulica por meio da CIB.

**Figura 15** – Modelo de Permeametro de Guelph de carga constante utilizado.



Fonte: tecnal.com (2017).

Neste estudo, os ensaios em cada bacia foram realizados no início e ao fim do período do monitoramento, com intuito de avaliar a condutividade hidráulica do solo do fundo da bacia (logo após construção a sua construção) e no fim do experimento, a fim de determinar se houve ou não aumento na capacidade de infiltração em cada bacia de acumulação.

Para a condução do experimento, o ensaio foi realizado em três pontos igualmente espaçados entre si, formando um triângulo, no interior da bacia de acumulação, sendo um próximo da entrada, um segundo ponto no local mais fundo, e um terceiro mais ao centro e a lateral da bacia, para posteriormente obter dados médios.

A condução do teste de infiltração com o uso do permeâmetro de *Guelph* seguiu a metodologia proposta por Oliva (2005), onde que, em cada ponto foi realizou-se os testes de infiltração em dois níveis de carga hidráulica (5 cm e 10 cm), e somente era paralisado quando a infiltração da água no solo se tornasse constante, ou seja, atingisse a CIB do solo.

Diante dos dados da CIB, a condutividade hidráulica saturada pode ser calculada, utilizando a Equação 1, estabelecida por Soil Moisture Corp (1991) para ensaios com permeâmetro de *Guelph*:

$$Ks = (0,0041 * X * R_1) - (0,0054 * X * R_2) \quad (1)$$

Em que,  $Ks$  corresponde à condutividade hidráulica saturada, em cm/s;  $R_1$  e  $R_2$  são as taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a 5 e 10 cm de carga hidráulica respectivamente, em cm/s;  $X$  é a constante correspondente à área do tubo (reservatório da água) utilizado, em  $cm^2$ , neste caso, a constante empregada de acordo com o equipamento utilizado foi  $X=35,11 \text{ cm}^2$ .

Com os resultados de  $Ks$  obtidos em cada ponto na mesma campanha, fez-se a média para obtenção da condutividade hidráulica média no interior da bacia de acumulação do início e do fim do experimento, a fim de detectar se houve aumento ou da permeabilidade do solo no fundo das bacias de acumulação.

Para complementação e compreensão da característica textural do solo e dos sedimentos que vieram a se depositar no fundo das bacias de acumulação, fez-se uma avaliação por meio de análises granulométricas, que seguiu a metodologia proposta por EMBRAPA (2011).

### **3.7. Avaliação do comportamento da água no solo em decorrência das bacias de acumulação**

Para a avaliação e identificação de possíveis indícios da infiltração e movimentação da água no solo, devido à presença da bacia de acumulação a montante, em direção aos pontos

monitorados, foram realizadas análises do comportamento da água no solo em períodos de eventos isolados de precipitação precedidos de intervalos consideráveis de ausência de novas chuvas. Para estes períodos determinou-se o armazenamento de água no solo considerando toda a camada de 0 a 80 cm em cada ponto e em cada data de monitoramento do intervalo de tempo considerado.

Para a determinação da quantidade de água armazenada no solo (mm) para toda a camada e em cada ponto, fez-se uso dos dados de umidade coletados em cada camada de 20 cm. Neste caso, efetuou o uso da seguinte equação:

$$A(i)_{0_80} = (\theta_{0_20} * 200) + (\theta_{20_40} * 200) + (\theta_{40_60} * 200) + (\theta_{60_80} * 200) \quad (2)$$

Em que,  $A(i)_{0_80}$  é o armazenamento de água no solo no ponto (i) avaliado em mm;  $\theta_{0_20}$ ,  $\theta_{20_40}$ ,  $\theta_{40_60}$  e  $\theta_{60_80}$  se referem aos dados de umidade obtidos nas camadas de 0 – 20, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm e 60 – 80 cm, respectivamente dados em milímetros (mm); e a constante 200 se refere a altura de cada camada avaliada em mm.

Com os dados de armazenamento de água no solo em cada data de dados disponíveis durante o período escolhido realizou-se análises qualitativas e percentuais de possíveis acréscimos e decréscimos da água armazenada no solo, buscando encontrar indícios se houve movimento ou não de água no solo em direção aos pontos de monitoramento da umidade.

### **3.8. Levantamento planialtimétrico das áreas e das bacias de acumulação em estudo**

Neste trabalho, técnicas de levantamentos topográficos planialtimétricos foram utilizadas para determinação das áreas de escoamento de água das chuvas para as bacias de acumulação, para obtenção dos volumes das bacias de acumulação no início e fim do experimento e para complementar dados de uso do solo das áreas em estudo. Os levantamentos planialtimétricos foram realizados utilizando GPS topográfico de dupla frequência e comunicação RTK da marca Topcon, modelo Hiperlite© (FIGURA 16).

**Figura 16** – GPS topográfico de dupla frequência e comunicação RTK, utilizado para levantamentos de alta precisão.



Fonte: Do autor (2015).

### **3.9. Determinação dos parâmetros geométricos e vida útil das bacias de acumulação e a quantidade de sedimentos transportados.**

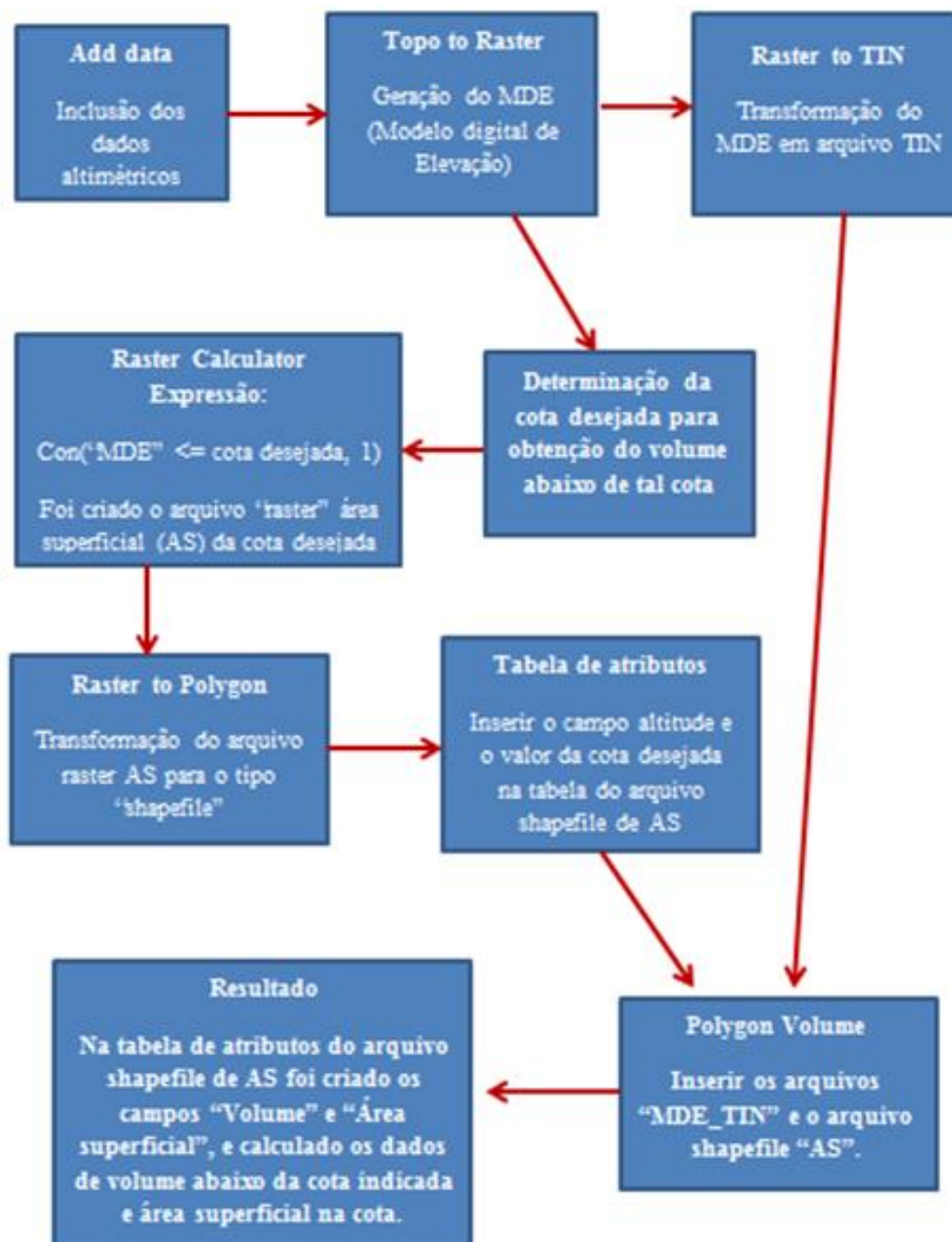
Para a determinação do volume das bacias de acumulação, primeiramente foi realizado o levantamento planialtimétrico do interior das mesmas com o uso de GPS geodésico de alta precisão.

Para este processo, coletou-se de 150 – 200 pontos no interior de cada bacia de acumulação, de modo a caracterizar todo o relevo do interior da estrutura. Os pontos foram coletados desde o local mais profundo da bacia até o topo do montante de solo retirado para a sua construção que ficou acumulado formando uma “saia” no seu entorno. Para a definição destes pontos, buscou-se caminhar por todo o interior da bacia de acumulação em círculos a fim de coletar pontos em todas as mudanças mínimas de relevo.

O levantamento foi feito em duas campanhas: no início e no fim dos períodos de estiagem, isto é, foram efetuados nos meses de setembro de 2016 e junho de 2017, tanto na área 1 quanto na área 2. De modo que fosse possível delinear o relevo (interior) das bacias de acumulação e posteriormente dimensionar os volumes iniciais das bacias e posteriormente os volumes finais após um período hidrológico de chuvas para que fosse possível computar a quantidade de sedimentos transportados para as mesmas e desta maneira, determinar a sua

vida útil levando em consideração a sua geometria e capacidade de acumulação de sedimentos.

**Figura 17** – Rotina metodológica para determinação do volume das bacias de acumulação no software ArcGIS 9.3<sup>®</sup>.



Fonte: Do Autor (2017).

Após o levantamento planialtimétrico, estes dados foram transferidos para o software ArcGIS 9.3<sup>®</sup> para que fosse realizado a modelagem dos dados com a finalidade de obter os

volumes das bacias de acumulação em estudo. Esta modelagem foi realizada adotando os seguintes passos descritos no fluxograma abaixo (FIGURA 17).

Com os volumes das bacias de acumulação determinados, tanto o inicial, quanto o final após o período proposto, obteve-se por diferença de volume, a quantidade de sedimentos que se depositou (Equação 3) nas bacias de acumulação no período em análise, e conseqüentemente a vida útil da bacia pela Equação 4, levando-se em conta apenas o acúmulo de sedimentos e de que não haveria manutenção nas mesmas.

$$Vol_{sed.} = Vol_i - Vol_f \quad (3)$$

Em que,

$Vol_{sed.}$ : Volume de sedimentos que se acumulou entre as avaliações realizadas ( $m^3$ );

$Vol_i$ : Volume da bacia inicial ( $m^3$ );

$Vol_f$ : Volume da bacia final ( $m^3$ ).

$$T_{\acute{u}til\_bacia} = \frac{Vol_i}{Vol_{sed.}} * \Delta T_{anos} \quad (4)$$

Em que,

$T_{\acute{u}til\_bacia}$ : Vida útil da bacia (anos);

$Vol_i$ : Volume da bacia inicial ( $m^3$ );

$\Delta T_{anos}$ : Intervalo de tempo entre os dois levantamentos para determinação dos volumes da bacia (anos). Como foi realizado antes do período de chuvas e após o período de chuvas, será considerado o intervalo como um período hidrológico de um ano.

Após determinado a vida útil das bacias de acumulação em estudo, também se calculou o tempo de vida restante das bacias, cujo calculo levou em consideração o tempo já passado entre os levantamentos.

Também se efetivou comparações entre as profundidades iniciais e finais das bacias. Profundidade esta cujo ponto mais profundo se localizou no local mais profundo da bacia em relação ao ponto mais alto situado no local de extravasamento de águas.

Por fim, calculou-se a quantidade média de perda de solo em relação às áreas de escoamento para as bacias de acumulação por unidade de tempo. Neste caso, as áreas de escoamento corresponderam a toda a área da estrada e as áreas adjacentes que tinham como destino as bacias de acumulação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização físico-hídrica dos locais experimentais

#### 4.1.1. Área 1 – Área de floresta

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam os dados de caracterização físico-hídrica do solo dos pontos de monitoramento da umidade do solo, em suas respectivas camadas para a área 1. Nesta análise, foram obtidos dados de densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ), condutividade hidráulica do solo ( $K_s$ ), porosidade total ( $P_t$ ), macroporosidade ( $M_{ap}$ ), microporosidade ( $M_{ip}$ ), matéria orgânica, análise granulométrica e umidade ao ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ).

**Tabela 4** – Dados de Caracterização Físico-Hídrica do solo para a área 1 – densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ) e condutividade hidráulica ( $K_s$ ).

Ponto	Prof. (cm)	$D_s$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$D_p$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$K_s$ (m.dia <sup>-1</sup> )	Classes de $K_s$
A	20	1,35	2,87	1,66	Moderadamente rápida
	40	1,24	2,71	2,60	Moderadamente rápida
	60	1,11	2,78	4,35	Rápida
	80	1,17	2,86	1,98	Moderadamente rápida
B	20	1,34	2,77	3,70	Rápida
	40	1,24	2,82	8,33	Muito rápida
	60	1,13	2,86	9,08	Muito rápida
	80	1,22	2,86	4,08	Rápida
C	20	1,35	2,70	1,53	Moderadamente rápida
	40	1,33	2,82	8,33	Muito rápida
	60	1,11	2,75	8,71	Muito rápida
	80	1,16	2,85	4,58	Rápida
D	20	1,36	2,82	2,85	Moderadamente rápida
	40	1,34	2,82	4,52	Rápida
	60	1,17	2,71	9,21	Muito rápida
	80	1,20	2,82	9,05	Muito rápida
E	20	1,35	2,82	6,25	Muito rápida
	40	1,31	2,82	9,27	Muito rápida
	60	1,21	2,67	4,88	Rápida
	80	1,27	2,70	2,54	Moderadamente rápida

**Tabela 5** – Dados de Caracterização Físico-Hídrica do solo para a área 1 – análise textural e matéria orgânica.

Ponto	Prof. (cm)	Análise textural			Classificação textural	Matéria orgânica (dag.kg <sup>-1</sup> )
		% Argila	% Silte	% Areia		
A	20	54,35	32,55	13,10	Argilosa	2,74
	40	57,00	31,95	11,05	Argilosa	2,11
	60	59,00	31,35	9,65	Argilosa	1,59
	80	62,00	29,05	8,95	Muito argilosa	1,58
B	20	62,50	24,00	13,50	Muito argilosa	3,04
	40	60,00	28,85	11,15	Muito argilosa	2,40
	60	65,00	24,95	10,05	Muito argilosa	1,76
	80	62,00	28,25	9,75	Muito argilosa	1,48
C	20	63,50	24,65	11,85	Muito argilosa	2,69
	40	61,00	28,40	10,60	Muito argilosa	1,88
	60	61,00	28,90	10,10	Muito argilosa	1,82
	80	67,00	23,05	9,95	Muito argilosa	1,34
D	20	62,25	23,50	14,25	Muito argilosa	2,55
	40	61,00	27,65	11,35	Muito argilosa	1,95
	60	64,00	25,10	10,90	Muito argilosa	1,73
	80	63,00	26,90	10,10	Muito argilosa	1,48
E	20	64,00	24,65	11,35	Muito argilosa	2,07
	40	62,00	27,10	10,90	Muito argilosa	1,41
	60	67,00	23,60	9,40	Muito argilosa	1,24
	80	64,00	25,25	10,75	Muito argilosa	1,12

A densidade do solo (Ds) de modo geral em todo o perfil oscilou entre 1,1 g.cm<sup>-3</sup> e 1,36 g.cm<sup>-3</sup>, sendo que os maiores valores foram na camada de 0 – 20 cm e os menores na camada de 40 – 60 cm em todos os pontos. Bono e Macedo (2013) também encontraram valores semelhantes em seus trabalhos realizados em Latossolo Vermelho em áreas de mata. Reinert (2001) afirma que valores de Ds até 1,45 g.cm<sup>-3</sup> são característicos de solos com altos teores de argila (maior que 55% de argila). Vale salientar que os maiores valores de Ds se apresentaram na camada superficial, decrescendo até a camada de 40 – 60 cm, mas na camada de 60 – 80 cm se apresentaram valores superiores aos identificados na camada anterior. Isto pode estar atribuído ao fato da localidade ser área de reflorestamento, em que quando passou pelos processos de preparação do solo para plantio das árvores, teve o solo provavelmente revolvido até a profundidade de 60 cm, por isso a Ds nesta profundidade ser inferior as demais, e ser superior na camada de 60 – 80 cm, que provavelmente não foi atingida durante o processo de preparo do solo no passado.



**Tabela 6** – Dados de Caracterização físico-hídrica do solo para a área 1 – umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), porosidade (P), Macroporosidade (Map) e Microporosidade (Mip).

	<b>Ponto</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b><math>\theta_{pmp}</math> (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>Map (%)</b>	<b>Mip (%)</b>
<b>A</b>		<b>20</b>	25,44	52,8	12,98	39,82
		<b>40</b>	23,87	54,25	16,8	37,44
		<b>60</b>	21,91	59,99	23,61	36,37
		<b>80</b>	23,67	59,24	21,75	37,49
<b>B</b>		<b>20</b>	25,41	51,46	15,3	36,16
		<b>40</b>	23,56	56,04	21,65	34,39
		<b>60</b>	21,8	60,72	25,68	35,04
		<b>80</b>	23,73	57,47	19,1	38,37
<b>C</b>		<b>20</b>	25,42	50,06	12,18	37,88
		<b>40</b>	25,04	53	16,52	36,47
		<b>60</b>	22,41	59,61	24,99	34,62
		<b>80</b>	22,23	59,25	24,52	34,73
<b>D</b>		<b>20</b>	25,02	51,77	15,87	35,9
		<b>40</b>	25,71	52,66	14,93	37,72
		<b>60</b>	22,15	56,9	21,9	35
		<b>80</b>	23,41	57,46	20,4	37,06
<b>E</b>		<b>20</b>	25,59	51,98	16,59	35,4
		<b>40</b>	23,48	54,76	21,09	33,67
		<b>60</b>	25,63	53,11	14,21	38,89
		<b>80</b>	24,74	53,11	15,34	37,77

Ao se analisar os resultados obtidos de condutividade hidráulica do solo saturado, verifica-se notável variabilidade ao se comparar cada ponto e cada camada. Porém, apesar das grandes variações, de acordo com a classificação para Ks proposta por Freire *et al.* (2003), o solo da área 1 possui Ks entre moderadamente rápido e muito rápido. Além disso, do ponto A ao ponto D, os maiores Ks se apresentaram na camada de 40 – 60 cm, e os menores resultados na camada de 0 – 20 cm. Em que, Ks oscilou entre 1,53 e 6,25 m.dia<sup>-1</sup> na camada de 0 – 20 cm, 2,66 e 9,27 m.dia<sup>-1</sup> na camada de 20 – 40 cm, de 4,35 à 9,21 m.dia<sup>-1</sup> na camada de 40 – 60 cm, e entre 1,98 e 9,05 m.dia<sup>-1</sup> na camada de 60 – 80 cm. Vale destacar que no ponto E o maior valor de Ks foi observado na camada de 20 – 40 cm e o menor na camada de 60 – 80 cm. De modo geral, esse comportamento tem o mesmo fundamento explicitado para a densidade do solo, ou seja, por ser uma área de reflorestamento que teve o solo preparado para o plantio, teve as primeiras camadas até 60 cm de profundidade reestruturado, e a partir

dessa profundidade não sofreu alterações, o que pode explicar a Ks nas profundidades superiores ser maior. Já nas camadas mais superficiais (0 – 20 e 20 – 40 cm) podem estar associados a compactação que o solo sofreu ao longo do tempo que ainda pode não ter afetado diretamente a camada de 40 – 60 cm.

Para classificação textural do solo da área de floresta, baseou-se no diagrama do triângulo textural (TT). Pelo TT classificou-se o solo de maneira geral como de textura muito argilosa, com valores de argila em sua grande maioria acima de 60%. Exceto no ponto A, nas camadas entre 0 e 60 cm, onde os teores de argila se concentraram entre 54,35 e 59%, classificado como de textura argilosa.

O volume de poros se concentrou entre 50,1 e 60,7%, o que corrobora com valores obtidos de Ds e com a textura argilosa do solo, já que de acordo com Kiehl (1979) *apud* Costa (2016), solos com altos teores de argila tendem a ser mais porosos, principalmente devido aos maiores volumes de microporos. Fato este que foi identificado em todos os pontos e camadas avaliadas.

#### **4.1.2. Área 2 – Área de Pastagem**

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os dados de caracterização físico-hídrica do solo dos pontos de monitoramento de umidade do solo, em suas respectivas camadas para a área 2.

Tomando como base a Ds para o solo em questão, os maiores resultados foram obtidos nas camadas de 0 – 20 e 20 – 40 cm em todos os pontos. Este fato pode ter sido em decorrência do uso do solo, no caso, pastagem para bovinos que promovem grande compactação do solo principalmente nas camadas mais superficiais devido ao pisoteio.

A Dp permaneceu entre 2,60 e 2,74 g.cm<sup>-3</sup>. Ou seja, apresentou-se próximo aos valores médios comuns para solos tropicais brasileiros, ou seja, próximo a 2,65 g.cm<sup>-3</sup>.

A condutividade hidráulica (Ks) em todo o perfil se apresentou entre moderada e muito lenta segundo classificação adaptada de Freire *et al.* (2003). A Ks em todo o perfil e pontos avaliados se comportou de maneira homogênea, sendo constatado que a maior condutividade foi determinada na camada de 0 – 20 cm, decrescendo até a camada de 60 – 80 cm, onde em toda a área se caracterizou como muito lenta com valores entre 0,002 e 0,003 m.dia<sup>-1</sup>.

A porosidade foi menor nas camadas superficiais e maior nas camadas mais profundas, o que condiz com a densidade do solo, já que a obtenção da porosidade é dado pela relação entre  $D_s$  e  $D_p$ , assim como afirma EMBRAPA (2011).

**Tabela 7** – Dados de caracterização físico-hídrica do solo para a área 2 – Densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ) e condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ).

<b>Ponto</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b><math>D_s</math> (g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b><math>D_p</math> (g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b><math>K_s</math> (m.dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classes de <math>K_s</math></b>
<b>A</b>	<b>20</b>	1,43	2,6	0,032	Lenta
	<b>40</b>	1,53	2,63	0,003	Muito lenta
	<b>60</b>	1,28	2,67	0,002	Muito lenta
	<b>80</b>	1,27	2,7	0,002	Muito lenta
<b>B</b>	<b>20</b>	1,45	2,72	0,598	Moderada
	<b>40</b>	1,52	2,63	0,008	Muito lenta
	<b>60</b>	1,19	2,63	0,002	Muito lenta
	<b>80</b>	1,17	2,65	0,002	Muito lenta
<b>C</b>	<b>20</b>	1,37	2,63	0,681	Moderada
	<b>40</b>	1,47	2,71	0,003	Muito lenta
	<b>60</b>	1,34	2,67	0,002	Muito lenta
	<b>80</b>	1,29	2,71	0,002	Muito lenta
<b>D</b>	<b>20</b>	1,45	2,6	0,066	Lenta
	<b>40</b>	1,45	2,63	0,016	Muito lenta
	<b>60</b>	1,32	2,68	0,001	Muito lenta
	<b>80</b>	1,17	2,7	0,004	Muito lenta
<b>E</b>	<b>20</b>	1,43	2,67	0,668	Moderada
	<b>40</b>	1,44	2,68	0,106	Lenta
	<b>60</b>	1,2	2,67	0,025	Muito lenta
	<b>80</b>	1,26	2,74	0,003	Muito lenta

O solo desta área apresentou em todo o seu perfil uma relação direta entre profundidade e composição de argila, silte e areia. Quanto mais se aprofundou no solo, maiores foram os teores de argila e menores os teores de areia.

De acordo com classificação pelo diagrama do triangulo textural, a camada de 0 – 20 cm pode ser relacionada como de textura franco argilosa arenosa, aonde os teores de areia chegaram a atingir quase 50% em alguns pontos, exceto no ponto C que foi classificado como de textura franco argilosa. A camada de 20 – 40 cm foi classificada como sendo de textura franco argilosa nos pontos A e E, e como argilosa nos pontos B, C e D. A camada 40 – 60 cm nos pontos C e D foi dada como de textura argilosa e nos pontos A, B e E foram classificadas

como textura muito argilosa . E a última camada, de 60 – 80 cm, pode ser classificada como muito argilosa em todos os pontos avaliados.

**Tabela 8** – Dados de caracterização físico-hídrica do solo para a área 2 – Análise textural e matéria orgânica.

Ponto	Prof. (cm)	Análise Textural			Classificação textural	Matéria orgânica (dag.kg <sup>-1</sup> )
		% Argila	% Silte	% Areia		
A	20	28,00	21,70	50,30	Franco argilo arenoso	2,19
	40	37,00	19,35	43,65	Franco argiloso	1,10
	60	61,00	17,50	21,50	Muito argiloso	0,91
	80	62,99	12,36	24,65	Muito argiloso	0,88
B	20	26,00	24,90	49,10	Franco argilo arenoso	2,27
	40	41,97	17,38	40,65	Argiloso	1,18
	60	63,00	11,15	25,85	Muito argiloso	0,81
	80	69,00	6,80	24,20	Muito argiloso	0,66
C	20	39,95	19,95	40,10	Franco argiloso	2,70
	40	49,00	15,95	35,05	Argiloso	1,35
	60	59,00	14,00	27,00	Argiloso	1,10
	80	64,00	13,85	22,15	Muito argiloso	0,69
D	20	34,00	19,60	46,40	Franco argilo arenoso	2,95
	40	44,00	15,05	40,95	Argiloso	1,45
	60	56,00	14,75	29,25	Argiloso	0,86
	80	61,00	14,20	24,80	Muito argiloso	0,67
E	20	31,00	21,05	47,95	Franco argilo arenoso	2,47
	40	39,95	17,55	42,50	Franco argiloso	1,20
	60	52,00	13,95	34,05	Argiloso	1,10
	80	60,50	11,45	28,05	Argiloso	0,97

O parâmetro de umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) apresentou valores na faixa de 16,37% a 25,78%. Foi notável que à medida que se aprofundava no solo, maiores era os resultados obtidos deste parâmetro. Oliveira e Carvalho (2012) abordam que quanto mais argiloso for um solo, maiores serão as  $\theta_{pmp}$ . Os autores citam que solos de textura franco argilo arenoso podem apresentar  $\theta_{pmp}$  entre 15 e 18%, em solos com textura franco argilosa, a  $\theta_{pmp}$  se concentra entre 16% e 18%, e solos com textura argilosa podem apresentar  $\theta_{pmp}$  por volta de 21 a 24%. Avaliando os resultados obtidos para o solo da área de pastagem, é perceptível que os resultados de  $\theta_{pmp}$  apresentaram valores entre as faixas

indicadas ou pelo menos próximos a estes sugeridos por Oliveira e Carvalho (2012), tendo como base a classificação textural do solo.

**Tabela 9** – Dados de Caracterização Físico-Hídrica do solo para a área 2 – Umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), porosidade (P), Macroporosidade (Map) e Microporosidade (Mip).

Ponto	Prof. (cm)	$\theta_{pmp}$ (%)	P (%)	Map (%)	Mip (%)
A	20	16,37	45,19	9,95	35,24
	40	18,65	42,03	5,95	36,08
	60	22,48	52,19	14,66	37,53
	80	23,25	53,20	14,95	38,25
B	20	17,35	46,51	11,69	34,82
	40	20,14	42,07	6,16	35,91
	60	21,34	54,95	17,27	37,68
	80	22,36	55,70	15,26	40,44
C	20	18,38	47,93	15,41	32,52
	40	22,22	45,77	9,88	35,89
	60	23,28	49,82	11,29	38,53
	80	25,78	52,41	13,90	38,51
D	20	18,54	44,38	10,16	34,22
	40	19,90	45,01	9,35	35,66
	60	22,43	50,69	10,81	39,88
	80	22,43	56,64	14,99	41,65
E	20	16,74	46,57	13,21	33,36
	40	17,73	46,26	10,58	35,68
	60	18,63	55,27	14,93	40,34
	80	21,17	54,06	12,98	41,08

Com relação à porosidade, esta se apresentou mais elevada nas camadas profundas, ou seja, nas camadas de 40 – 60 cm e 60 – 80 cm. Estes valores foram condizentes com a textura do solo e principalmente com relação à densidade do solo (Ds), ou seja, quanto mais argiloso for um solo e menor a sua densidade, mais poroso este poderá ser.

## 4.2. Caracterização da umidade no solo

### 4.2.1. Área 1 -Área de floresta

As Tabelas 10 e 11 apresentam as estatísticas descritivas referentes à umidade média do solo para todos os pontos e suas respectivas camadas avaliadas na área estudada para os períodos hidrológicos de 2015/2016 e 2016/2017, e vão subsidiar toda a discussão em torno do comportamento da umidade na área 1.

**Tabela 10** – Dados estatísticos descritivos de umidade do solo em base volumétrica referentes ao período hidrológico de 2015/2016 para a área 1.

	2015 – 2016			Mai/2015 – Set/2015			Out/2015 – Mar/2016			
	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	
A	20	36,57	5,45	14,91	33,34	3,7	11,11	38,75	5,39	13,9
	40	34,63	3,54	10,22	31,99	1,51	4,72	36,41	3,41	9,37
	60	33,24	3,55	10,68	30,84	1,35	4,37	34,86	3,66	10,51
	80	32,86	3,09	9,41	30,49	1,05	3,46	34,45	2,99	8,69
B	20	36,83	5,11	13,88	33,43	3,12	9,35	39,12	4,93	12,6
	40	36,14	4,64	12,83	33,4	3,34	9,99	37,99	4,5	11,83
	60	33,95	3,59	10,56	32,46	2,76	8,51	34,95	3,75	10,73
	80	35,07	3,54	10,1	32,96	3,17	9,63	36,48	3,06	8,39
C	20	37,88	5,77	15,24	32,99	2,86	8,66	41,18	4,83	11,72
	40	38,54	2,99	7,76	36,22	2,54	7,02	40,1	2,15	5,36
	60	32,88	4,11	12,5	32,56	3,74	11,48	33,1	4,36	13,19
	80	32,23	3,5	10,85	30,61	1,07	3,49	33,32	4,11	12,32
D	20	33,83	3,88	11,48	30,81	1,29	4,18	35,86	3,72	10,38
	40	30,89	2,54	8,22	30,29	1,22	4,02	31,29	3,08	9,84
	60	34,32	4,31	12,55	32,61	2,75	8,44	35,48	4,78	13,48
	80	37,14	3,12	8,41	35,99	2,96	8,22	37,91	3,02	7,95
E	20	34,66	4,24	12,25	32,21	2,2	6,82	36,1	4,51	12,49
	40	37,64	4,08	10,85	35,02	2,84	8,12	39,18	3,93	10,03
	60	33,96	2,51	7,38	32,33	1,8	5,57	34,92	2,37	6,8
	80	34,53	2,45	7,09	32,48	1,73	5,31	35,74	1,96	5,5

Na área 1, também denominada como “matinha”, o monitoramento da umidade foi realizado entre maio de 2015 e abril de 2017, assim como explicitado nos gráficos apresentados a seguir, onde estão dispostas as séries históricas da umidade do solo para todas

as camadas monitoradas em cada ponto de monitoramento e a série de eventos chuvosos observados durante o mesmo período na área. Entretanto, a avaliação dos resultados nesta área foi analisada separadamente primeiramente nos período hidrológicos 2015/2016 (FIGURAS 18 a 22) e 2016/2017 (FIGURAS 23 a 27), fragmentando-os em sequência este em outros dois períodos, divididos e período de estiagem (maio a setembro de 2015 e abril a setembro de 2016) e período de chuvas (outubro de 2015 a março de 2016 e outubro de 2016 a março de 2017).

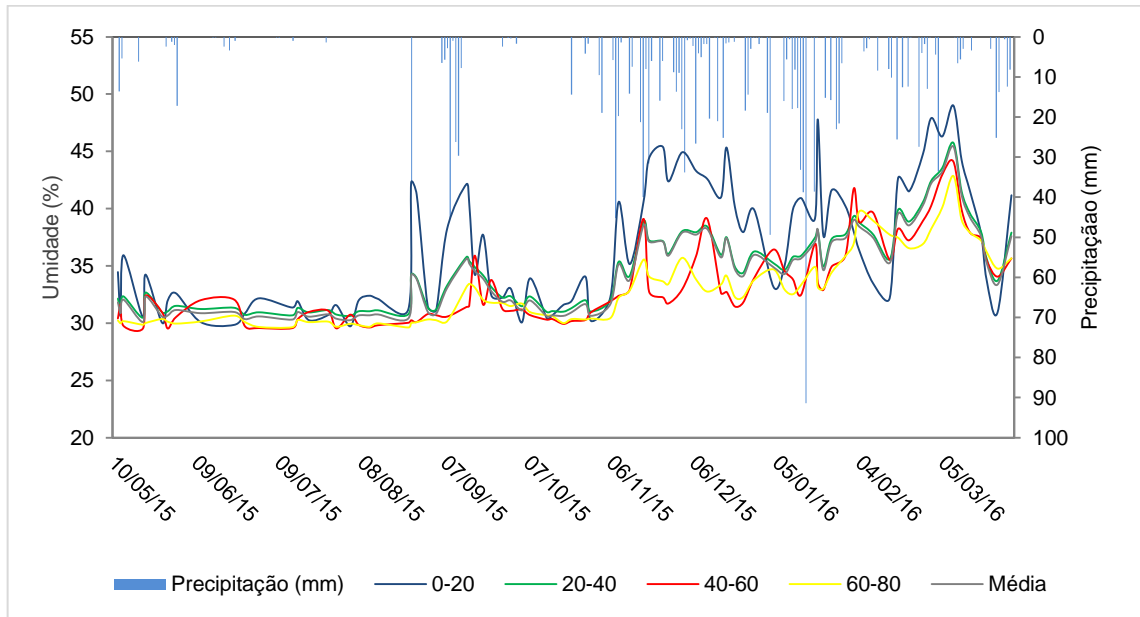
**Tabela 11** – Dados estatísticos descritivos de umidade do solo em base volumétrica referentes ao período hidrológico de 2016/2017 para a área 1.

	2016 – 2017			Abr/2016 – Set/2016			Out/2016 – Mar/17			
	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	
<b>A</b>	20	39,49	5,46	13,84	37,08	4,77	12,85	42,59	4,82	11,32
	40	35,16	4,38	12,46	32,72	3,28	10,04	37,85	4	10,57
	60	34,16	4,11	12,05	31,25	1,83	5,85	37,2	3,8	10,2
	80	36,03	3,05	8,46	34,15	1,89	5,53	37,98	3,01	7,94
<b>B</b>	20	37,22	5,34	14,36	34,25	4,31	12,58	40,52	4,73	11,68
	40	35	4,06	11,6	32,94	2,86	8,69	36,97	4,31	11,65
	60	34,92	3,88	11,1	33,08	2,48	7,5	36,77	4,33	11,79
	80	35,15	3,33	9,47	33,34	2,1	6,3	36,94	3,58	9,69
<b>C</b>	20	37,99	5,07	13,36	34,88	3,98	11,42	41,31	4,25	10,29
	40	39,21	3,27	8,35	37,13	2,44	6,58	41,42	2,78	6,71
	60	33,66	3,64	10,8	32,57	2,75	8,45	35,11	4,06	11,55
	80	31,28	1,22	3,9	30,76	0,85	2,78	31,72	1,37	4,32
<b>D</b>	20	34,07	3,58	10,51	31,81	2,7	8,5	36,19	3,08	8,5
	40	33,27	3,7	11,12	31,73	3,11	9,8	34,34	3,67	10,69
	60	36,17	4,59	12,68	33,46	3,3	9,85	38,13	4,35	11,41
	80	39,28	4,23	10,76	36,47	2,69	7,36	41,37	3,89	9,4
<b>E</b>	20	33,72	3,72	11,02	31,67	2,49	7,87	35,6	3,8	10,66
	40	39,57	3,77	9,52	37,76	3,69	9,78	41,13	3,21	7,79
	60	35,32	2,63	7,45	33,53	1,97	5,88	36,73	2,07	5,63
	80	34,22	1,97	5,76	32,87	1,17	3,55	35,3	1,82	5,16

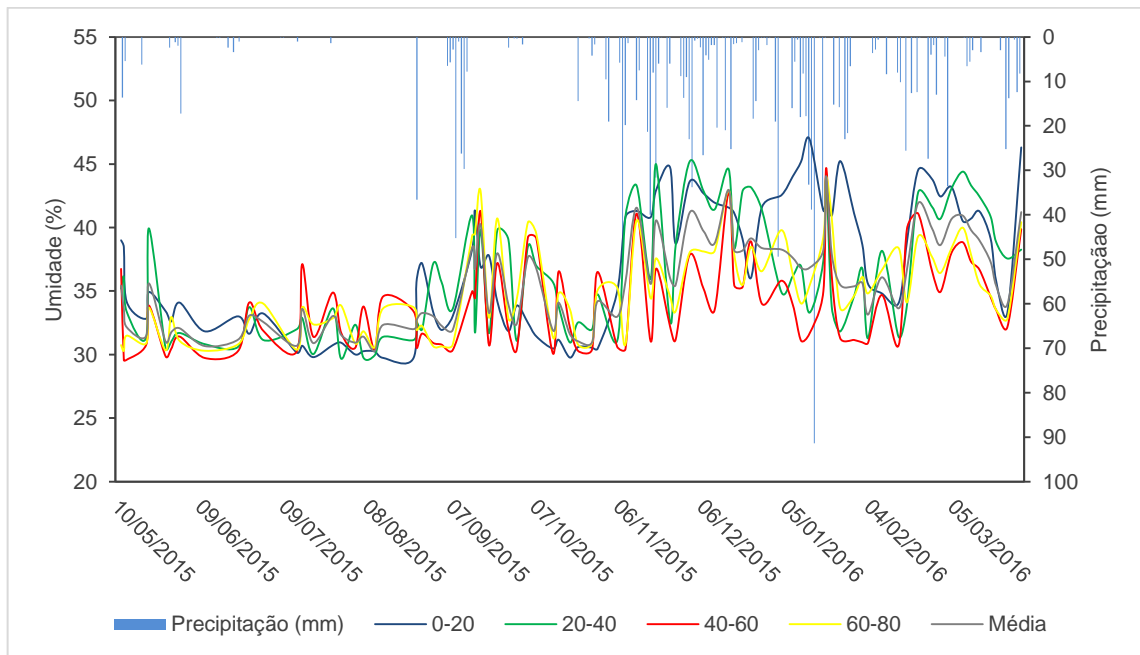
Desta forma, analisando o gráfico para o período de 2015/2016 (FIGURA 18) relativo ao ponto A que está localizado na saia da bacia de acumulação, verifica-se que a camada de 0 – 20 cm apresentou na maioria das avaliações umidade acima da média e a camada de 20 – 40 cm apresentou umidade geralmente próxima à média. As camadas de 40 – 60 cm e de 60 – 80

cm apresentaram menores variações no comportamento da umidade do solo, com valores oscilando próximos do valor médio e seguindo a mesma tendência. Neste ponto a umidade alcançou valores máximos e mínimos de umidade do solo de 49,01% na camada de 0 – 20 cm e de 29,5% na camada de 40 – 60 cm.

**Figura 18** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto A da área 1 por camadas no período de 2015/2016.



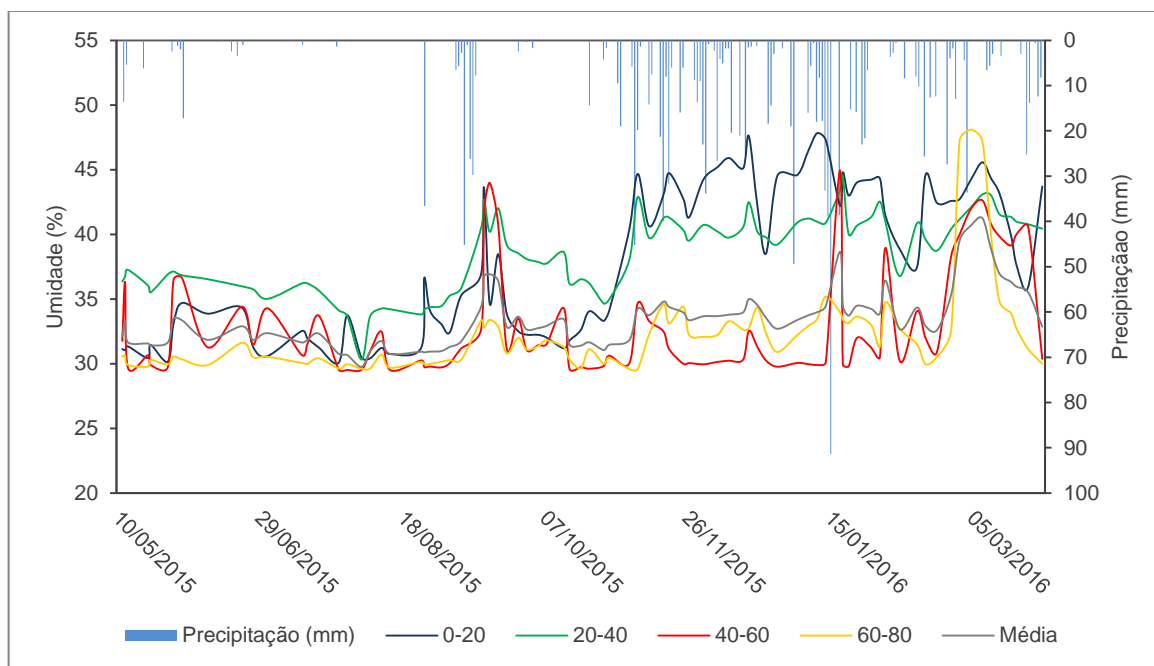
**Figura 19** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto B da área 1 por camadas no período de 2015/2016.





Considerando o ponto B (FIGURA 19), no período hidrológico de 2015/2016, localizado a 1 m da saia da bacia de decantação, verificou-se que as diferentes camadas apresentaram comportamento semelhante e com pouca variação nos valores de umidade em uma mesma avaliação. A camada de 40 – 60 cm foi a que apresentou os menores valores médios de umidade, 32,95% no período de estiagem e 34,95% no fim do período de chuvas.

**Figura 20** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto C da área 1 por camadas no período de 2015/2016.

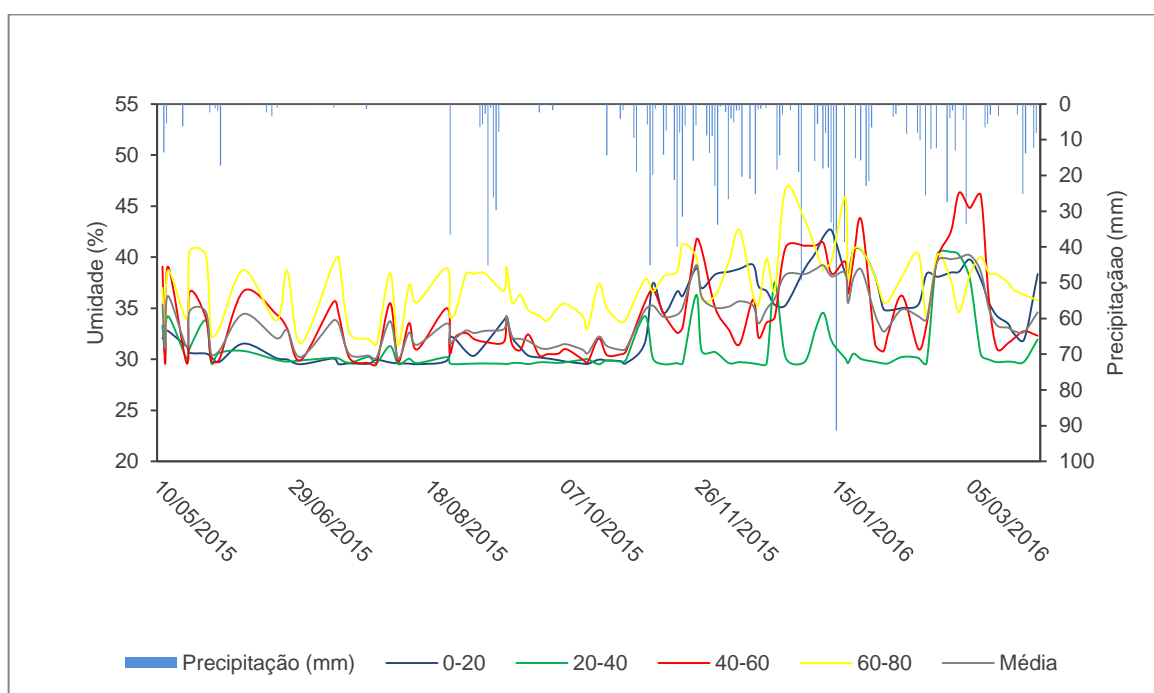


Quando se analisa o ponto C localizado a 3 m da saia da bacia de decantação (FIGURA 20), o comportamento é distinto, neste ponto as camadas de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm foram as que apresentaram, na maioria das avaliações, os maiores valores de umidade do solo, estando seus valores acima do valor médio em muitas avaliações, e a camada de 40 – 60 cm apresentou os menores valores de umidade do solo na maioria das avaliações. De maneira geral, o maior valor encontrado no período de avaliação de 2015/2016 no ponto C foi de 48,03% na camada de 0 – 20 cm e o menor foi de 29,52% na camada de 40 – 60 cm. Sendo que em termos médios, a camada de 40 – 60 cm foi onde ocorreu a menor variação da umidade no período de estiagem para o período de chuvas, ou seja, de 32,56% para 33,10%.

Analisando-se o gráfico da Figura 21, correspondente ao ponto D, localizado a 6 m da saia da bacia de acumulação, verificou-se que este ponto foi o que apresentou as maiores variações de umidade do solo. Sendo que a camada de 60 – 80 cm apresentou maiores teores

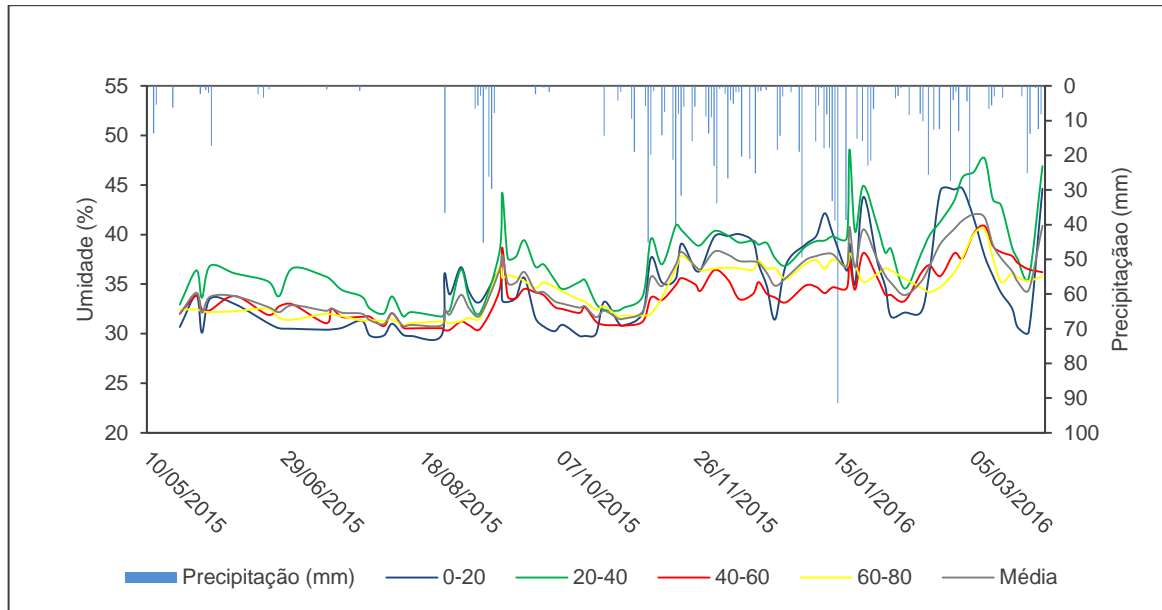
de água no solo na grande maioria das avaliações, e a camada de 20 – 40 cm foi a que, em geral, apresentou os menores teores de água no solo. A maior umidade média levando-se em conta todo o período hidrológico de 2015/2016 foi de 37,14% na camada de 60 – 80 cm, e a menor de 30,89% na camada de 20 – 40 cm. Todavia, também há de se considerar que nestas camadas também foi onde ocorreram as menores variações de DP e CV no ponto D, sendo registrados DP de 3,12% e 2,54%, respectivamente nestas camadas, e CV de 8,41% e 8,22%, nessa ordem.

**Figura 21** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto D da área 1 por camadas no período de 2015/2016.

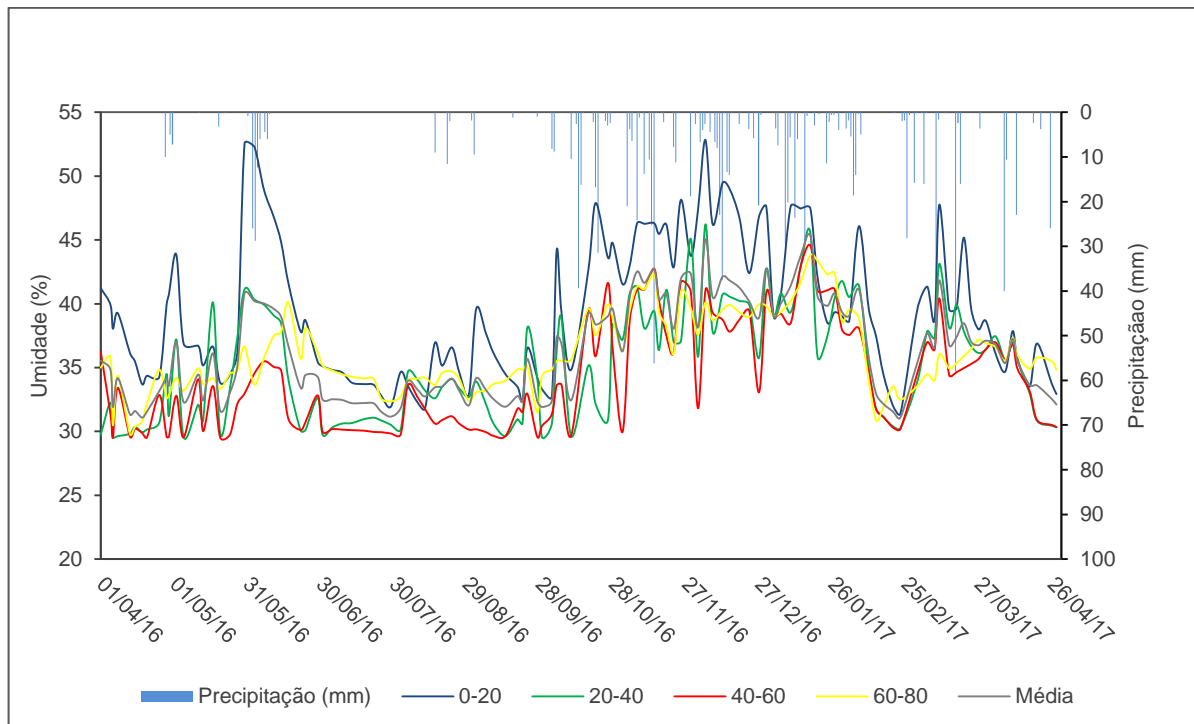


Considerando o ponto E (FIGURA 22), localizado a 10 m da saia da bacia de acumulação, o comportamento da umidade do solo foi praticamente idêntico nas diferentes camadas, divergindo apenas na magnitude dos valores durante o período hidrológico de 2015/2016. O maior valor de umidade alcançado foi de 48,59% na camada de 20 – 40 cm e o menor foi de 29,77% na camada de 0 – 20 cm.

**Figura 22** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto E da área 1 por camadas no período de 2015/2016.



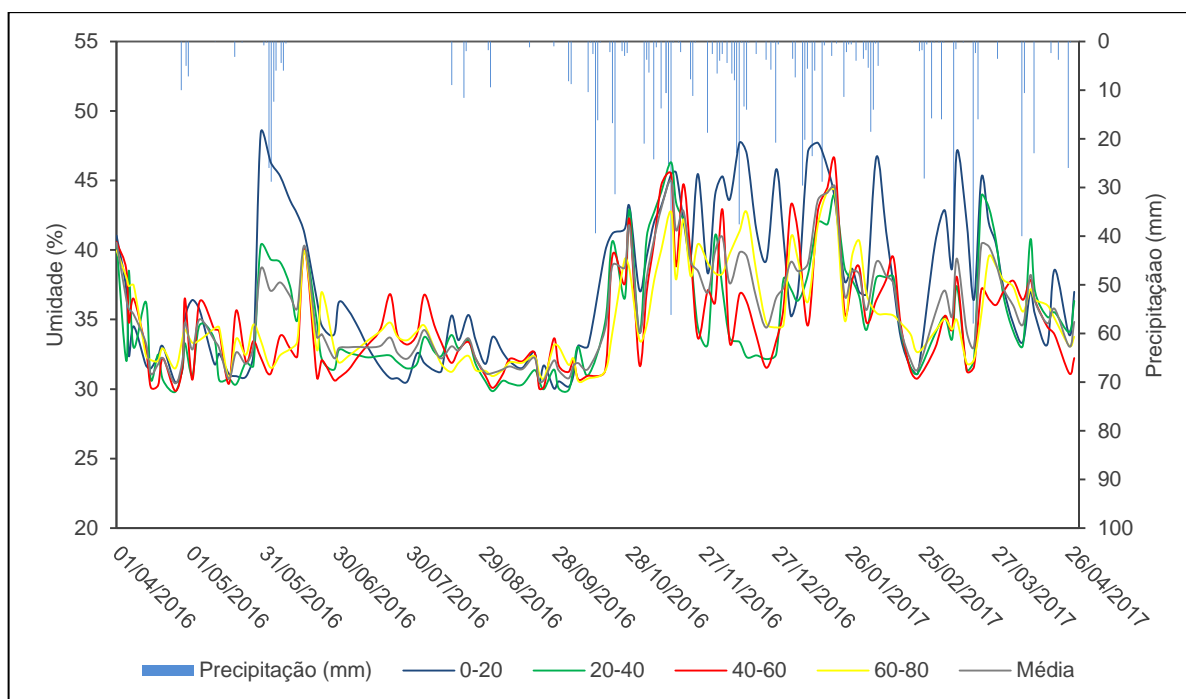
**Figura 23** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto A da área 1 por camadas no período de 2016/2017.



Partindo para análises dos dados obtidos no período hidrológico de 2016/2017, tem-se que nos pontos A e B (FIGURAS 23 e 24), a situação se manteve semelhante ao observado no período de 2015/2016, com as maiores umidades registradas na camada de 0 – 20 cm. Mas

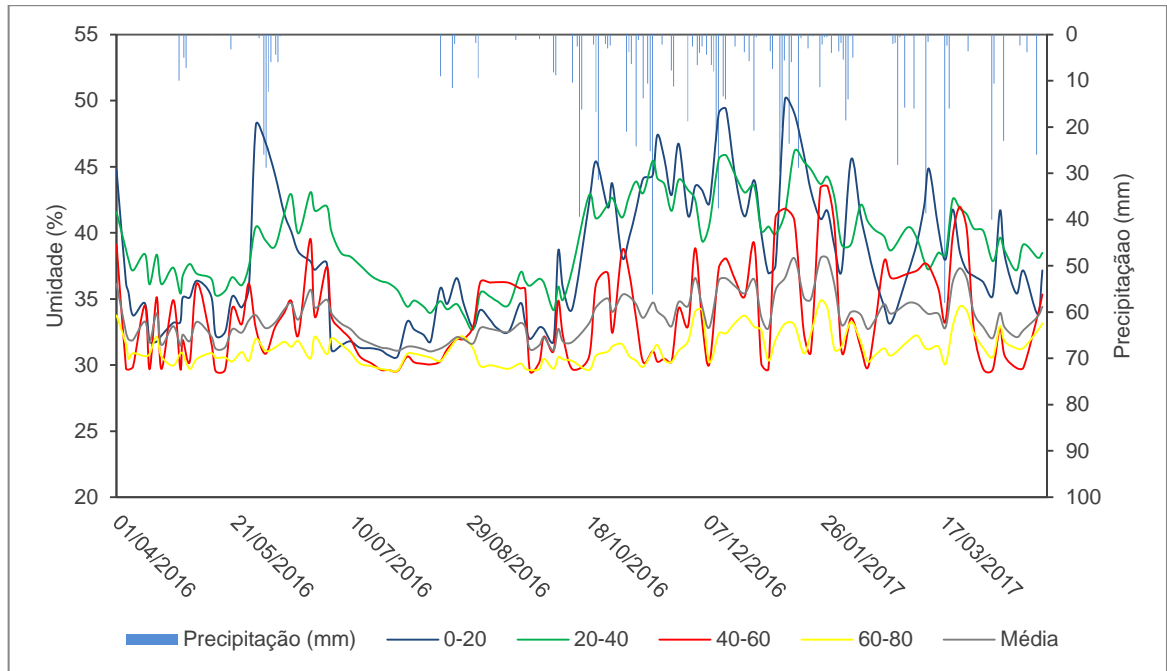
também há de se salientar que nestes dois pontos, a camada de 60 – 80 cm apresentou valores de umidade acima da média geral e superior aos apontados nas camadas de 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, indicando que a bacia de acumulação pode estar influenciando a umidade nesta profundidade. Além disso, percebe-se que o maior valor registrado de umidade no período nestes pontos, foi na data de 02/06/2016 em ambos, e na camada de 0 – 20 cm, com registros de 52,6% e 48,4% nos pontos A e B, respectivamente.

**Figura 24** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto B da área 1 por camadas no período de 2016/2017.

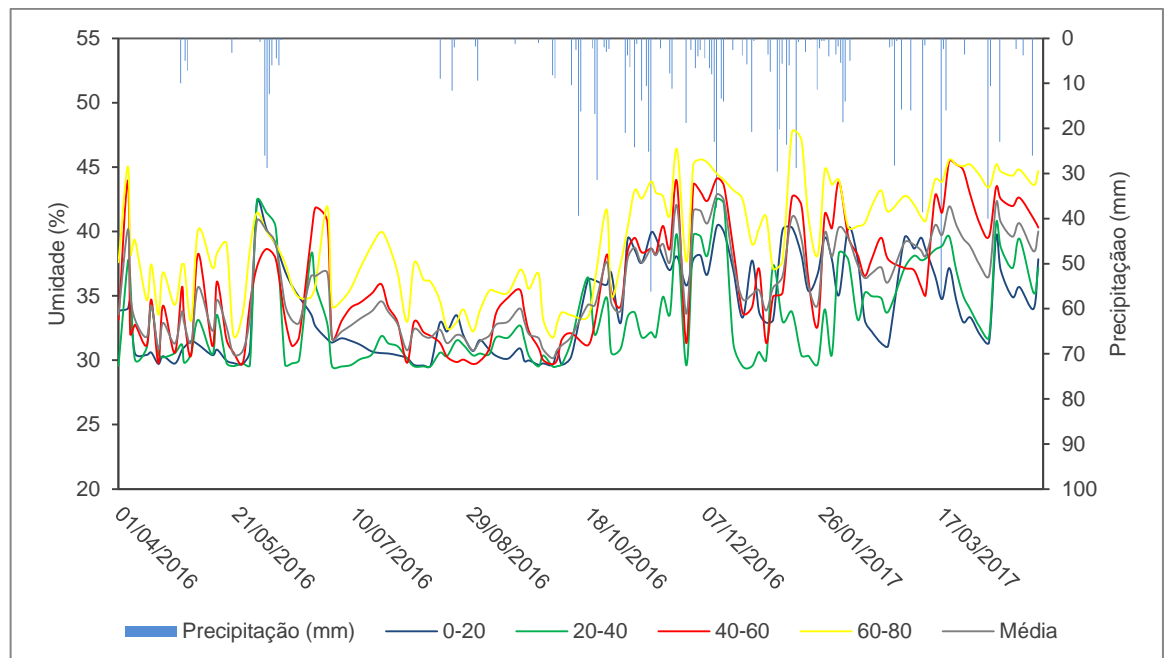


No ponto C (FIGURA 25), localizado a 3 m da saia da bacia de acumulação, a situação registrada se manteve. Com as maiores umidades registradas nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Entretanto, na camada de 60 – 80 cm, os valores registrados estiveram bem abaixo da média geral para o ponto, sendo destacável a questão de que neste período a umidade média se apresentou inferior à registrada para o período de 2015/2016, ou seja, antes a umidade média no solo havia sido de 32,23% e no período de 2016/2017 foi 1,05% inferior ao registrado anteriormente nesta camada. Além disso, esta mesma camada, apresentou apenas +0,44% de diferença entre os valores médios de umidade do período de estiagem para o período de chuvas.

**Figura 25** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto C da área 1 por camadas no período de 2016/2017.



**Figura 26** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto D da área 1 por camadas no período de 2016/2017.

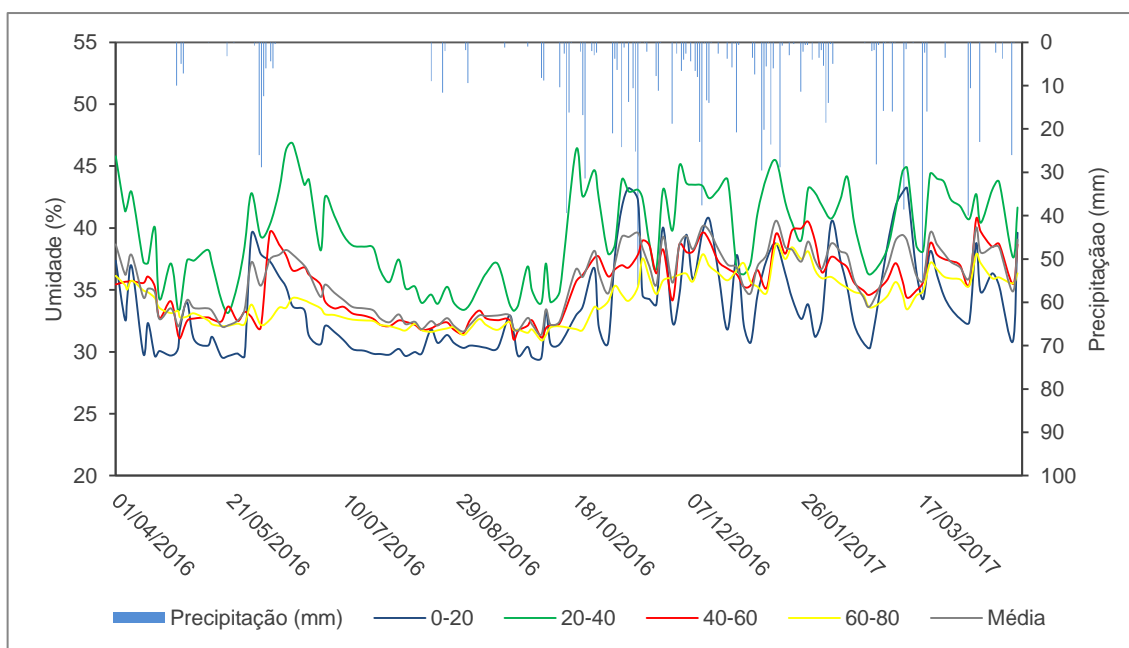


Com relação ao ponto D (FIGURA 26), assim como se constatou no período hidrológico anterior, a umidade na maioria das avaliações esteve maior na camada de 60 – 80 cm, e menor na da camada de 20 – 40 cm. Fato que pode ser verificado ao avaliar a umidade

em termos médios (TABELA 11). Ou seja, na camada de 20 – 40 cm, a umidade média relatada foi de 33,27%, enquanto que na camada de 60 – 80 cm foi de 39,28%.

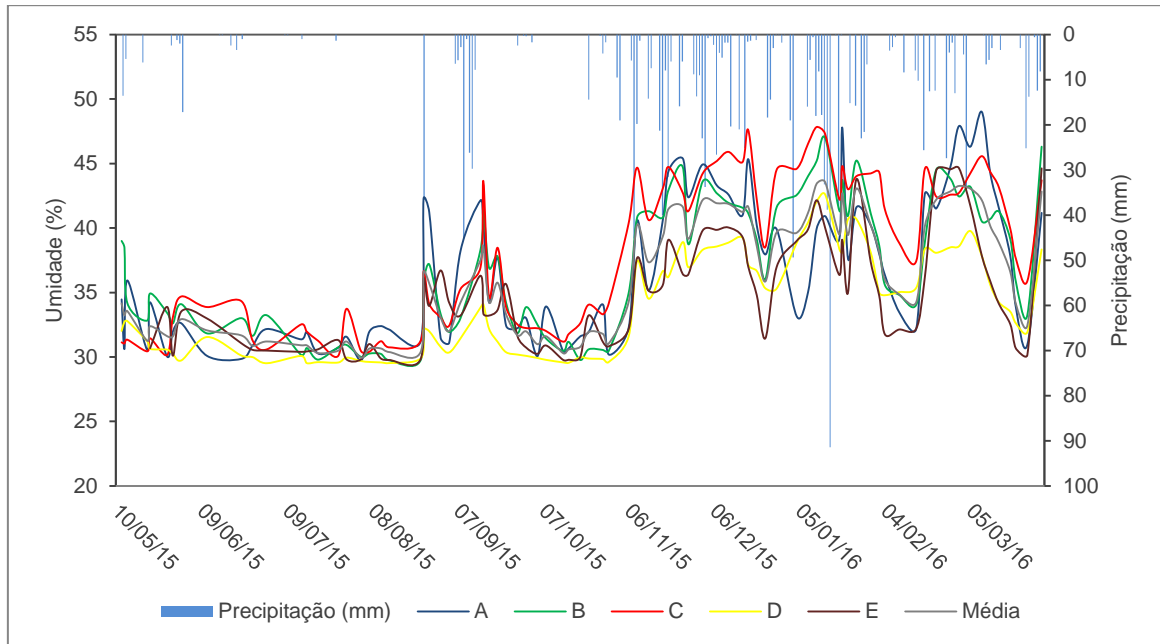
No ponto E (FIGURA 27), a situação se modificou um pouco, apesar dos maiores resultados de umidade no solo continuarem a ser detectados na camada de 20 – 40 cm, entretanto, nas camadas de 0 – 20 cm e 60 – 80 cm, passaram a conservar menos água, fato que se verifica ao comparar os valores médios entre os períodos de 2015/2016 e 2016/2017. Neste caso, a camada de 0 – 20 cm que antes conservava a umidade no solo por volta de 34,66%, teve na avaliação mais recente valores médios de 33,72%, ou seja, 0,94% a menos que o registrado anteriormente. E na camada de 60 – 80 cm, houve redução de 0,31% nos resultados médios de umidade no solo monitorados.

**Figura 27** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto E da área 1 por camadas no período de 2016/2017.

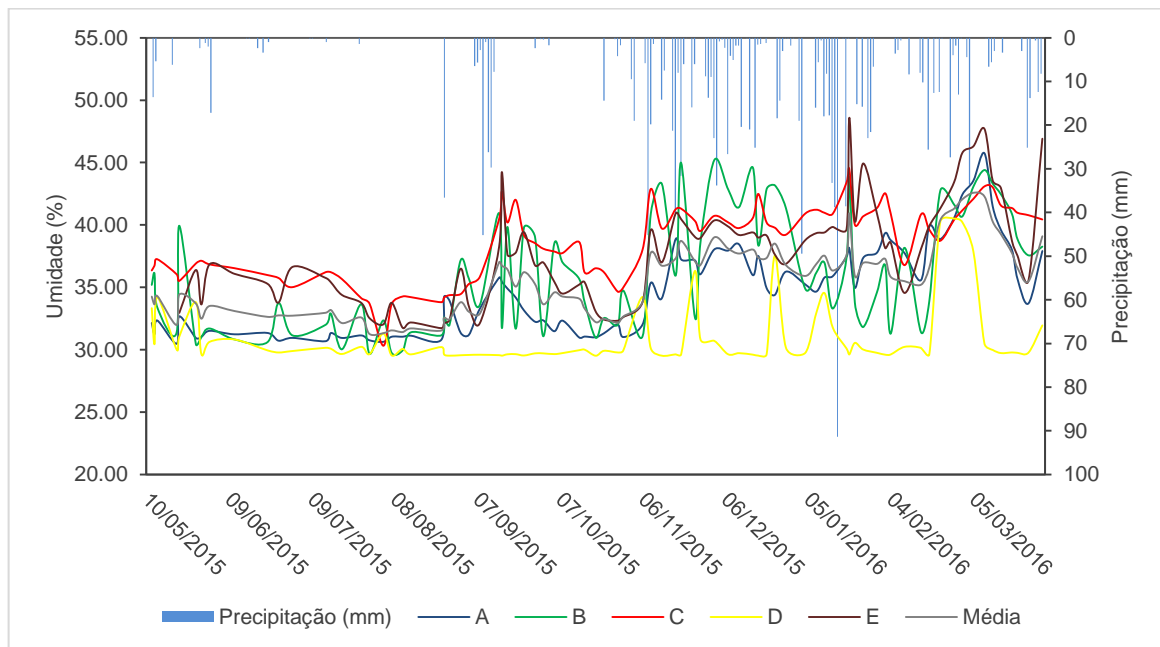


Partindo para uma discussão comparativa entre os dados de umidade no solo por camadas com relação aos dados dos pontos em análise, as Figuras 28 a 31 apresentam os gráficos temporais para o período hidrológico de 2015/2016 e as Figuras 32 a 35 apresentam os gráficos referentes ao período hidrológico de 2016/2017.

**Figura 28** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 0 – 20 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1.



**Figura 29** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 20 – 40 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1.

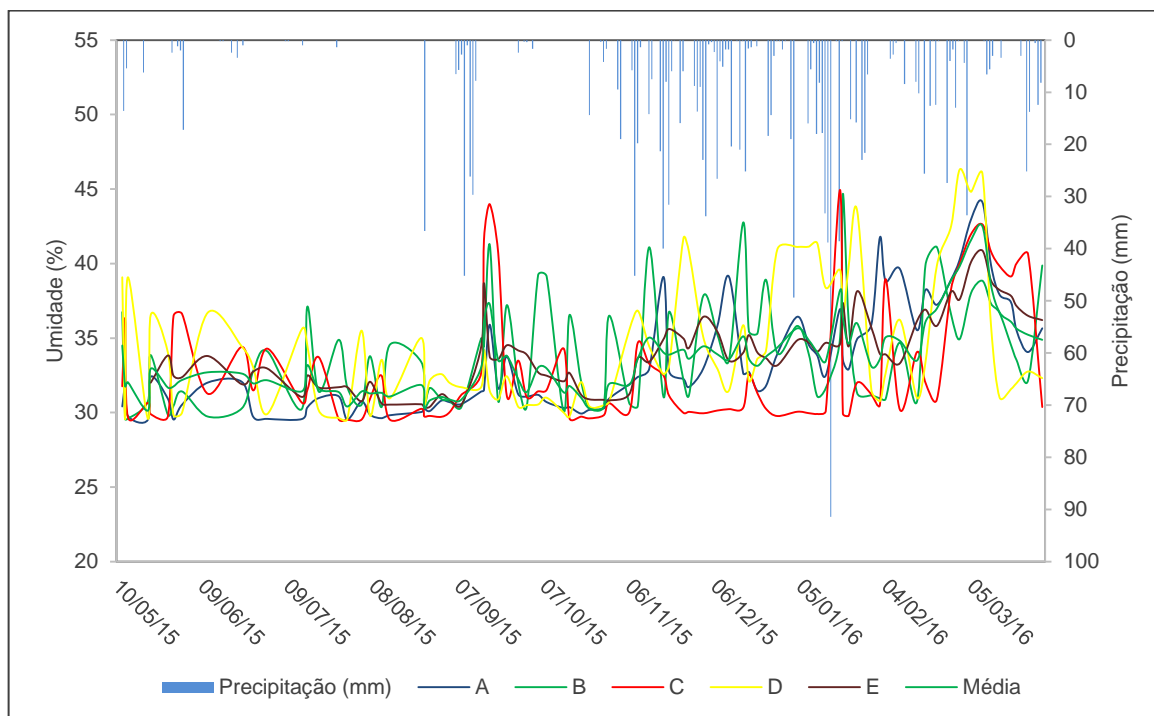


Analisando-se a primeira camada (0 – 20 cm) e a segunda camada (20 – 40 cm) no período hidrológico de 2015/2016, especificamente os gráficos das Figuras 28 e 29, verificou-se que o ponto D, localizado a 6 m da saia da bacia de acumulação foi o que apresentou os menores valores de umidade do solo. Sendo que a umidade média para este ponto foi de

33,83% na camada de 0 – 20 cm e de 30,89% na camada de 20 – 40 cm. Além disso, na Figura 28 há de se notar que o ponto E também apresentou umidade no geral menor na camada de 0 – 20 cm do que nos pontos anteriores, permeando 34,66% com DP de 4,24% e VC de 12,25%. Esta situação pode estar indicando que nestas camadas estes pontos podem estar sofrendo menor efeito da bacia de acumulação do que os pontos anteriores.

No gráfico apresentado na Figura 30, referente à camada de 40 – 60 cm no período hidrológico de 2015/2016, verificou-se que os pontos B, C e E foram os que apresentaram as menores diferenças de valores médios de umidade no solo entre o período de estiagem e o período de chuvas. Neste caso, no ponto B a umidade média entre maio e setembro de 2015 foi de 32,46% e no período chuvoso que corresponde de outubro de 2015 a março de 2016 registrou valores por volta de 34,95%. Já no ponto C, a umidade média do solo no período chuvoso foi apenas 0,49% superior ao registrado no período de estiagem. Enquanto que no ponto E, a umidade apresentou valores médios de 32,33% e 34,92% nos períodos de estiagem e chuvosos, respectivamente.

**Figura 30** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 40 – 60 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1.

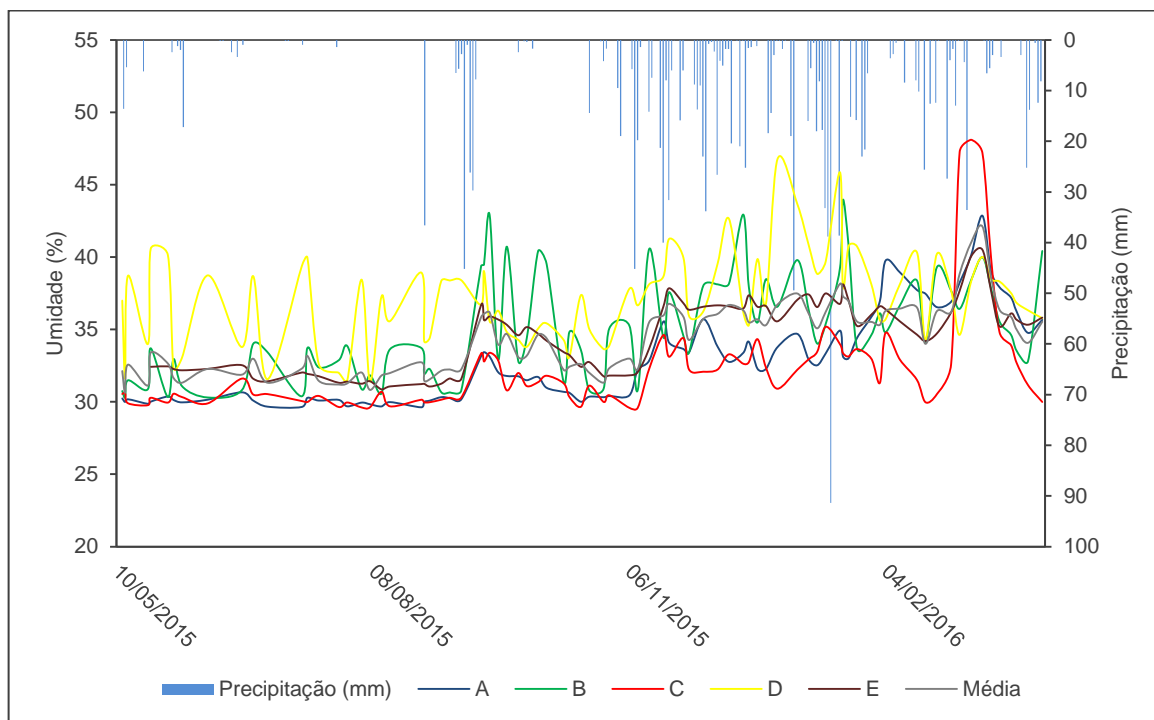


Já na análise do gráfico exposto na Figura 31 (camada de 60 – 80 cm), permite-se constatar que o ponto E, localizado a 10 m da saia da bacia de acumulação, foi o que



apresentou os maiores valores de teor de água no solo, mas também as menores variações em relação aos demais pontos, isto é, umidade média girou em torno de 34,53%, enquanto que o DP foi de 2,45% e o CV de 7,09%.

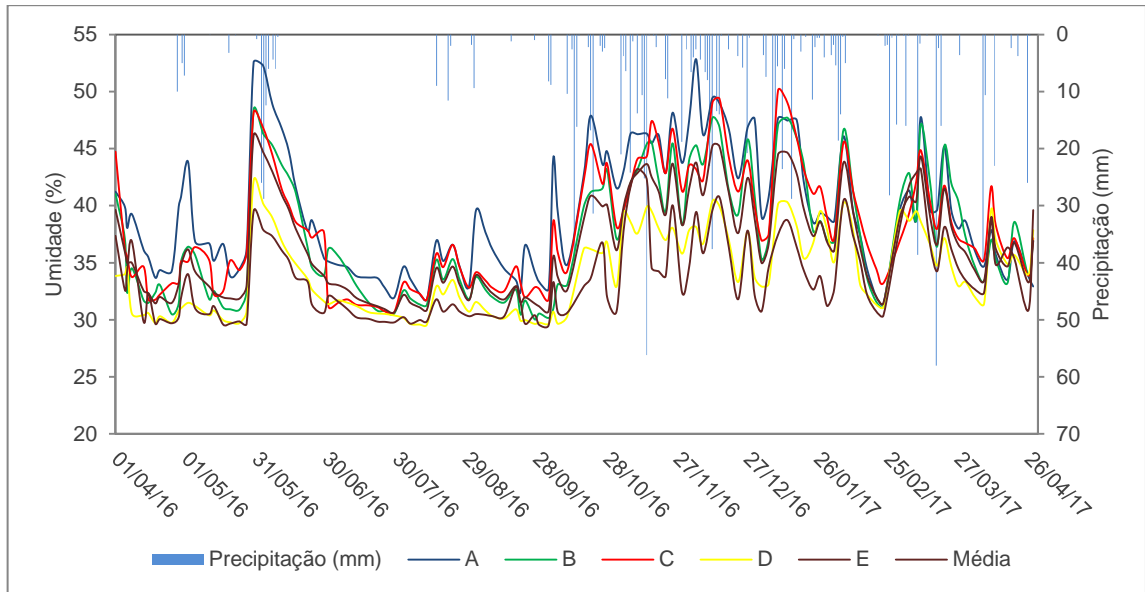
**Figura 31** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 60 – 80 cm de cada ponto instalado no período de 2015/2016 na área 1.



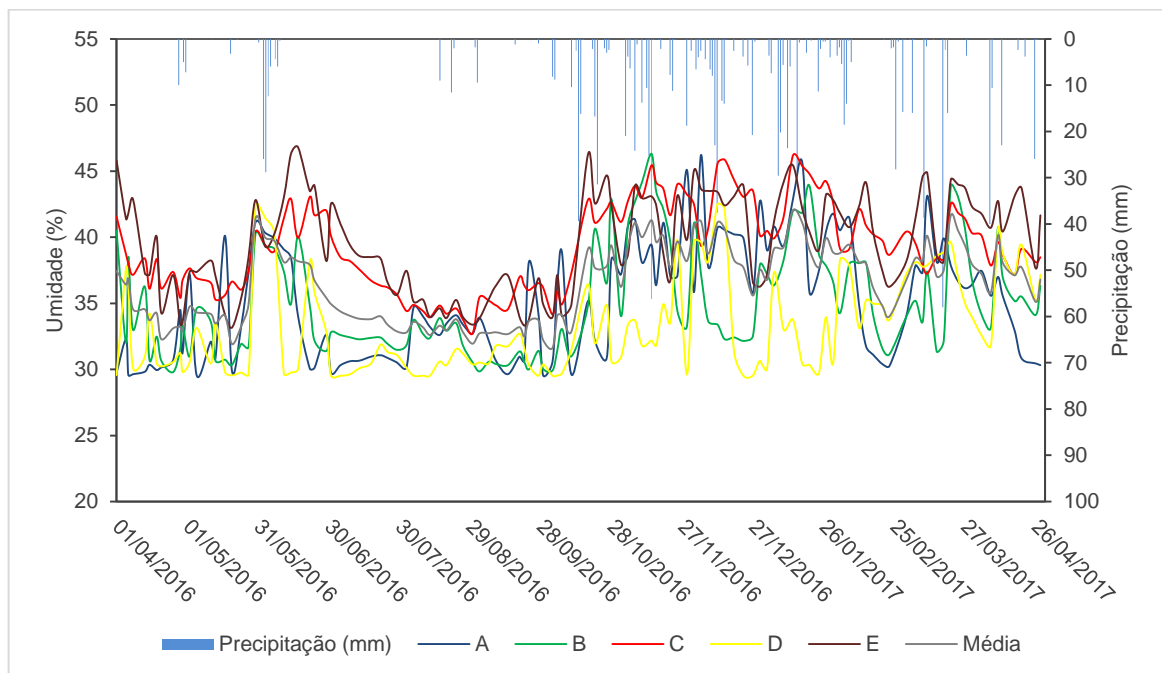
Passando para uma análise dos dados de umidade no solo registrados para o período hidrológico 2016/2017 levando em consideração as camadas, temos os seguintes gráficos apresentados (FIGURAS 32 a 35).

Quando se analisa os dados para a camada de 0 – 20 cm no período de 2016/2017 (FIGURA 32), nota-se que a umidade se comportou de maneira semelhante em todos os pontos, diferindo apenas na magnitude dos dados. Onde os maiores dados de umidade de acordo com valores médios, foram detectados no ponto A localizado na saia da bacia de acumulação, com média para o todo o período acima de 39%, seguido dos pontos B e C que ficam a 1 e 3 m, nesta ordem, da saia da bacia com valores médios entre 37% e 38%, e os menores valores de umidade média registrados nos pontos mais distantes, ou seja, no ponto D, a umidade média foi de 34,07%, enquanto que no ponto E, a média ficou em 33,72%.

**Figura 32** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 0 – 20 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1.



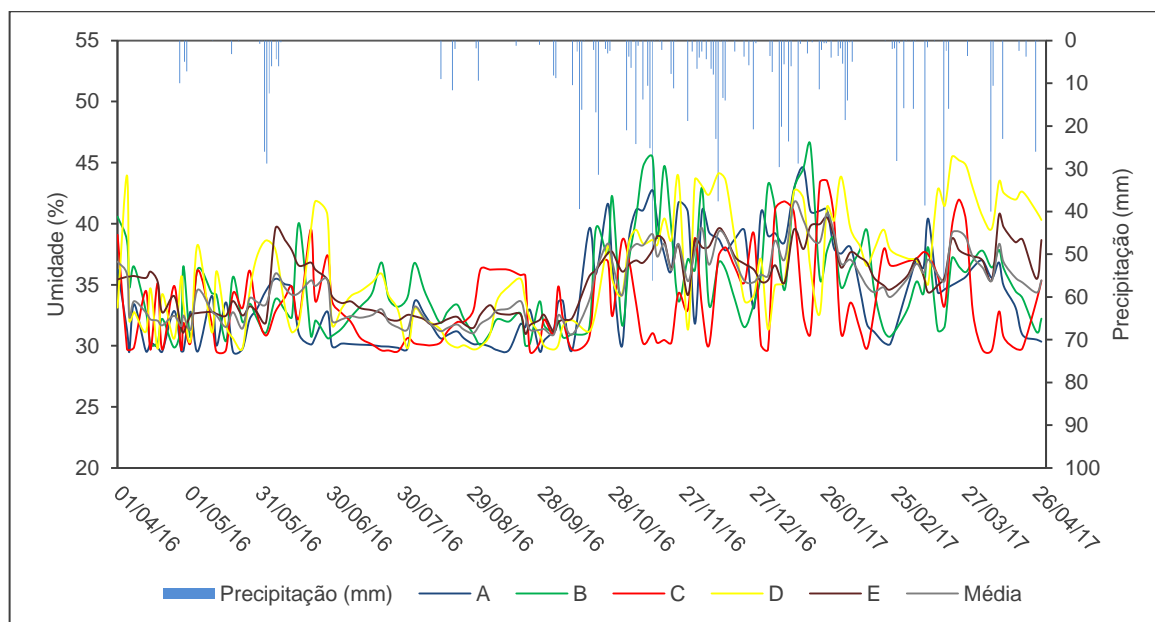
**Figura 33** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 20 – 40 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1.



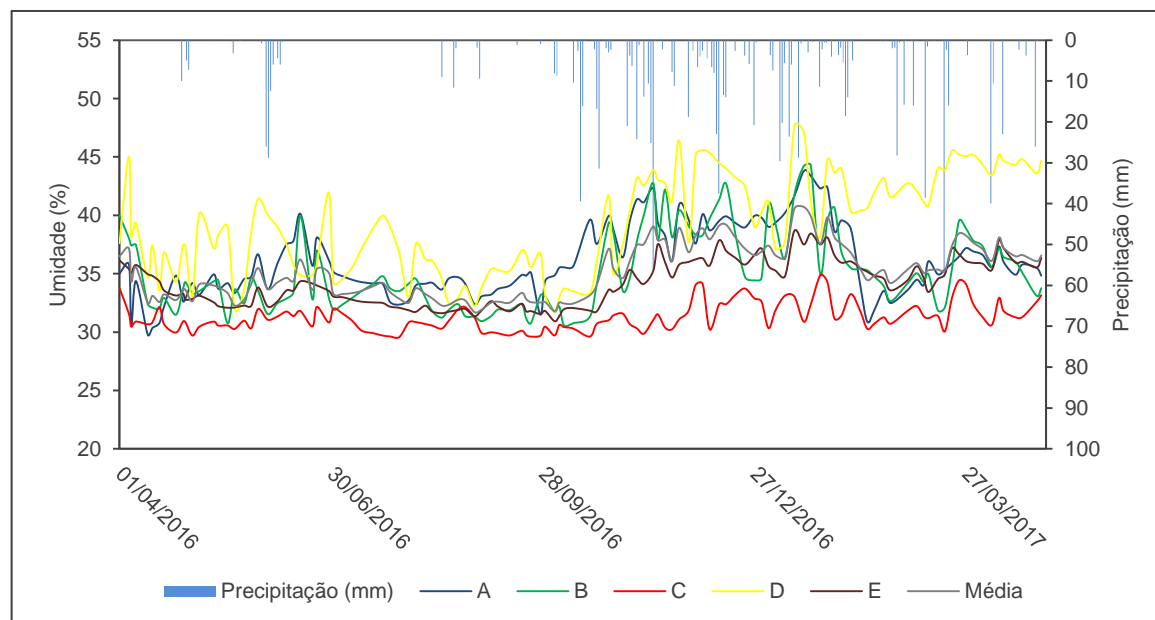
Todavia, quando se analisa a camada de 20 – 40 cm (FIGURA 33), o ponto E que apresentou os menores dados de umidade para a camada superficial (0 – 20 cm), nesta camada foi identificada como a que mais conservou umidade no solo ao longo do período analisado. Em comparação ao período anterior, a umidade média no solo neste ponto (ponto E) e camada

saltou de 37,64% para 39,57%. Enquanto que no ponto B, a umidade em termos médios foi 1,14% menor que a registrada no período de 2015/2016.

**Figura 34** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 40 – 60 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1.



**Figura 35** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 60 – 80 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 1.



Ao se realizar uma avaliação conjunta dos gráficos referentes às camadas de 40 – 60 cm (FIGURA 34) e 60 – 80 cm (FIGURA 35), nota-se que diferentemente do que se observou

no período de 2015/2016, alguns pontos passaram a registrar os menores valores de umidade na camada de 60 – 80 cm. Casos dos pontos A e E, que antes detinham a camada de 40 – 60 cm como as que menos conservavam a umidade no solo no período de 2015/2016. Destacando-se o ponto E, que assim como já foi observado individualmente na discussão sobre o gráfico da Figura 27, registraram-se menores valores médios de umidade no período de 2016/2017 comparados ao período anterior.

De modo geral, quando se analisa os dados médios de umidade do solo para os períodos hidrológicos de 2015/2016 (TABELA 10) e 2016/2017 (TABELA 11), nota-se que em todos os pontos analisados, a umidade no período de chuvas foi maior que a umidade média no período de estiagem, nas duas séries temporais, o que é claramente óbvio devido à influência das precipitações que ocorrem. Todavia, em algumas camadas de alguns pontos, o aumento de umidade de um período para outro quase não foi perceptível, tais como pode-se observar na camada de 20 – 40 cm do ponto D no período de 2015/2016, em que a umidade média apenas se acresceu em 0,4%. E no ponto C na camada de 60 – 80 cm no período hidrológico de 2016/2017, onde o acréscimo foi de apenas 0,96% de um período para o outro.

Quando se compara os resultados médios de umidade entre um período hidrológico e outro, percebe-se que de maneira geral, a umidade média do solo do período de 2015/ 2016 para o período de 2016/2017 se elevou em quase todos os pontos e camadas, como exceção dos pontos B na camada de 20 – 40 cm (-1,15%), ponto C na camada de 60 – 80 cm (-0,95%), e ponto E nas camadas de 0 – 20 cm (-0,94%) e 60 – 80 cm (-0,3%) que relataram valores inferiores aos calculados para a série temporal de 2015/2016.

A questão do aumento da umidade média de um período hidrológico para outro é melhor visível quando se compara os dados das épocas de estiagem de cada período hidrológico. Em que apenas no ponto B na camada de 20 – 40 cm (-0,46%) e no ponto E na camada 0 – 20 cm tiveram dados médios de umidade inferiores aos constatados no primeiro ano de pesquisa. Já no ponto A na camada de 0 – 20 cm e na camada de 60 – 80 cm, relatou-se aumentos de 3,75% e 3,66% respectivamente, de umidade média comparada à época anterior.

Para tanto, ao se observar os dados de desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) calculados e apresentados nas Tabelas 10 e 11 nos dois períodos analisados, e cada um subdividido em duas épocas (estiagem e de chuvas), nota-se que na grande maioria, os dois parâmetros se apresentaram mais elevados nos períodos de chuvas do que nos períodos de estiagem, o que indica dispersões e variabilidades consideráveis nos valores de umidade

monitorados. Porém esta variabilidade nos dados pode estar muito bem associado às características físico-hídricas do solo da área de floresta. Ou seja, assim como já foi apresentado na Tabela 4, a condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) para o solo em questão foi considerada entre moderadamente rápida, rápida e muito rápida nos pontos e camadas avaliadas, ou seja, como a  $K_s$  do local é alta, isto favorece a rápida troca de água entre as camadas de solo, mais especificamente, a água tem se infiltra com maior velocidade na área toda em questão, o que justifica a grande variação da umidade principalmente nos períodos de chuva.

Outro fato relevante sobre a série temporal de umidade coletada durante todo o período se diz respeito aos dados avaliados anteriormente de umidade de ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ). Ao se comparar toda a série temporal de dados, não se identificou em momento algum, valores de umidade abaixo das  $\theta_{pmp}$  obtidas para área. Por exemplo, no ponto D, na camada de 20 – 40 cm no período de 2015/2016, a menor umidade registrada foi de 29,4%, enquanto que a  $\theta_{pmp}$  determinada para o ponto e camada foi de 22,15%, ou no ponto E na camada de 0 – 20 cm, em a que  $\theta_{pmp}$  foi de 25,59%, o menor valor de umidade registrado foi de 29,55%.

Essas constatações relacionadas à  $\theta_{pmp}$  podem estar atreladas a classe textural argilosa e muito argilosa do solo, que de acordo com Kiehl (1979) *apud* Costa (2016) tendem a reter mais água no solo, devido à alta microporosidade. Assim como pode ter contribuição da bacia de acumulação, principalmente após eventos de chuva.

#### **4.2.2. Área 2 –Área de pastagem**

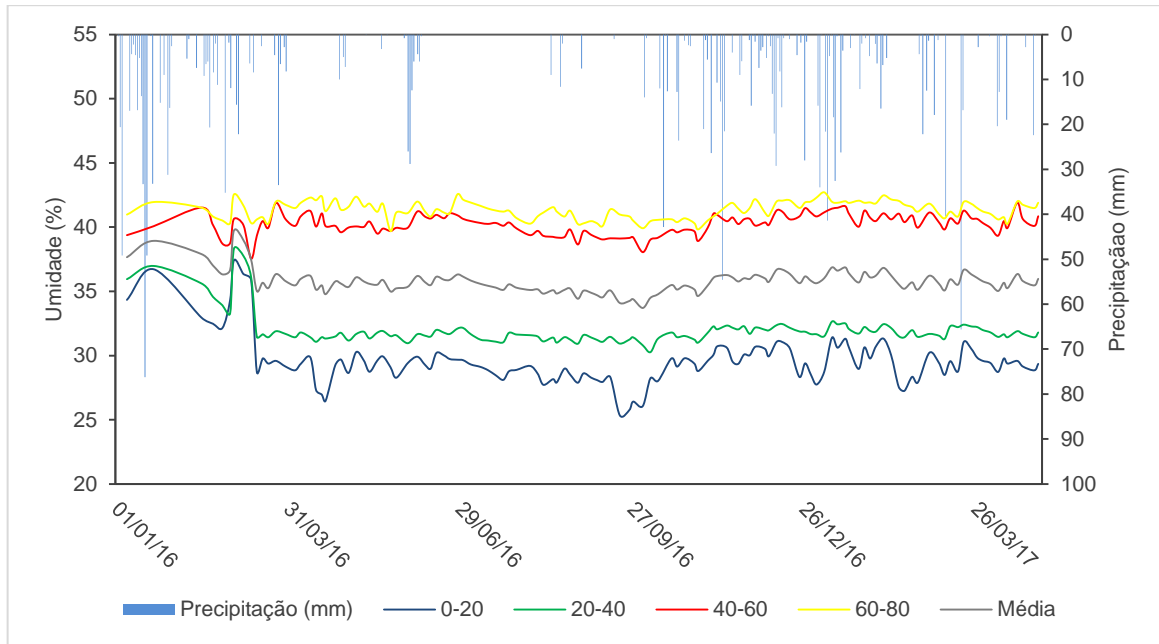
Na área 2, também denominada como área de pastagem, o monitoramento da umidade foi realizado de janeiro de 2016 a abril de 2017, assim como explicitado nos gráficos abaixo (FIGURAS 35 a 39) que apresentam as séries históricas da umidade do solo para todas as camadas monitoradas em cada ponto de monitoramento e a série de eventos chuvosos observados durante o mesmo período na área. Todavia, as avaliações dos resultados foram melhores analisados no período hidrológico 2016/2017, fragmentando estes em outros dois períodos posteriormente. No caso, o primeiro entre abril e setembro de 2016, caracterizado como um período de estiagem (baixos índices de precipitação), e o segundo entre outubro de 2016 e março de 2017, identificado como período de chuvas (altos índices de precipitação).

Em complemento a discussão, na Tabela 12 é apresentado as estatísticas descritivas referentes à umidade média do solo para todos os pontos e suas respectivas camadas avaliadas na área estudada.

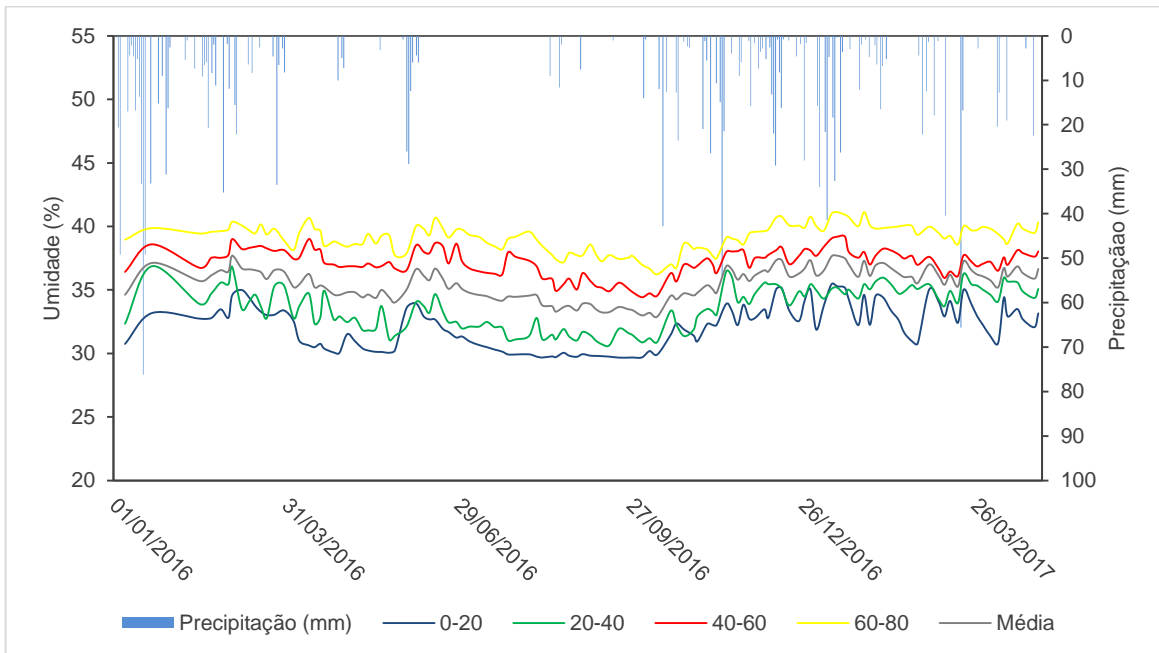
**Tabela 12** – Dados estatísticos descritivos de umidade do solo em base volumétrica referentes ao período hidrológico de 2016/2017 para a área 2.

	2016 – 2017			Abr/2016 – Set/2016			Out/2016 – Mar/2017			
	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	
<b>A</b>	<b>20</b>	29,57	1,92	6,5	28,67	1,11	3,89	32,16	2,22	6,9
	<b>40</b>	31,98	1,26	3,93	31,46	0,67	1,67	36,39	2,44	6,72
	<b>60</b>	40,23	0,8	1,99	39,99	0,66	1,6	40,51	0,74	1,82
	<b>80</b>	41,33	0,68	1,64	41,28	0,31	0,99	41,44	0,68	1,65
<b>B</b>	<b>20</b>	32,07	1,73	5,39	30,64	1,11	3,58	32,59	2,25	6,91
	<b>40</b>	33,61	1,66	4,93	32,24	1,1	3,31	33,98	2,22	6,55
	<b>60</b>	37,19	1,08	2,91	36,77	1,07	3,02	37,32	1,22	3,1
	<b>80</b>	39,15	1,05	2,69	38,72	0,9	2,33	39,36	1,05	2,81
<b>C</b>	<b>20</b>	31,53	1,71	5,43	30,22	1,12	3,71	32,16	1,63	4,89
	<b>40</b>	32,64	1,6	4,91	31,47	0,95	3,03	33,39	1,38	4,29
	<b>60</b>	33,32	1,2	3,59	32,33	0,72	2,24	33,78	0,9	2,67
	<b>80</b>	39,47	0,77	1,95	39,27	0,68	1,73	39,6	0,9	2,28
<b>D</b>	<b>20</b>	32,7	1,99	6,09	31,23	1,36	4,36	33,41	2,42	7,25
	<b>40</b>	33,92	1,5	4,39	33,24	1,13	3,4	34,13	2,14	6,19
	<b>60</b>	34,3	1,11	3,26	33,56	1,03	3,07	34,61	1,11	3,26
	<b>80</b>	38,13	0,93	2,44	38	0,83	2,17	38,07	1,02	2,69
<b>E</b>	<b>20</b>	31,51	1,62	5,15	30,51	1,21	3,66	31,66	2,27	7,17
	<b>40</b>	33,65	1,45	4,3	33,02	1,01	3,31	33,42	2,09	6,25
	<b>60</b>	34,35	1,45	4,22	34,07	0,81	2,37	34,24	1,11	2,88
	<b>80</b>	38,37	1,09	2,85	37,94	0,74	1,94	38,44	0,7	2,04

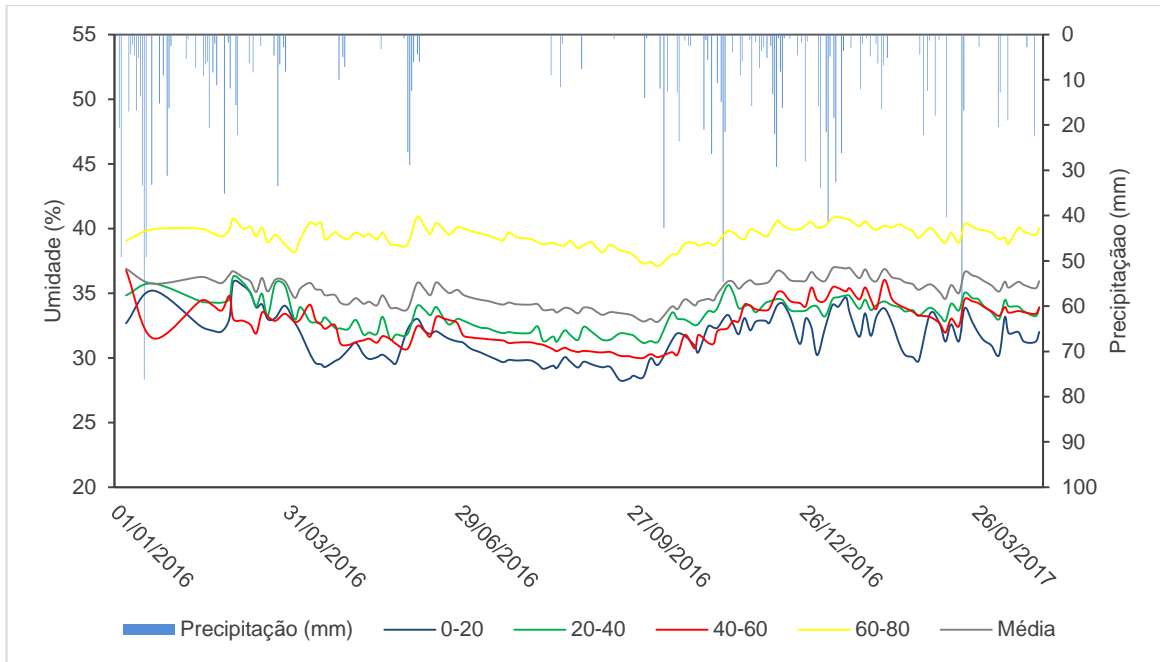
**Figura 36** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto A da área 2 por camadas no período de 2016/2017.



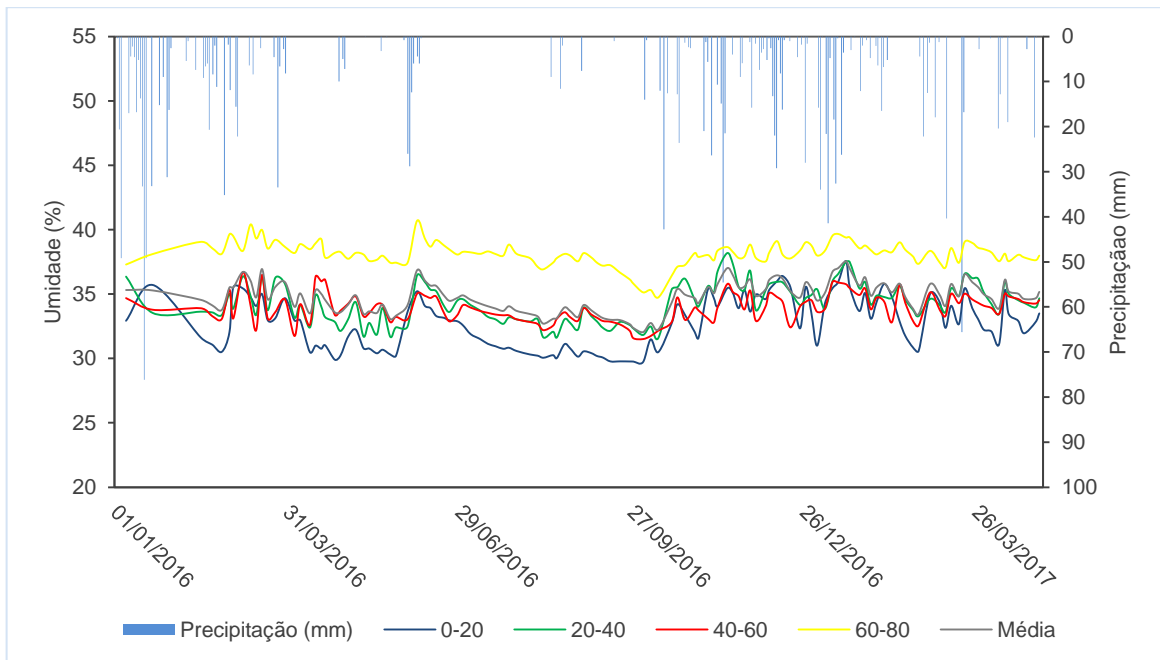
**Figura 37** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto B da área 2 por camadas no período de 2016/2017.



**Figura 38** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto C da área 2 por camadas no período de 2016/2017.

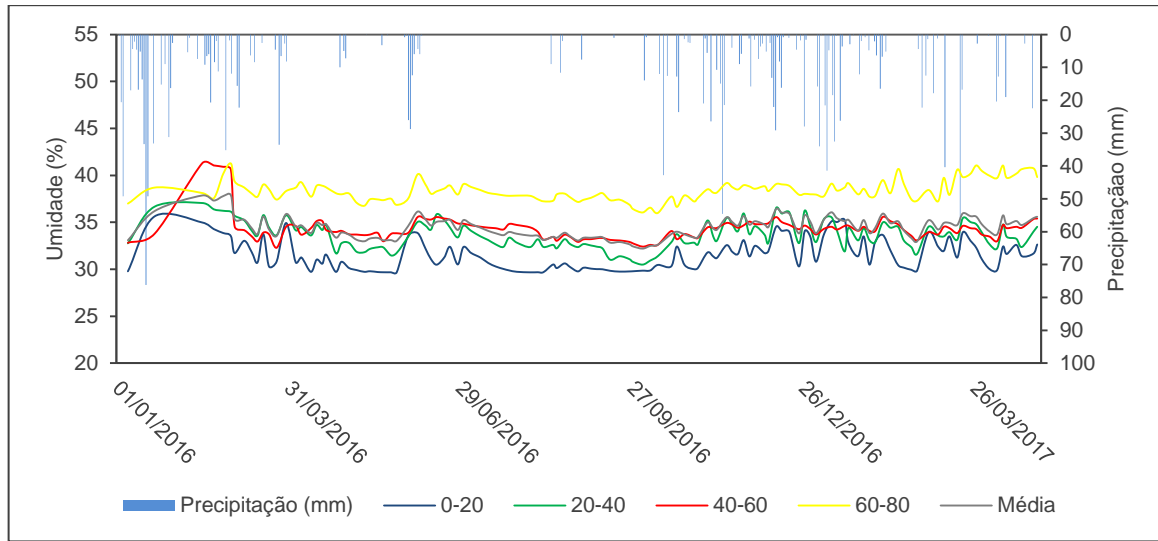


**Figura 39** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto D da área 2 por camadas no período de 2016/2017.



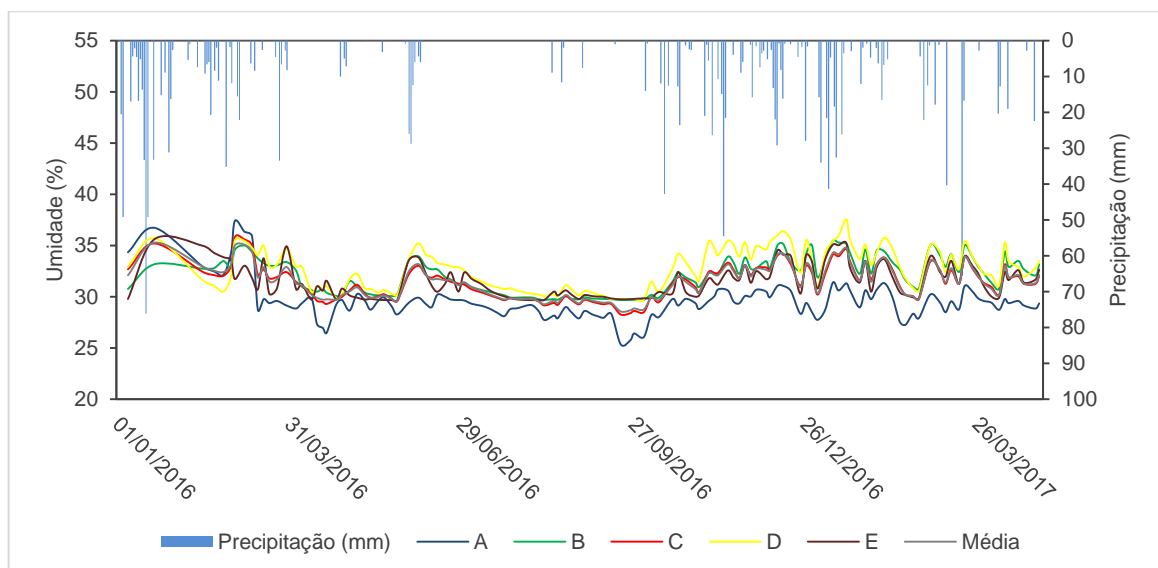


**Figura 40** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica no ponto E da área 2 por camadas no período de 2016/2017.

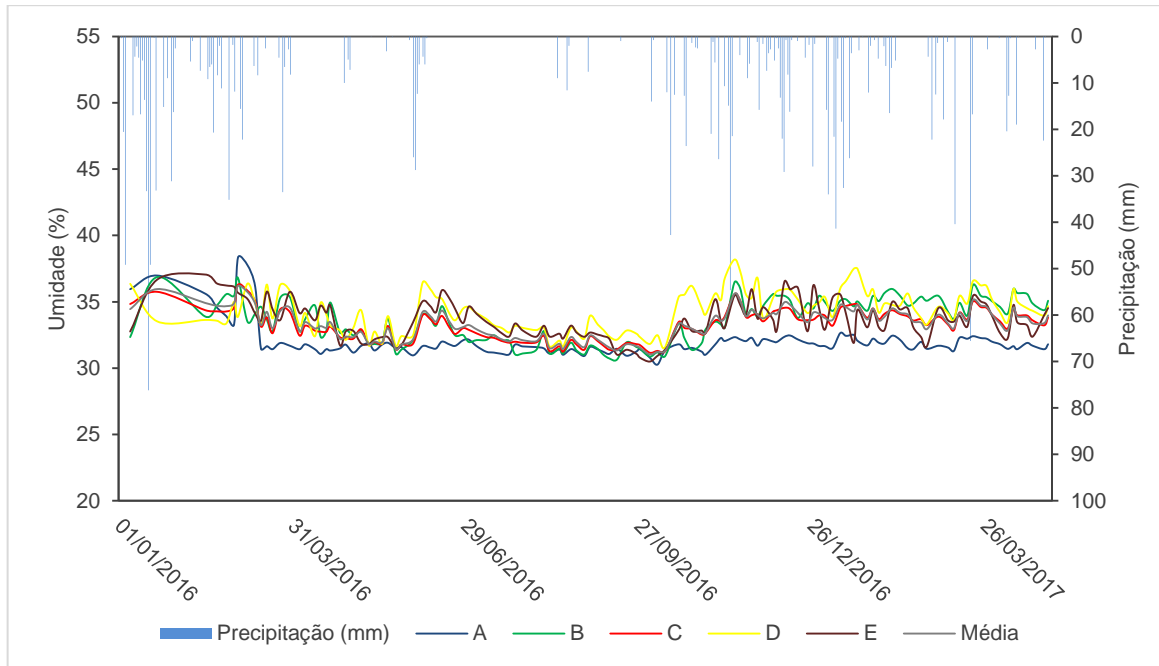


Analisando todo o perfil em questão, foi notável que o comportamento da umidade no solo ocorreu de maneira crescente em relação à profundidade, ou seja, quanto mais se aprofundou no solo, mais úmido estava. E esta situação está mais evidente nos gráficos (FIGURAS 41 a 44) que apresentaram as séries temporais de umidade do solo por camadas. Por exemplo, durante todo o período, as umidades médias registradas no ponto A foram de 29,57%, 31,98%, 40,23% e 41,33% nas camadas de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm e 60 – 80 cm, respectivamente.

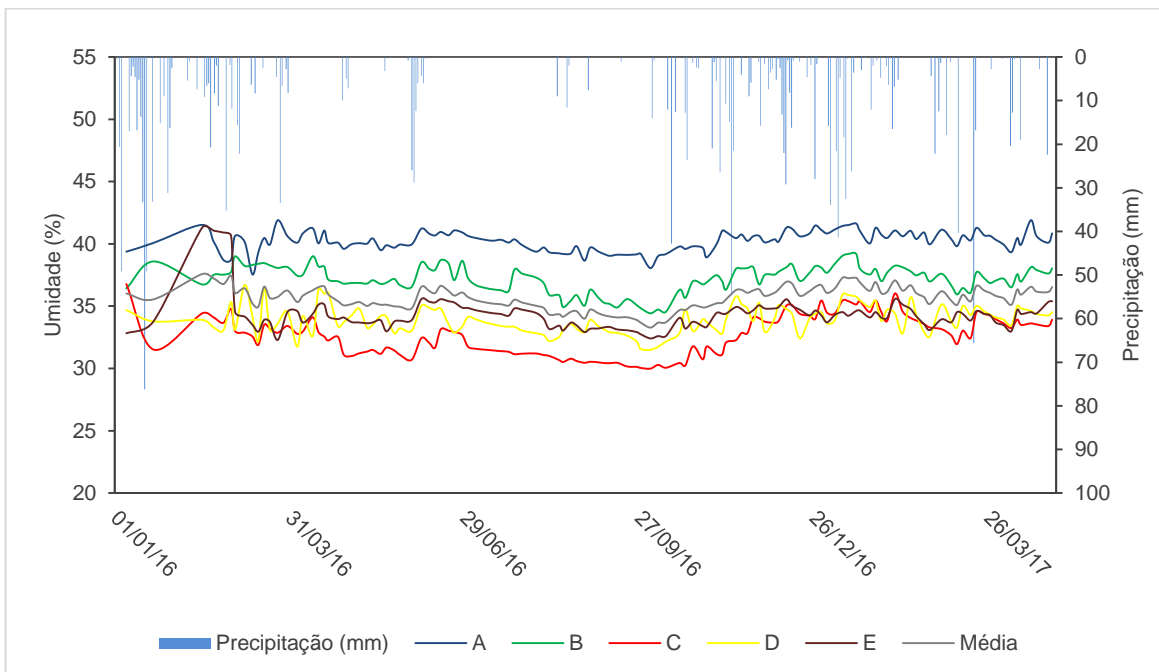
**Figura 41** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 0 – 20 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2.



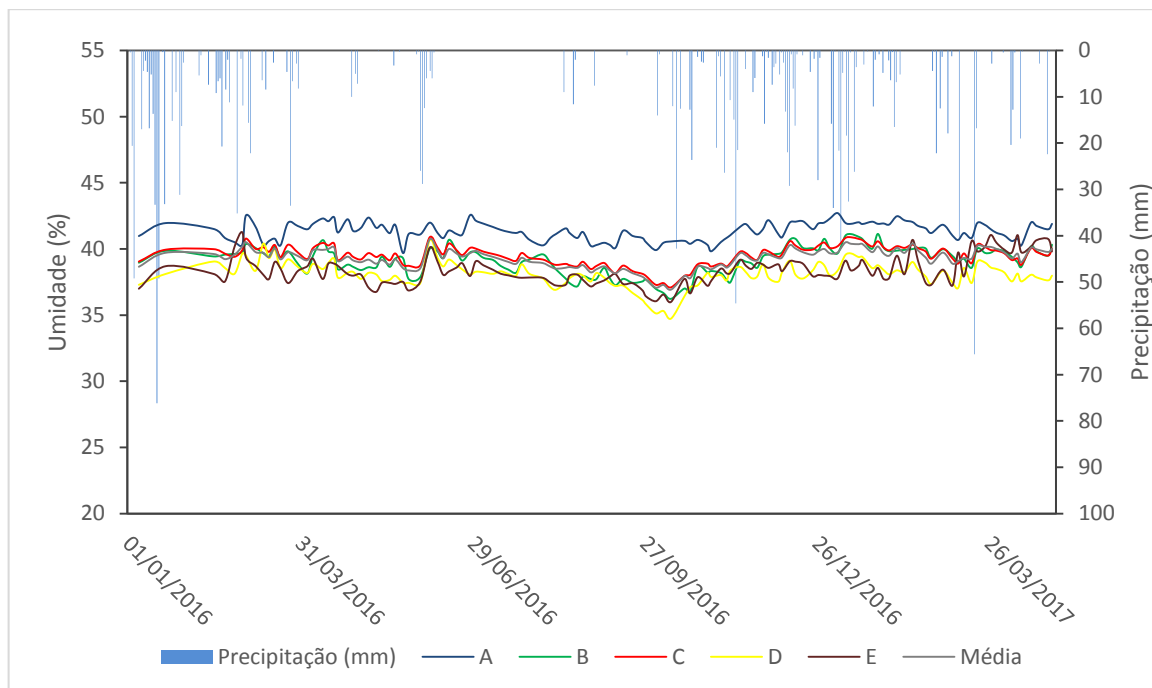
**Figura 42** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 20 – 40 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2.



**Figura 43** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 40 – 60 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2.



**Figura 44** – Série temporal de umidade do solo em base volumétrica na camada de 60 – 80 cm de cada ponto instalado no período de 2016/2017 na área 2.



Ainda se baseando nos gráficos apresentados, percebe-se também a grande flutuação dos dados de umidade do solo no período estudado para as camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Estas camadas apresentam como característica uma rápida resposta aos eventos chuvosos. Gao e Shao (2012) afirmaram que os processos de ascensão capilar, percolação e infiltração também atuam significativamente na variabilidade temporal da umidade no perfil do solo.

Além disso, esta flutuação ficou mais clara ao se analisar os valores estatísticos de CV e DP, que foram maiores para as camadas superiores, tanto na avaliação do período de monitoramento como um todo, quanto na avaliação separada dos períodos de chuva e estiagem. Já nas camadas inferiores, estes dados foram menores de maneira geral. A título de exemplo, no ponto D os valores de DP foram de 1,99%, 1,5%, 1,11% e 0,93% nas camadas de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm e 60 – 80 cm, respectivamente, e os valores de CV foram 6,09%, 4,39%, 3,26% e 2,44% nas mesmas camadas citadas anteriormente.

Em acréscimo, fica corroborado este comportamento da umidade no solo, ao levar em consideração também os dados de caracterização físico-hídrica que já foram anteriormente abordados. Onde, eles demonstraram que as camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm apresentaram maior condutividade hidráulica ( $K_s$ ), maiores resultados de densidade do solo ( $D_s$ ), e textura entre franco argilo arenosa, franco argilosa ou argilosa. Já as camadas mais profundas, apresentaram resultados inversos para  $D_s$  e  $K_s$ , com textura entre argilosa e muito

argilosa. Além de ser uma área de pastagem cultivada por brachiária (*Brachiaria decumbens*) que pode estar promovendo a maior retirada da água do solo nas primeiras camadas. Ou seja, resultados que evidenciam a relação da umidade no solo em questão.

Analisando os dados obtidos separados por períodos, ou seja, para o período de estiagem e para o período de chuvas, claramente identificou-se que os dados médios de umidade no período de estiagem em comparação ao período de chuvas foram inferiores, assim como os dados de DP e CV, fato que se deve a natural escassez de precipitação no primeiro período.

Fazendo uma análise comparativa individualmente dos resultados em cada ponto e camada, foi perceptível que nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm ocorreram as maiores diferenças de dados médios de umidade entre o período de estiagem e o período de chuvas (TABELA 12), com variação máxima de 4,29% na camada de 20 – 40 cm no ponto A. As menores variações foram obtidas nas camadas de 40 – 60 cm e 60 – 80 cm entre os períodos, com variação mínima na camada de 0,07% no ponto D, na camada de 60 – 80 cm.

A título de exemplo, no ponto B a umidade média foi de 28,65% na camada de 0 – 20 cm no período de estiagem e no período de chuvas foi de 32,16% com, ou seja, variação de 3,51%. Na camada de 20 – 40 cm, os valores de umidade foram de 31,45% e 36,39% nos períodos de estiagem e chuva respectivamente, com a variação sendo de 4,94%. Já as camadas mais profundas apresentaram variações de 0,53% e 0,18%, nas camadas de 40 – 60 cm e 60 – 80 cm, respectivamente.

#### **4.3. Avaliação de Eventos Isolados – Associação de ocorrência de altos índices de precipitação seguidos de longos períodos de estiagem**

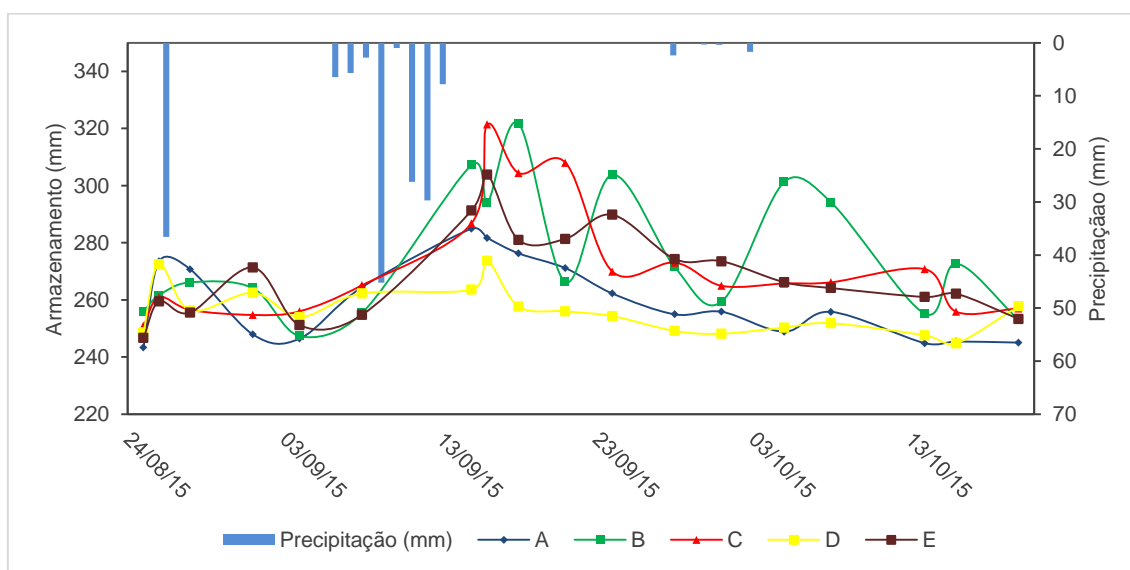
Para verificar a possibilidade da água que se armazena nas bacias de acumulação após a ocorrência de precipitações está se infiltrando e se movimentando ao longo do perfil do solo (pontos avaliados) fizeram-se análises de eventos isolados. Ou seja, durante o período de monitoramento, foram identificados eventos de precipitação seguidos de um longo período de estiagem, objetivando avaliar o comportamento da água armazenada no solo durante este período, caracterizar um possível movimento da água em decorrência da existência da bacia de acumulação.

### 4.3.1. Área 1 - Área de Floresta

Visando a avaliação do comportamento do movimento da água no solo na área 1 em decorrência da presença de uma bacia de acumulação, realizou-se a avaliação de dois eventos isolados para a área em questão.

O primeiro evento observado foi entre 25/08/2015 e 20/10/2015, período em que houve duas ocorrências de grandes volumes precipitados seguidos de 40 dias sem grandes eventos de precipitação. A Figura 45 e a Tabela 13 apresentam de forma gráfica e numérica o volume de água armazenado no solo, definido pelo somatório da umidade medida em cada camada vezes a sua profundidade, em função do tempo de monitoramento da umidade. Além disso, a Figura 45 também apresenta os índices de precipitação ocorridos no mesmo intervalo de tempo.

**Figura 45** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 25/08/2015 a 20/10/2015 no perfil de pontos de monitoramento da umidade do solo na área 1.



A primeira ocorrência de chuva de alta intensidade neste intervalo ocorreu no dia 26/08/2015 com acumulados de 36,6 mm, seguido de 10 dias de estiagem. Foi perceptível, que no monitoramento dois dias após a precipitação, os volumes de água armazenado no solo decaíram consideravelmente nos pontos C, D e E, possivelmente decorrentes da alta permeabilidade do solo ( $K_s$ ). Mas no ponto A, apesar da redução, foi mais contida, apenas 1,01% em relação ao monitoramento anterior, já no ponto B o volume de água aumentou em

1,71%. Fatos que podem estar associados a primeiras levadas de infiltração das águas armazenadas na bacia de acumulação.

**Tabela 13** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 25/08/2015 a 20/10/2015 na área 1.

Data	Armazenamento dá água no solo (mm)				
	A	B	C	D	E
25/08/2015	243,4	256	250,9	268,1	246,7
26/08/2015	273,4	261,6	261	253,1	259,5
28/08/2015	270,7	266,2	256,5	256,2	255,6
01/09/2015	248	264,1	254,8	262,5	271,4
04/09/2015	246,5	258,2	256	260,6	260,3
08/09/2015	264,5	255,5	265,2	262,3	254,8
15/09/2015	285	307,2	286,9	263,6	291,4
16/09/2015	281,7	294	321,4	273,7	303,9
18/09/2015	276,3	321,8	304,4	257,7	281
21/09/2015	271,1	266,3	308,1	256	281,4
24/09/2015	262,3	303,8	269,9	254,3	289,8
28/09/2015	255	271,4	273,1	249,2	274,3
01/10/2015	255,9	259,5	264,9	248,2	273,6
05/10/2015	248,9	301,3	265,8	250,3	266,2
08/10/2015	255,8	294,1	266,2	251,8	264,2
14/10/2015	244,9	255,2	270,8	247,6	261
16/10/2015	245,4	272,7	255,9	244,8	262,2
20/10/2015	245,1	253	257	257,8	253,4

No monitoramento posterior, em 01/09/2015, foi perceptível uma redução mais acentuada da água armazenada no ponto A, de 270,70 mm para 247,95 mm. No ponto B, o volume de água no solo basicamente se manteve, com redução de apenas 0,76%, assim como no ponto C, onde o volume de água no solo era de 256,5 mm na data anterior e se reduziu a 254,76 mm. Todavia nos pontos D e E, o armazenamento de água aumentou, com acréscimos volumétricos de 2,40% e 5,81% da água no solo nos respectivos pontos. Esta situação que pode indicar a continuidade da infiltração da água que antes estava armazenada na região dos pontos A e B para as áreas sequenciais.

Com a ocorrência do segundo evento de chuvas no período de 06/09/2016 a 13/09/2016, em que a precipitação acumulada foi de 124,9 mm, houve novamente a recarga natural das camadas do solo e devidamente observado no monitoramento realizado após esse evento.

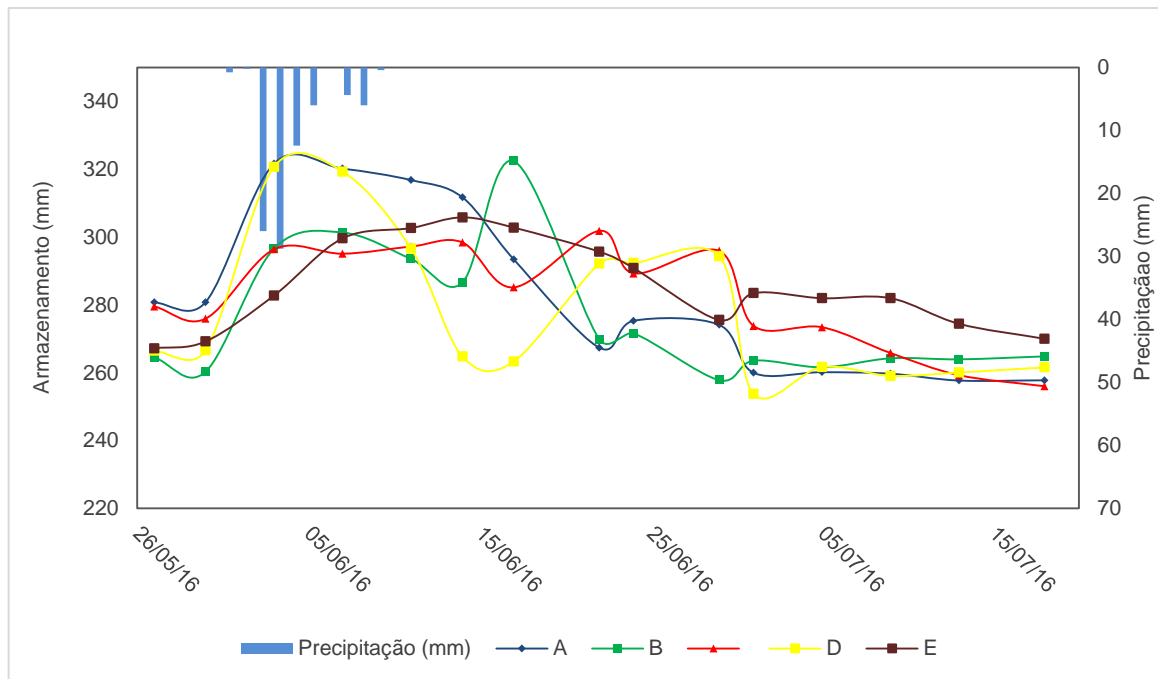
Dando continuidade as observações, nos dados obtidos no monitoramento de 16/09/2015, notou-se que o volume de água nos pontos A e B se encontram menor novamente, mas nos pontos C, D e E eram maiores, ou seja, elevações de 10,75%, 3,7% e 4,12% do volume de água em relação ao monitoramento anterior. Esse comportamento foi semelhante ao ocorrido entre o primeiro e segundo evento de chuvas, dando a entender novamente que possa ter havido infiltração de água armazenada na bacia de acumulação, já que a alta condutividade hidráulica de saturação do solo pode ter sido fator primordial para rápida infiltração da água acumulada para os pontos C, D e E.

Nos monitoramentos posteriores, as oscilações nos volumes de água armazenada no solo continuaram a acontecer. Isto é, com a elevação da umidade nos primeiros pontos em uma determinada data, e na posterior análise, a redução desses volumes, mas a elevação dos volumes armazenados nos pontos mais longínquos nas coletas de dados subsequentes. Todavia, este ciclo passa a acontecer de uma forma um pouco mais lenta, visto que em uma determinada data ocorre à elevação da água armazenada principalmente no ponto B, já no monitoramento em sequência a região do ponto C tem seu volume de água acrescido e na data subsequente de análise o acréscimo de água armazenada acontece na região do ponto E.

Para averiguar se o fenômeno continua a acontecer, um segundo evento foi avaliado. Definido entre 27/05/2016 e 18/07/2016, nesse período também foi possível identificar a movimentação da água no solo de modo semelhante. A Figura 46 de modo gráfico e a Tabela 14 em forma numérica apresentam o volume de água armazenada no solo em função do tempo de monitoramento da umidade no solo e demonstra o comportamento abalizado no primeiro evento.

No período avaliado, a precipitação acumulada de 85 mm ocorreu entre 02/06/2016 e 08/06/2016. Após isso, foram 67 dias sem a ocorrência de novas chuvas. Para esta avaliação, foi considerado o período até 18/07/2016, visto que de acordo com análises preliminares, resultados após este período não teriam relevância para tal estudo.

**Figura 46** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 18/07/2016 no perfil de pontos de monitoramento de umidade do solo na área 1.



**Tabela 14** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 18/07/2016 na área 1.

Data	Armazenamento dá água no solo (mm)				
	A	B	C	D	E
<b>27/05/2016</b>	280,7	264,5	279,6	266,5	267,2
<b>30/05/2016</b>	280,8	260,3	275,9	266,6	269,2
<b>03/06/2016</b>	321,7	296,6	296,4	320,7	282,8
<b>07/06/2016</b>	320,2	301,3	295,1	319,3	299,6
<b>11/06/2016</b>	316,8	293,6	297,2	296,6	302,7
<b>14/06/2016</b>	311,7	286,6	298,4	264,8	305,8
<b>17/06/2016</b>	293,4	322,4	285,2	263,3	302,8
<b>22/06/2016</b>	267,4	269,8	301,8	292,2	295,7
<b>24/06/2016</b>	275,3	271,6	289,3	292,3	290,8
<b>29/06/2016</b>	274,1	257,8	295,9	294,3	275,5
<b>01/07/2016</b>	260	263,5	273,8	253,7	283,4
<b>05/07/2016</b>	260,2	261,6	273,4	261,7	282
<b>09/07/2016</b>	259,7	264,3	265,8	259,1	282
<b>13/07/2016</b>	257,7	264	259,3	260,1	274,4
<b>18/07/2016</b>	257,8	264,8	256	261,6	270



Nesta avaliação, o comportamento da água armazenada no solo se deu claramente semelhante ao ocorrido no evento anteriormente analisado. Ou seja, em um primeiro monitoramento se nota que o volume de água armazenada está maior nos primeiros pontos e depois em posteriores observações, a quantidade de água no solo se encontra maior nos pontos posteriores.

Avaliando de forma clara, logo após a ocorrência do evento chuvoso, os monitoramentos mostraram que a umidade no solo e conseqüentemente o volume de água armazenada estão altos. Mas nos próximos dias avaliados, o comportamento começa a se modificar.

Neste evento em questão, no dia 14/06/2016, os volumes de água armazenada nos pontos A, B e D foram menores que os registrados no monitoramento anterior, mas nos pontos C e E, os volumes armazenados tiveram leve aumento, ou seja, no ponto C o volume se elevou em 0,41%, e no ponto E em 1,02%. Este leve aumento de água na região destes pontos podem ter sido devido às águas que ainda se movimentavam referentes aos primeiros dias precipitados, já que as chuvas neste intervalo duraram 8 dias.

No monitoramento posterior (17/06/2016), a notabilidade de alteração fica nítida no ponto B, com grande aumento de volume de água armazenada na sua região (+11,09%) enquanto que no ponto A ouve relativo decréscimo (-6,23%), o que pode levar a dedução de que a água que estava contida anteriormente no ponto A se movimentou para o ponto B. Nos pontos D e E, praticamente se mantém a quantidade de água armazenada e o ponto C tem -4,65% em relação ao monitoramento anterior. Todavia, no monitoramento subsequente, ou seja, em 22/06/2016 o volume de água foi novamente inferior nos pontos A e B, mas nos pontos C e D, os volumes registrados se apresentaram superiores, com altas 5,53% e 9,88%, nesta ordem. Dando a entender que a água continuou a se movimentar no perfil.

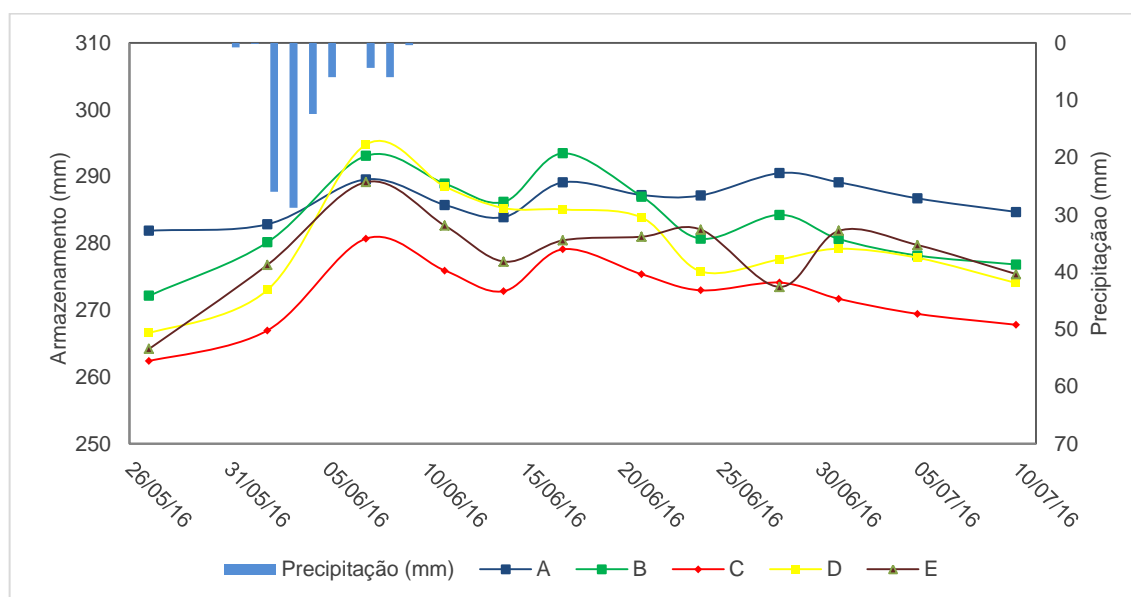
Nos monitoramentos posteriores, o ciclo repete, mas com menor intensidade, já que não houve novas ocorrências de precipitações que pudessem recarregar as bacias de acumulação.

Diante dos fatos constatados nas análises feitas sob os dois eventos em questão, pode-se inferir que tem ocorrido movimento da água infiltrada no solo proveniente da bacia de acumulação anterior aos pontos monitorados, uma vez que o volume de água no solo primeiro se apresenta superior nos pontos mais próximos da bacia e no decorrer dos dias são percebidos nos pontos subsequentes.

### 4.3.2. Área 2 - Área de Pastagem

A Figura 47 e a Tabela 15 apresentam graficamente e numericamente o volume de água armazenado no solo definido pelo somatório da umidade medida em cada camada vezes a sua profundidade, em função do tempo de monitoramento da umidade no solo para o período de 27/05/2016 a 10/07/2016. A Figura 47 também apresenta os índices de precipitação ocorridos no mesmo intervalo de tempo.

**Figura 47** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 10/07/2016 no perfil de pontos de monitoramento de umidade do solo na área 2.



No período analisado, a precipitação acumulada de 83,6 mm ocorreu entre 02/06/2016 e 08/06/2016, após isso houve um período de 68 dias sem a ocorrência de novas precipitações. Para esta avaliação, foi considerado o período até 10/07/2016, visto que de acordo com análises preliminares, resultados após este período não seriam relevantes para tal estudo. Este evento de precipitação que umedeceu o solo, assim como corrobora os dados de armazenamento de água obtidos para a data posterior a precipitação, mas também foi capaz de acumular água na bacia de acumulação, que por seguinte foi se infiltrando no solo ao longo dos dias posteriores.

**Tabela 15** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 27/05/2016 a 10/07/2016 na área 2.

Data	Armazenamento dá água no solo (mm)				
	A	B	C	D	E
<b>27/05/2016</b>	281,87	272,14	262,38	266,55	264,21
<b>02/06/2016</b>	282,85	280,16	266,96	273,02	276,78
<b>07/06/2016</b>	289,56	293,08	280,70	294,78	289,15
<b>11/06/2016</b>	285,73	288,91	275,92	288,49	282,63
<b>14/06/2016</b>	283,92	286,19	272,84	285,26	277,26
<b>17/06/2016</b>	289,12	293,46	279,10	285,06	280,43
<b>21/06/2016</b>	287,21	286,99	275,35	283,84	280,98
<b>24/06/2016</b>	287,16	280,68	272,95	275,77	282,03
<b>28/06/2016</b>	290,50	284,25	274,11	277,59	273,46
<b>01/07/2016</b>	289,13	280,64	271,68	279,18	281,87
<b>05/07/2016</b>	286,71	278,16	269,42	277,82	279,73
<b>10/07/2016</b>	284,69	276,81	267,80	274,05	275,38

Assim como demonstra o gráfico anterior (FIGURA 47), as medições realizadas no dia 07/06/2016 mostraram que em todas as camadas houve aumento da água armazenada no solo em relação aos dados anteriores, todavia, nesta ocasião isto se deu claramente devido a precipitação ocorrida. Já nas outras coletas de dados após a incidência da chuva até o dia 14/06/2016, o armazenamento foi decrescendo ao longo dos dias.

No dia 17/06/2016, detectou-se que a água armazenada no solo foi maior que na medição anterior, dando destaque aos pontos mais próximos da bacia. Ou seja, no ponto A, a quantidade de água armazenada no dia 14/06/2016 foi de 283,92 mm e no dia 17/06/2016 de 289,12 mm, elevação de 1,8% do volume de água no solo. No ponto B, o volume de água aumentou em 2,48%. No ponto C a quantidade de água armazenada era de 272,19 mm e na medição seguinte foi de 279,10 mm, acréscimos de 2,25%. Já o ponto D, praticamente se manteve estável, ocorrendo um pequeno decréscimo de 0,07% em relação ao constatado anteriormente. E no ponto E, ocorreu um aumento de 1,13% no volume de água armazenado naquele perfil. Esta situação de decréscimo e após aumento da água armazenada no solo sem a incidência de precipitação pode ter se dado devido à infiltração da água armazenada na bacia de acumulação localizada acima dos pontos avaliados, influenciando principalmente os 3 primeiros pontos que estão 0 m, 1 m e 3 m da saia da bacia de acumulação, respectivamente.

No dia 21/06/2016, o volume de água voltou a decrescer nos pontos A, B e C, e nos pontos D e E praticamente se manteve, com redução de apenas 0,43% em relação à coleta de dados anterior no ponto D e aumento de 0,2% no ponto E. Vale ressaltar que nesta ocasião, a

água se manteve quase que constantes nestes últimos dois pontos, já no ponto D ocorreu à manutenção da umidade, e no ponto a 10 metros da saia da bacia de acumulação era superior ao volume anterior. Esta situação pode ter sido um claro indício da água se movimentando ao longo do perfil, já que na análise anterior nos pontos A, B e C havia ocorrido o aumento da água armazenada e na avaliação posterior, a redução de água nesses pontos. Mas nos pontos D e E, ocorreu pouquíssima variação da água no solo, já que se não houvesse a bacia de acumulação na área, por ser pontos muito próximos, com o mesmo uso do solo e sofrendo os mesmos efeitos atmosféricos, a tendência seria também da redução do volume de água no solo nestes.

Quando se avalia na data de 24/06/2016, no ponto D, a redução de água armazenada teve redução de 2,92%, mas no ponto E, houve aumento do volume de água, passando de 280,98 mm para 282,03 mm, um acréscimo de 0,37%, ou 2,05 mm de água na camada analisada. Neste caso, provavelmente houve movimento de água do ponto D para o ponto E.

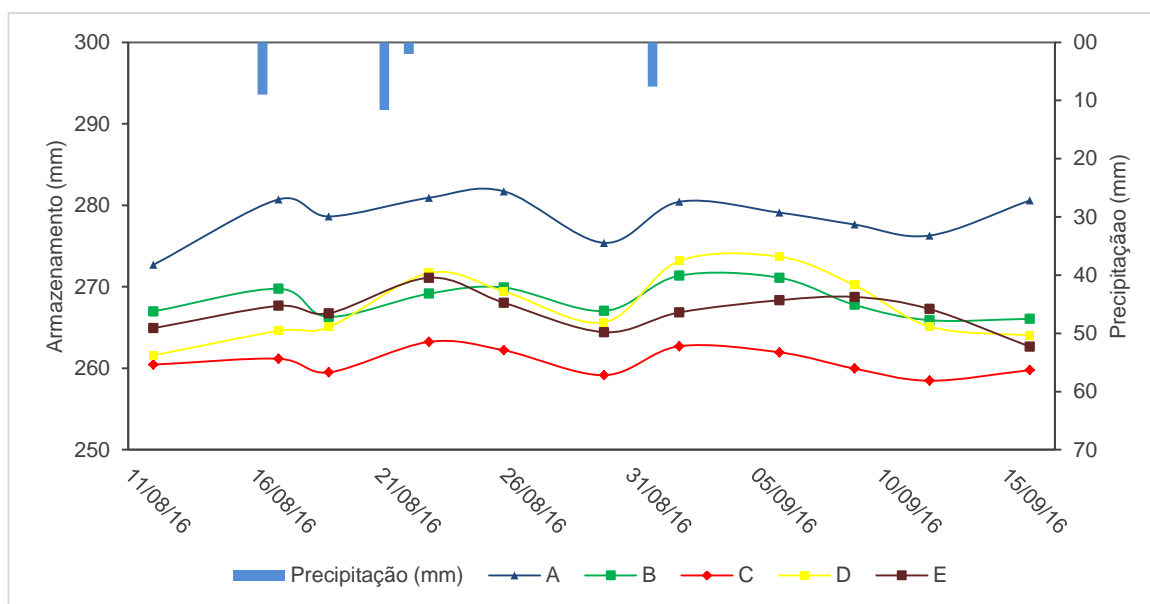
Estes fenômenos voltam a ocorrer nas posteriores datas de maneira semelhante, com a identificação do aumento de volume de água nos primeiros pontos, e em data conseguinte a elevação da quantidade de água no solo nos pontos mais distantes (pontos D e E), todavia com menor intensidade no período analisado.

Avaliando um segundo evento, desta vez entre 12/08/2016 e 16/09/2016, também é possível identificar movimentação da água no solo de modo semelhante. A Figura 48 de modo gráfico e na Tabela 16 em forma numérica o volume de água armazenada no solo em função do tempo de monitoramento da umidade no solo e expõe a possível movimentação da água ao longo do perfil.

Apesar da ocorrência de precipitações espaçadas no período citado, foi possível levantar algumas observações sobre o comportamento da água no solo no período analisado.

No gráfico acima (FIGURA 48), mostra que no evento em questão, ocorreram 3 chuvas, a primeira em 16/08/2016, com precipitação de 9 mm, uma segunda nos dias 21 e 22/08/2016, com precipitação acumulada de 14 mm e a última ocorrência em 01/09/2016, com 8 mm precipitados. Todavia, as observações neste intervalo analisado, se focaram nos dados coletados após a ocorrência da segunda chuva.

**Figura 48** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 12/08/2016 a 16/09/2016 no perfil de pontos de monitoramento de umidade do solo na área 2.



**Tabela 16** – Armazenamento da água no solo referente ao período de 12/08/2016 a 16/09/2016 na área 2.

Data	Armazenamento dá água no solo (mm)				
	A	B	C	D	E
12/08/2016	272,70	266,98	260,45	261,59	264,92
17/08/2016	280,73	269,75	261,17	264,59	267,66
19/08/2016	278,63	266,31	259,49	265,04	266,74
23/08/2016	280,92	269,15	263,24	271,68	271,11
26/08/2016	281,71	269,90	262,20	269,44	268,04
30/08/2016	275,39	267,04	259,16	265,65	264,43
02/09/2016	280,43	271,37	262,70	273,17	266,85
06/09/2016	279,10	271,11	261,96	273,69	268,35
09/09/2016	277,64	267,78	259,96	270,19	268,75
12/09/2016	276,29	265,90	258,47	265,12	267,26
16/09/2016	280,59	266,07	259,77	264,00	262,65

Por meio do gráfico (FIGURA 48) e dos dados fornecidos na Tabela 16, nota-se que no dia 23/08/2016, data em que houve monitoramento da umidade no solo, o armazenamento calculado era maior que o observado no monitoramento anterior, devido à ocorrência das chuvas, mas no monitoramento posterior, no dia 26/08/2016, também foi constatado nos pontos A e B que o volume de água continuou a crescer. Em números, o volume de água em ambos os pontos sofre leve aumento de 0,28%. Esta manutenção da água nestes pontos pode

ter sido em decorrência da água que se encontrava acumulada na bacia de acumulação e lentamente se infiltrou no solo e foi detectada nestes 2 pontos mais próximos.

Outro momento observado se deu no dia 06/09/2016, 5 dias após a última ocorrência de chuvas na área. Nesta ocasião, foi notado que a volume de água armazenado no solo nos pontos B, D e E basicamente se manteve constante em relação aos dados obtidos no monitoramento anterior. Sendo que no ponto B, houve leve decréscimo de 0,09% e nos pontos D e E, o volume de água do solo se elevou em 0,19% e 0,56%, respectivamente.

Por essas observações, duas conclusões podem ser levadas em consideração por este evento. Primeiro, a manutenção do armazenamento de água no ponto pode ter sido em decorrência da água infiltrada da bacia de acumulação que se acumulou devido à última chuva. Segundo, com relação aos pontos D e E, a manutenção da água nestes ainda pode ter sido em consequência da água que se infiltrou da bacia de acumulação no solo relacionado ao segundo evento de precipitação ocorrido, pois assim como detectado no primeiro evento avaliado, a movimentação da água para os últimos pontos foi detectada mais de 10 dias após as chuvas. E ainda fica mais evidente ao se observar o ponto E nos dois monitoramentos posteriores, em que o volume de água armazenado pouco sofreu variações (aumento de 0,15% no dia 09/09/2016 em relação ao anterior, e decréscimo de 0,56% na data de 12/09/2016 tendo como base as datas antecedentes), algo que ocorreu de maneira semelhante no primeiro evento avaliado.

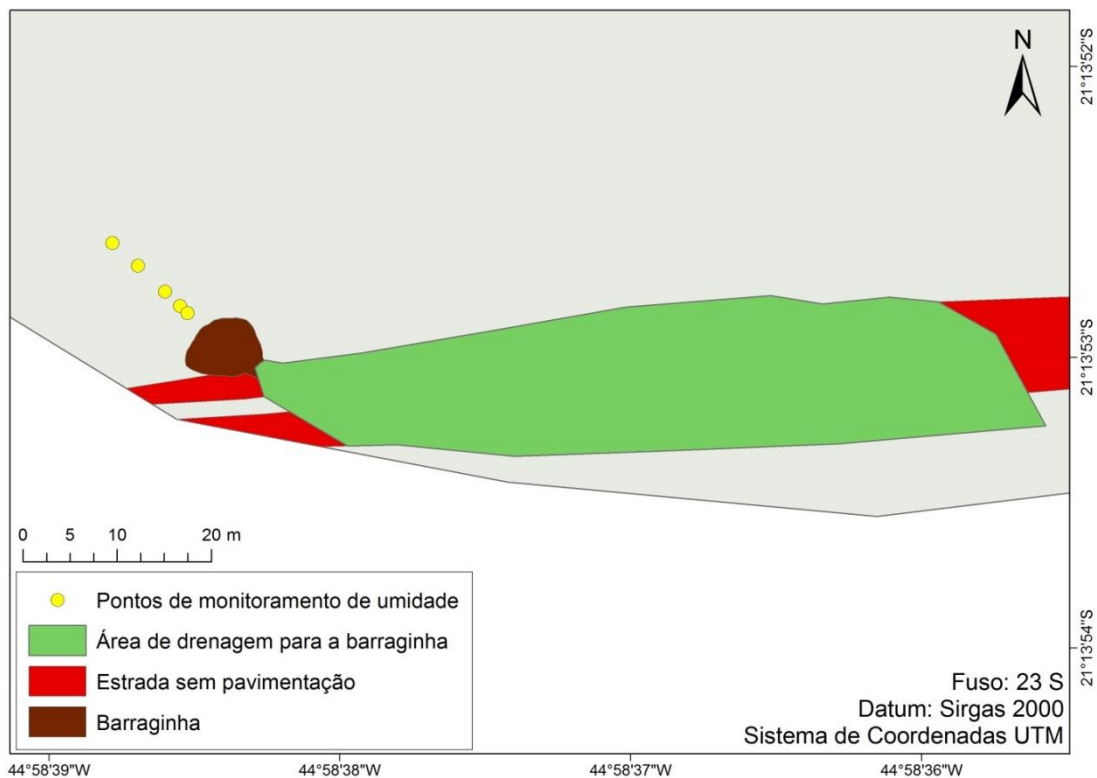
#### **4.4. Vida útil e permeabilidade do solo no interior das bacias de acumulação**

Com o intuito de se promover uma análise da vida útil das bacias de acumulação e o efeito do sedimento transportado na infiltração de água, foram feitas avaliações dos volumes das bacias de acumulação antes e depois do período de chuvas, assim como a determinação da condutividade hidráulica do solo em condição saturada nas mesmas ocasiões.

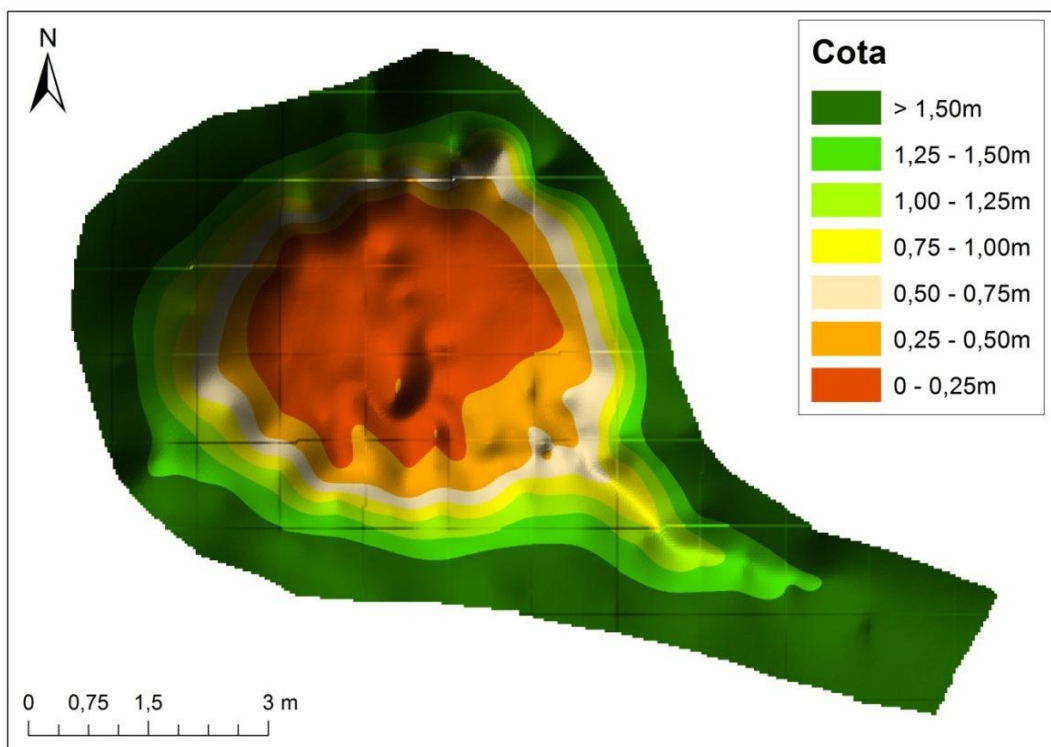
##### **4.4.1. Área 1 - Área de floresta**

A Figura 49 apresenta o mapa destacando a área de captação de água para a bacia de acumulação, cujo tamanho de 918,38 m<sup>2</sup>, que foi determinada de acordo com os dados levantados topograficamente em campo e processados no software ArcGIS 9.3®.

**Figura 49** – Área de captação de água para a bacia de acumulação na área de floresta.



**Figura 50** – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de floresta levantada em setembro de 2016.

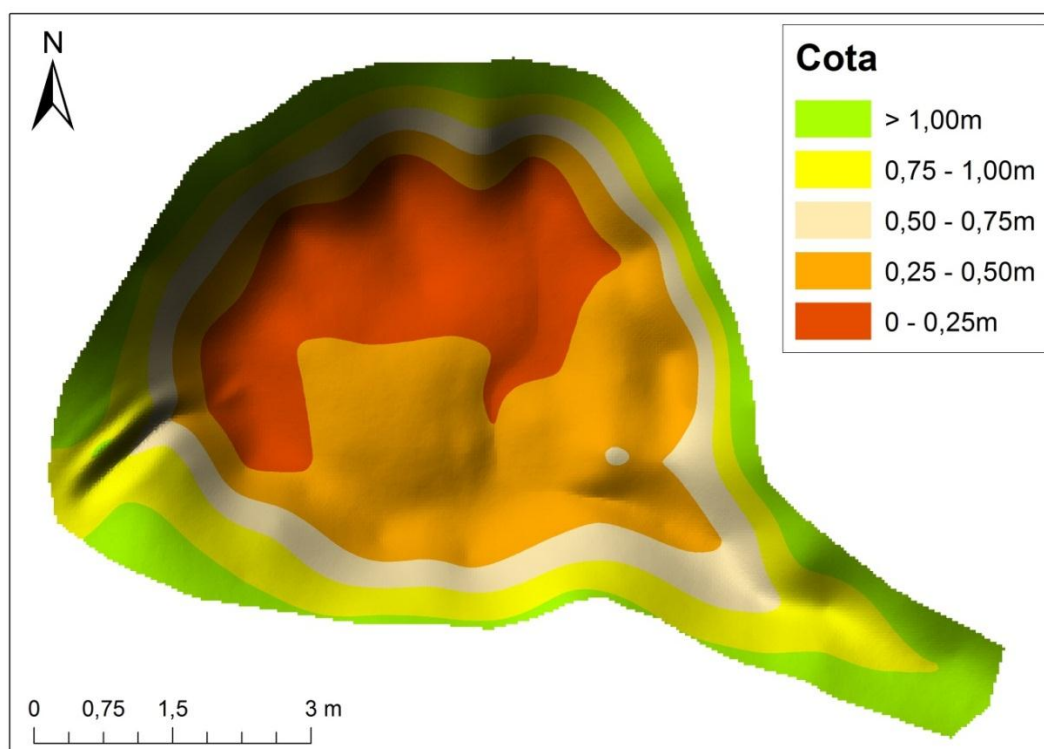


A Figura 50 apresenta a forma e o MDE gerado da bacia de acumulação procedente dos dados de levantamento topográfico do interior da mesma, realizado em setembro de 2016, ou seja, antes do período de chuvas. O MDE está em formato TIN e estratificado em camadas para melhor visualização do modelo gerado.

De acordo com a modelagem realizada, a bacia apresentava cota mínima de 883,93 m e cota máxima de 885,45 m no ponto de extravasamento da água, ou seja, profundidade máxima de 1,52 m. E volume calculado de 25,66 m<sup>3</sup>.

A Figura 51 apresenta o MDE modelado e a forma da bacia de acumulação referentes aos dados do levantamento topográfico conduzido em junho de 2017, ou seja, após o período hidrológico de 2016/2017.

**Figura 51** – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de floresta levantada em junho de 2017.



Nesta avaliação, a profundidade da bacia de acumulação foi de 0,94 m, com cotas mínimas e máximas de 884,46 m e 885,40 m, respectivamente. E volume calculado de 16,09 m<sup>3</sup>.

Ao efetuar uma avaliação dos resultados iniciais e finais da bacia de acumulação, percebe-se que o volume sofreu redução de 37,29% e a profundidade decresceu 38,16%. Isto ocorreu devido ao acúmulo de sedimentos provenientes do arraste de solo para o interior da



bacia de acumulação promovido por eventos de escoamento superficial em eventos de precipitação que vieram a superar a taxa de infiltração básica do solo, principalmente do solo da estrada.

A vida da útil da bacia calculada foi de 2,68 anos, apenas considerando a redução do volume da bacia de acumulação devido ao depósito de sedimentos, sem considerar o efeito dos aspectos hidrológicos nos próximos períodos. E ainda teria capacidade de armazenamento de 1,68 anos, tendo o período hidrológico analisado como base e subtraído do tempo de vida útil da bacia.

Outro parâmetro calculado interessante a se avaliar seria com relação à quantidade de sedimento carregado para as bacias de acumulação, neste caso, foi verificado que a quantidade de sedimentos arrastados para a bacia de acumulação no período foi de  $104,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

A alta redução do volume da bacia de acumulação no período pode ter sido em decorrência dos seguintes fatores: a estrada na qual está inserida a bacia de acumulação é via de alta circulação diária de veículos pequenos e de grandes portes, as constantes manutenções (entre os períodos analisados, ocorreram 2 vezes) realizadas na estrada, e a inclinação média de 10% da área de captação, principalmente na área da estrada sem pavimento, principal área de captação de água para a bacia de acumulação, associado ao escoamento superficial nas ocorrências de precipitação que podem estar promovendo erosão e o carregamento de sedimentos podem ter contribuído para quantidade de sedimentos depositados no período.

Com relação à condutividade hidráulica de saturação ( $K_s$ ) superficial determinada nas duas avaliações, no levantamento realizado em setembro de 2016 encontrou-se  $K_s$  igual a  $0,84 \text{ m} \cdot \text{dia}^{-1}$ , porém no levantamento realizado em junho de 2017, o  $K_s$  determinado foi de  $4,04 \text{ m} \cdot \text{dia}^{-1}$ .

As análises texturais do solo no fundo da bacia de acumulação demonstraram que na campanha realizada em setembro de 2016, o fundo da bacia de acumulação apresentava solo com 54% de teor de argila, 32,6% de silte e 13,4% de areia. Na análise de junho de 2017, os teores médios de argila, silte e areia da área superficial do fundo da bacia foram de 37%, 43,35% e 19,75%, respectivamente.

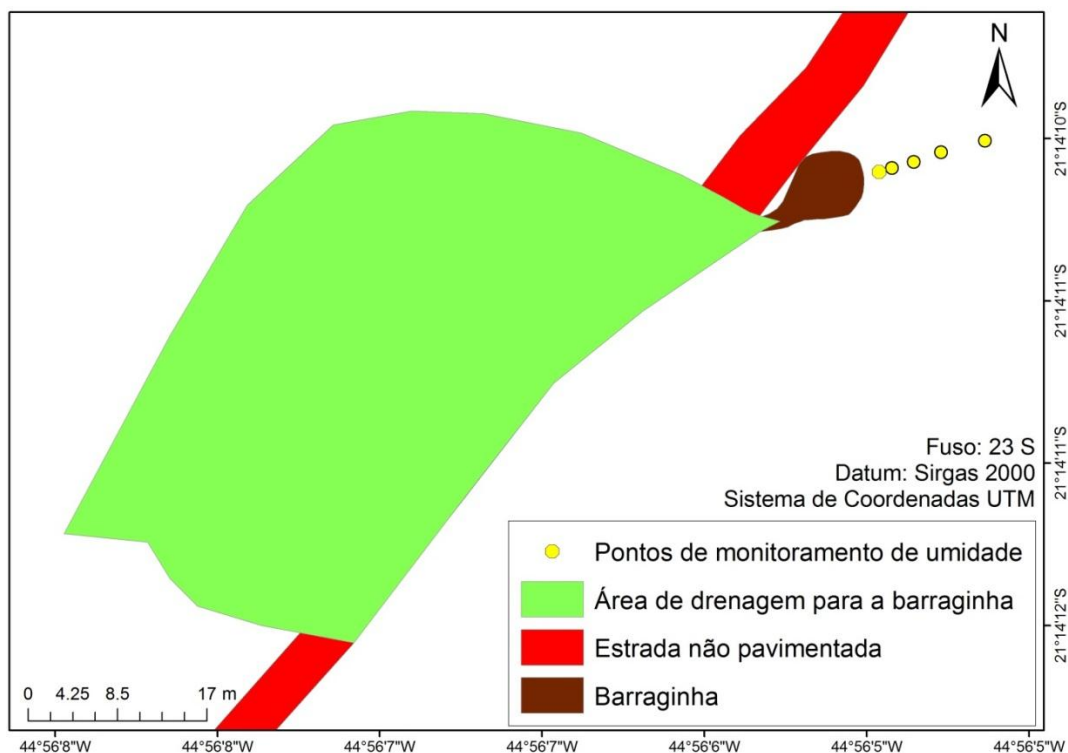
Fazendo uma análise geral dos dados obtidos, pode-se inferir que a condutividade hidráulica saturada na região mais profunda da bacia de acumulação aumentou de forma considerável, o que levaria a dedução de que a água que se acumula na bacia estaria se infiltrando mais rápido atualmente, porém os dados da segunda avaliação ocorrida em junho de 2017 são da superfície do fundo da bacia, região totalmente ocupada por sedimentos que

foram depositados na bacia de acumulação. Já a composição textural do solo, mais precisamente dos sedimentos acumulados na bacia apresentaram teores de argila menores aos comparados com os teores obtidos na primeira análise, e maiores teores de siltes, demonstrando que as partículas mais carregadas para a bacia de acumulação seriam as que possuem diâmetro entre 0,053 mm e 0,002 mm.

#### 4.4.2. Área 2 - Área de pastagem

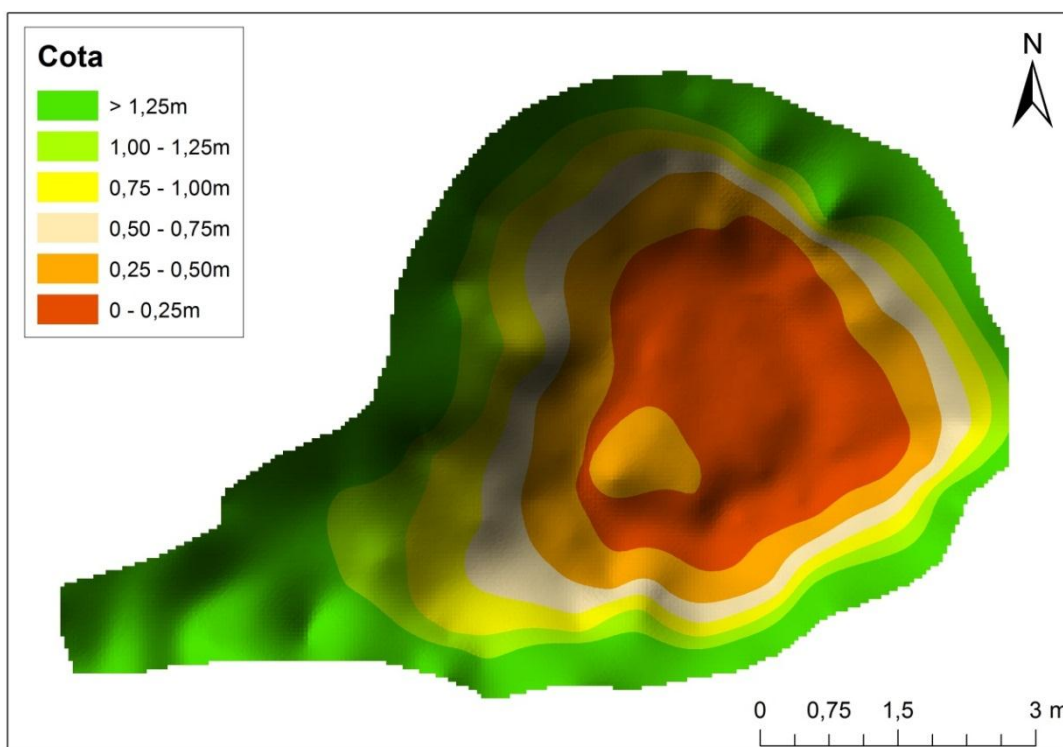
Para a área 2, primeiramente determinou-se a área de captação de água para a bacia de acumulação, por meio dos dados de levantamento topográfico obtidos e posteriormente computados no software ArcGIS 9.3, constatando que a área de captação de água para a bacia de acumulação era de 1644,5 m<sup>2</sup>. A Figura 52 demonstra de forma cartográfica o perímetro da área em questão.

**Figura 52** – Área de captação de água para a bacia de acumulação na área de pastagem.



Na Figura 53 está modelado a forma e o MDE em formato TIN e estratificado em camadas da bacia de acumulação em setembro de 2016.

**Figura 53** – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de pastagem levantada em setembro de 2016.

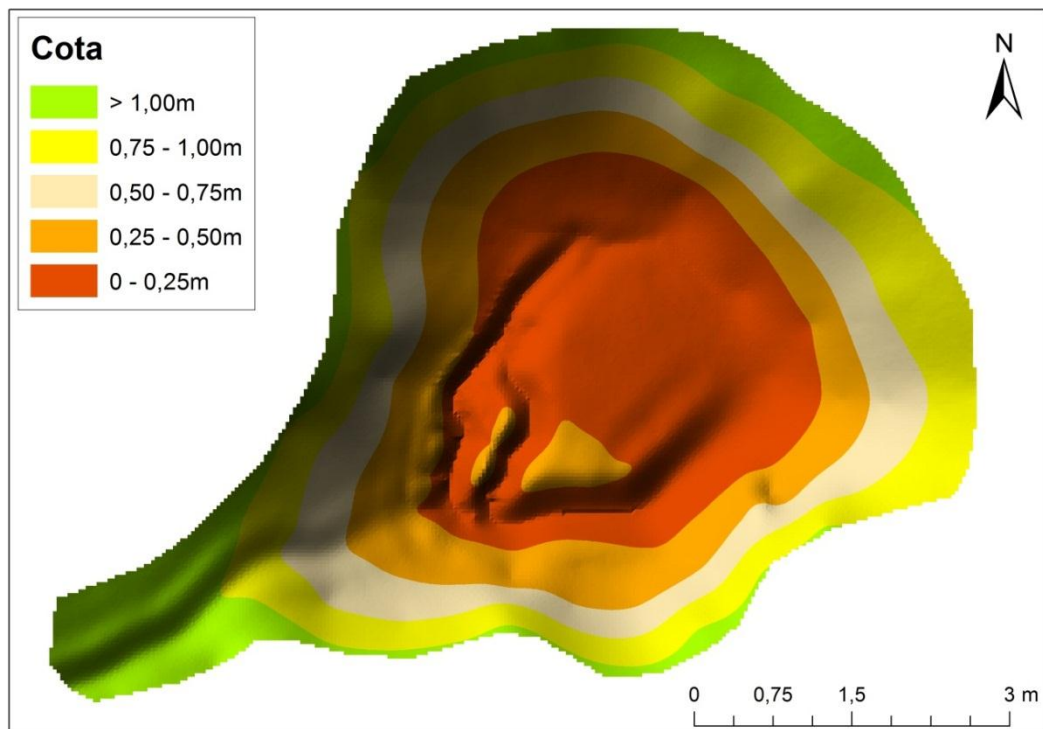


Na ocasião, a bacia possuía profundidade de 1,16 m, levando-se em conta a cota no ponto mais profundo da bacia de acumulação (933,15 m) e cota máxima no ponto de extravasamento de água na bacia (934,31 m). Na ocasião, a bacia de acumulação apresentou volume de 17,8 m<sup>3</sup>.

A Figura 54 traz o formato modelado da bacia de acumulação e o MDE em forma de TIN da bacia com as profundidades discriminadas em camadas relativas aos dados de levantamento planialtimétrico da bacia de acumulação coletados em junho de 2017.

Na segunda avaliação das características da bacia de acumulação da área de pastagem realizada em junho de 2017, constatou-se que a profundidade havia se reduzido em 25%, passando a ter apenas 0,87 m de profundidade e o volume estava 32,93% menor, tendo capacidade de armazenar apenas de 11,94 m<sup>3</sup>.

**Figura 54** – Modelo digital de elevação (MDE) estratificado em camadas delineando o relevo do interior da bacia de acumulação estudada na área de pastagem levantada em junho de 2017.



Com relação à vida útil da bacia, adotando os mesmos critérios expostos para a bacia de acumulação da área 2, estaria estimada em 3,03 anos, lhe restando apenas mais 2,03 anos de uso antes de esvair-se por completa. Além disso, a quantidade de solo carregado para a bacia foi calculada em  $35,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . E apesar da alta redução do volume da bacia de acumulação no intervalo de tempo entre as campanhas de coletas de dados, há de se notar que o volume de sedimentos depositados na bacia de acumulação da área de pastagem foi menor do que o volume acumulado na bacia de acumulação da área de floresta, onde o volume foi reduzido em  $9,57 \text{ m}^3$ , mas como uma área de captação de água das chuvas para a bacia de acumulação menor (918,38 m) e inclinação média da área em 10%. Já na área de pastagem, a perda de volume da bacia foi de  $5,86 \text{ m}^3$ , mas possui uma área de captação de águas para a bacia de acumulação maior, assim como a inclinação média da área, ou seja,  $1644,5 \text{ m}^2$  e 15,9%, respectivamente. Entretanto, essa relação na área 2 se deve ao fato de que a estrada rural do local é pouco movimentada e diferentemente da área de floresta em que área de captação de chuvas consiste basicamente das áreas das estradas ali presentes, a área de captação de águas nesta localidade tem a maioria do solo ocupado por pastagem o que podem estar minimizando o arraste de sedimentos para a bacia de acumulação.

Outros parâmetros avaliados relativos à bacia de acumulação da área de pastagem nas duas campanhas foram a condutividade hidráulica de saturação ( $K_s$ ) na superfície do fundo da bacia e os teores de argila, silte e areia.

Na primeira campanha de coleta de dados, a  $K_s$  obtida para o fundo da bacia foi de  $0,63 \text{ m.dia}^{-1}$ . Já no segundo levantamento, a  $K_s$  obtida foi de  $0,08 \text{ m.dia}^{-1}$ . Ou seja, nesta área a permeabilidade do solo no fundo da bacia se reduziu drasticamente, possibilitando que a água que se armazenasse nas bacias de acumulação ficasse represada por mais tempo e pudesse manter o solo mais úmido por mais tempo.

Com relação à análise textural, na primeira coleta de dados, o teor de argila no fundo da bacia de acumulação era de 54%, o de silte de 20% e o de areia de 26%. Na segunda análise em junho de 2017, os teores de argila diminuíram, passando para 31%, os teores de silte se elevaram, estando agora em 41,75% e os teores de areia, praticamente se mantiveram, ou seja, 27,25%. Assim como foi abordado para a área 1, os dados analisados na segunda campanha correspondem aos sedimentos transportados, e não do fundo original da bacia de acumulação. Estes dados apenas corroboram para afirmar que os sedimentos que se acumularam na bacia possuem características mais siltosas.

## 5. CONCLUSÕES

Por meio da pesquisa realizada e dos diversos dados obtidos relacionados às bacias de acumulação nas áreas experimentais estudadas foi possível diagnosticar inicialmente que as bacias de acumulação estariam contribuindo para a manutenção da umidade no solo e possível recarga do lençol freático nas duas áreas avaliadas.

Na área de floresta, apesar da alta variabilidade do comportamento da umidade ao longo do tempo, pode-se diagnosticar nos eventos isolados avaliados possível movimento da água no solo ao longo dos pontos monitorados. Estes indícios também puderam ser diagnosticados quando se comparou os dados médios de umidade do solo obtidos nos dois anos hidrológicos estudados, onde foi detectado que tanto no período de estiagem quanto no período de chuvas do período hidrológico de 2016/2017 foram superiores aos dados levantados no período anterior.

Na área de pastagem, a incidência do movimento da água no solo decorrente da bacia de acumulação foi perceptível quando se analisou os volumes de água armazenado no solo nos eventos isolados analisados, nestes períodos pode-se notar que a água se movimentava de um ponto para outro de maneira lenta, onde a água que foi acumulada na bacia decorrente da precipitação observada no período era detectada apenas em um ou dois pontos no máximo em cada monitoramento até chegar ao último ponto instalado. Além disso, analisando os gráficos de cada ponto e cada camada, foi notável a maior variabilidade da umidade nas primeiras camadas em cada ponto, e que o ponto A de modo geral apresentou os maiores valores médios de umidade, provavelmente em decorrência da proximidade com a bacia de acumulação.

Quando se avaliou as características geométricas e físicas das bacias em cada, diagnosticou-se que ambas receberam grandes quantidades de sedimentos no intervalo monitoramento o que deduziu a previsão de vidas úteis baixas para cada bacia de acumulação.

Contanto, diante de todo o trabalho realizado, conclui-se que por meio das pesquisas realizadas foi possível identificar possíveis indícios do movimento da água no solo proveniente das bacias de acumulação. Mas há de salientar que para trabalhos futuros, várias outras pesquisas podem ser desenvolvidas dentro deste mesmo campo, tais como: a influência direta das bacias nas nascentes próximas, o monitoramento do lençol freático nas proximidades com o intuito de analisar diretamente se as bacias poderiam estar contribuindo para a manutenção e recarga do lençol freático; simulações da quantidade de sedimentos que estariam sendo depositados nas bacias e em vez de alcançar e assorear cursos d'água

próximos; além da manutenção do atual trabalho para avaliações mais congruentes do comportamento da umidade no solo tendo como comparativo dados já levantados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. 22: 711-728.

ANJOS FILHO, O. **Estradas de terra**. Jornal O Estado de São Paulo, São Paulo. 29 de Abril de 1998. (Suplemento Agrícola).

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. Springfield, Byrd Prepress, 20o ed. 1998. 1193 p.

AMERMAN, C. R. Infiltration measurement. **In: ASAE, Advances in Infiltration. Proceedings of the National Conference on Advances in Infiltration**. Michigan: ASAE, 1983. (ASAE, Publication 11-83).

BARROS, L. C. de. Captação de águas superficiais de chuvas em Barraginhas. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2000.

BERTOLINI, D.; DRUGOWICH, M. I.; LOMBARDE NETO, F.; BELINAZZE JÚNIOR, R. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, 1993. 37p.

BONO, J. A. M., MACEDO, M. C. M., TORMENA, C. A., Qualidade Física do Solo em um Latossolo Vermelho da Região Sudoeste dos Cerrados sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo.v**Revista Brasileira de Ciência do Solo** [en linea] 2013, ISSN 0100-0683.

CARVALHO, D. F. de C., OLIVEIRA, L. F. C. de. **Planejamento e Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. Viçosa. Editora UFV, 2012.

CARDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília: PRONI/MA, 1988. 216p.

CEPA – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **Avaliação do Projeto Microbacias – Componente Estrada**. Florianópolis. 1999.

CORRÊA, C. M. C.; Dedecek, R. A.; Roloff, G. Sedimentos provenientes de estradas de uso florestal em condição de relevo ondulado a fortemente ondulado. **floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 1, p. 221-234, jan./mar. 2010.



COSTA, C. D. de O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. de P. Armazenamento de água em dois solos sob diferentes usos e manejos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 55-65, 2016.

CUNHA, M.A. **Ocupação de Encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, nº 1831, 1991.

CURI, N. et al. **Mapeamento de solos e magnetismo no campus da UFLA como traçadores ambientais**. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2017. 147 p. ISBN 9788581270524.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 3. ed. **Rev. Atual.** – Rio de Janeiro, 212 p., 2011.

EMBRAPA SOLOS. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, Brasília-DF**, 2013, 3 ed. 353p.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. **In: Física do Solo**. Ed. LIER, Q.J. Viçosa, MG: SBCS, p.1-27, 2010.

FREIRE, M. B. G. dos S. et al. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2003, vol.7, n.1, pp. 45-52.

GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in diverse soil layers. **Catena**, Schaaafhein, v. 95, p. 24-32, 2012.

GOLDMAN, M. Inventando os comuns: teorias e práticas do profissional em bens comuns. In: DIEGUES, A. C.; MOREIRA, A. C. C. **Espaços e Recursos Naturais de Uso Comum**. São Paulo: NUPAUB/USP, 2001. Cap. 2, p. 43-78.

GRIEBELER, N.P. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2002.

GRIELEBER, N. P.; PRUSK, F.F.; SILVA, J.M.A; RAMOS, M.M.; SILVA, D. D.; **Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas**. R. Bras. Ci. Solo, 29:397-405, 2005.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; AMORIM, S. S. R.; SILVA, D.D.; SILVA, A.M.J. **Controle da Erosão em Estradas Não Pavimentadas.** In: PRUSKI, F. F. (Ed) **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Viçosa: UFV, 2006. p. 171-240.

LUCE, C. H. **Proposal for a study on sediment production from forest roads under natural rainfall conditions.** Moscow: USDA. Forest Service Intermountain Research Station, 1993. 7p.

MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. **Impacto ambiental das estradas florestais: causas e controle.** Viçosa, SIF, 1990. p. 1-12 (Boletim Técnico, 1).

MELO NETO, José de Oliveira. **"Modelagem hidrometeorológica associada a um povoamento clonal de eucalipto."** Tese de Doutorado. UFLA, 2016.

MORIN, J.; VAN WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1223-1227, 1996.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1995). **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** São Paulo.

OLIVEIRA, F. P. de et al. **Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce,** Minas Gerais. 2010.

PETERS, E.; Van LANEN, H. A. J. **Separation of base flow from streamflow using groundwater levels - Illustrated for the Pang catchment (UK).** Hydrological Processes, v.19, p.921-936, 2005.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** 1. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2006. v. 1. 240 p.

RABELO, M. W. de O.; GRIEBELER, N. P.. Determinação de incremento de altura de camalhão na integração terraço-estrada. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, Goiânia , v. 42, n. 1, p. 49-55, Mar. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-40632012000100007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632012000100007&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 Ago. 2017.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. 513p.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.3, p.289-298, 1992.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SILVA, V.R. **Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado**. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M.; CERETTA, C.A., Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2001, p. 114-133.

SALATI, E.; MATTOS DE LEMOS, H.; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. Cap. 2, p. 39-63.

SILVA, D. P. da. **Modelo de dimensionamento de bacias de acumulação para estradas**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SOARES, J. F.; SARMIENTO, C. M.; RAMIREZ, G.M. **Caracterização das estradas rurais no entorno do reservatório da usina hidrelétrica do funil como subsídio à conservação ambiental**. X Congresso Latino-americano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola CLIA/CONBEA 2012.

SOIL MOISTURE CORP. **Guelph Permeameter: Operating Instructions**. Santa Bárbara, 1991.

WEBER, J.; BAILLY, D. Prever é governar. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. **Gestão de Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental**. 3. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2002. Cap. 6, p. 269-281.