

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Letiéri da Rosa Freitas

**DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO EM PLANTIO DIRETO COM E SEM
TERRAÇO**

Santa Maria, RS
2020

Letiéri da Rosa Freitas

DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO EM PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ivonir Gubiani

Santa Maria, RS
2020

Ficha catalográfica

Letiéri da Rosa Freitas

**DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO EM PLANTIO DIRETO COM E SEM
TERRAÇO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Aprovado em: 21 de fevereiro de 2020.

Paulo Ivonir Gubiani, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)

Cleudson José Michelin, Dr. (IFFAR)

Santa Maria, RS
2020

DEDICATÓRIA

*Dedico aos meus pais, Cléria e Elcimar, que sempre me apoiaram em todas as decisões da
minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus e todos os seres de luz que guiam meu caminho.

Aos meus pais, por tudo que fazem por mim, mas principalmente pelo amor que sempre me dedicaram, por me incentivarem a ser uma pessoa melhor a cada dia e por serem meu apoio quando eu precisei.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Física do Solo por todos os momentos compartilhados e pela grande amizade que construímos.

Aos amigos que mesmo longe, estavam torcendo por mim.

Aos professores, do ensino básico até o mestrado, que fizeram parte de minha trajetória, pois cada um teve sua importância na minha vida. Especialmente minha orientadora da graduação, Mirla Weber que sempre foi minha grande incentivadora.

Ao professor Paulo Ivonir Gubiani, pelos ensinamentos, orientação e paciência.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos, por todo o conhecimento e suporte que forneceram durante esses dois anos.

Aos colegas do PPGCS que instalaram o experimento e fizeram inúmeras as coletas para que esse trabalho fosse realizado.

À Universidade Federal de Santa Maria pelo ensino público e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para o meu crescimento pessoal e profissional, e para a realização deste trabalho.

*“A verdade é luz.
Somente o coração alimentado de amor
e o cérebro enriquecido de sabedoria
podem refletir-lhe a grandeza”
(Emmanuel)*

RESUMO

DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO EM PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO

AUTORA: LETIÉRI DA ROSA FREITAS
ORIENTADOR: PAULO IVONIR GUBIANI

A diminuição do escoamento superficial e o aumento da infiltração são benefícios dos terraços agrícolas. Entretanto, ainda não está bem compreendida a contribuição do terraceamento para o armazenamento de água no solo e para o armazenamento de água disponível às plantas. O objetivo deste estudo foi analisar uma série de dados de conteúdo de água no solo, monitorados em área com e sem terraços, para avaliar se existe associação entre terraços e armazenamento de água disponível em Nitossolo sob plantio direto. Para isso, duas bacias pareadas de ordem zero cultivadas em plantio direto com sucessão soja e trigo/nabo/milho, com e sem terraços, foram monitoradas no período de 01/03/2016 a 28/02/2017 e de 01/03/2017 a 28/02/2018. Em cada bacia foram demarcados dois pontos, na posição alta e baixa do relevo, onde foram obtidos dados referentes ao conteúdo de água no solo, precipitação, escoamento superficial, conteúdo de água na capacidade de campo e ponto de murcha permanente. O armazenamento relativo de água foi mais elevado quanto mais espessa a camada considerada e as variações foram mais acentuadas nas primeiras camadas nas duas bacias, sendo os pontos do topo com menor variação. A presença de terraços afeta positivamente o armazenamento de água disponível para as plantas em anos com menores acumulados de precipitação, quando a funcionalidade dos terraços é mais evidenciada, como no primeiro período do estudo. Em anos com maiores acumulados de precipitação a presença de terraços não interfere no armazenamento de água disponível para as plantas, mas atua no controle do escoamento superficial. Na água disponível relativa as diferenças em favor do terraço também foram mais evidentes quanto mais espessa a camada considerada. Foi claramente notável que logo após a chuva, ocorreu um amortecimento do decréscimo de água disponível pelo terraço, com diminuição gradual da água disponível. De maneira geral, tanto na posição alta quanto na posição baixa da bacia com terraços, o terraceamento afetou positivamente a água disponível. Porém, a associação positiva entre o terraço e a água disponível, foi mais evidente na posição onde mais terraços à montante foram considerados.

Palavras chave: Armazenamento de água, Água disponível, Conservação da água.

ABSTRACT

DYNAMIC OF WATER IN SOIL UNDER NO TILL WITH AND WHITOUT BROAD BASED TERRACES

AUTHOR: LETIÉRI DA ROSA FREITAS
ADVISOR: PAULO IVONIR GUBIANI

The decrease in runoff and the increase in infiltration are benefits of agricultural terraces. However, the contribution of terracing to the water storage in the soil and to the available water storage to plants is still not well understood. The aim of this study was to analyze a data series on soil water content, monitored in an area with and without terrace, to evaluate if there is association between terraces and available water storage in Nitisol under no till. For this purpose, two zero-order paired catchments under no till cultivation (soybean and wheat/turnip/corn succession), with and without broad-based terraces, were monitored in the period from 03/01/2016 to 02/28/2017 and 03/01/2017 to 02/28/2018. In each catchment, two points were demarcated, in the high and low terrain position, where data of soil water content, precipitation, runoff, field capacity and permanent wilting point were obtained. The relative water storage was higher the thicker the layer considered, and the variations were more accentuated in the shallow layers in the two catchments, with the top points having less variation. The presence of broad-based terraces positively affects the available water storage to plants in years with lower accumulated rainfall, when the functionality of the terraces is more evident, as in the first period of the study. In years with higher cumulated rainfall, the presence of terraces is not related with the available water storage to plants but acts to control runoff. In the relative available water, the differences in favor of the terrace were also more evident the thicker the layer considered. It was clearly notable that shortly after the rain, there was a dampening of the decrease in available water on the terrace, with a gradual decrease in the available water. In general, both in the high and low position, terracing positively affected the available water. However, the positive association between the terrace and the available water was more evident in the position where more upstream terraces were considered.

Keywords: Water Storage, Available Water, Water Conservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Profundidade das camadas nos pontos STb, CTb, STa e CTa.....	20
Figura 2 - Armazenamento atual relativo nos pontos STb e CTb	24
Figura 3 - Armazenamento atual relativo nos pontos STa e CTa.....	30
Figura 4 - Curva de permanência do armazenamento atual relativo	31
Figura 5 - Água disponível atual relativa nos pontos STb e CTb	33
Figura 6 - Água disponível atual relativa nos pontos STa e CTa.....	35
Figura 7 - Curva de permanência da água disponível atual relativa.....	36
Figura 8 - Análise de regressão do armazenamento atual acumulado.....	38
Figura 9 - Análise de regressão da água disponível atual acumulada	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Acumulado mensal de precipitação no período de estudo.....	22
Tabela 2 - Parâmetros do conteúdo de água, densidade do solo e composição granulométrica nos pontos amostrais STb, CTb, STa e CTa.....	25
Tabela 3 - Duração e acumulados de escoamento e precipitação por evento no período de estudo	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. ARTIGO	14
2.1 RESUMO	14
2.2 INTRODUÇÃO.....	14
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.3.1 Descrição da área e obtenção dos dados	17
2.3.1.1 <i>Precipitação e escoamento superficial</i>	18
2.3.1.2 <i>Conteúdo de água no solo e obtenção de parâmetros do solo</i>	18
2.3.2. Cálculos de armazenamento e água disponível	20
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.4.1. Armazenamento atual relativo de água no solo	23
2.4.2. Água disponível atual relativa	32
2.5 CONCLUSÃO.....	40
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
3 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
APÊNDICE A - CONTEÚDO DE ÁGUA NA CAPACIDADE DE CAMPO ESTIMADO COM BASE NA DINÂMICA DO CONTEÚDO DE ÁGUA MEDIDO PELOS SENSORES PARA A CAMADA DE 0-0,10 m DO PONTO STa	45
APÊNDICE B - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS VALORES DE ARMAZENAMENTO POTENCIAL E ÁGUA DISPONÍVEL POTENCIAL	46

1. INTRODUÇÃO

Os processos hidrológicos são altamente variáveis e complexos em todas as escalas, não sendo prático ou viável observar rotineiramente esses processos, seja na escala de um poro do solo ou de uma encosta (SIVAPALAN, 2006). Além disso, os processos hidrológicos do solo são influenciados por diversos fatores como as mudanças na cobertura do solo, variabilidade climática, cobertura vegetal e práticas agrícolas utilizadas (LI et al., 2009; TOOHEY et al., 2018; SUZUKI et al., 2014; ZWARTENDIJK et al., 2017).

Diferentes práticas agrícolas são implementadas com o objetivo de aumentar a produtividade e conservar os recursos naturais, como o solo e a água. Utilizar um conjunto de práticas conservacionistas do solo pode auxiliar no aumento da eficiência do sistema de produção agrícola. Uma prática conservacionista muito utilizada é o terraceamento, que é muito eficiente se for integrado com o preparo adequado, o cultivo apropriado e a manutenção da cobertura do solo (DORREN E REY, 2004).

Com o terraceamento ocorre a redução da velocidade da enxurrada, do potencial de desagregação e do transporte dos agregados do solo, ocasionando a diminuição da erosão e a subdivisão do volume do escoamento superficial, possibilitando maior infiltração da água no solo (CALEGARI E COSTA, 2010). A absorção de água pelo camalhão aumenta a capacidade de infiltração instantânea de água e a eficiência na absorção da água de enxurradas (CASTRO, 2001). Em conjunto, as características da precipitação, relevo, vegetação e características do perfil do solo também são importantes na dinâmica da água no solo (MINELLA et al., 2010).

Espera-se que os sistemas agrícolas com menores taxas de erosão produzam menor quantidade de sedimentos e possuam melhores taxas de infiltração de água no solo, o que, por conseguinte, elevaria a capacidade de armazenamento de água no solo (MENDONÇA E FERNANDES, 2010). Porém, ainda não há a comprovação científica que o armazenamento de água disponível no solo é afetado pelo terraceamento.

No Brasil, suspeitava-se que o sistema plantio direto por si só controlaria as perdas de solo, e isso levou muitos agricultores e técnicos a retirarem - parcial ou totalmente - os terraços (CAVIGLIONE et al, 2010). Porém, a continuidade da erosão do solo e perda de água das lavouras evidenciou que os terraços foram equivocadamente eliminados das lavouras após adoção do sistema plantio direto (DENARDIN et al., 2008). A recomendação de reintrodução

dos terraços precisa de forte base científica que aponte claramente quais são os seus benefícios no sistema de produção agrícola. Essa verificação ganha mais relevância se for feita em locais onde se pode contrastar áreas semelhantes (mesmo tipo de solo, clima, topografia, cultivo) com e sem o uso de práticas de redução do escoamento superficial e aumento da infiltração, como o terraceamento.

2. ARTIGO

2.1 RESUMO

Os terraços agrícolas diminuem o escoamento superficial e aumentam a infiltração. Entretanto, a contribuição do terraceamento para o armazenamento de água no solo e para o armazenamento de água disponível às plantas ainda não está bem compreendida. O objetivo deste estudo foi analisar uma série de dados de conteúdo de água no solo, monitorados em área com e sem terraços, para avaliar se existe associação entre terraços e armazenamento de água disponível em Nitossolo sob plantio direto. Para isso, duas bacias pareadas de ordem zero cultivadas em plantio direto, com e sem terraços, foram monitoradas por dois anos. Foram obtidos dados referentes ao conteúdo de água no solo, na capacidade de campo e ponto de murcha permanente, precipitação e escoamento. O armazenamento de água disponível foi mais elevado quanto mais espessa a profundidade considerada e as variações foram mais acentuadas nas primeiras camadas nas duas bacias, sendo os pontos do topo com menor variação. A presença de terraços afeta positivamente o armazenamento de água disponível para as plantas em anos com menores acumulados de precipitação. Em anos com maiores acumulados de precipitação, a presença de terraços não interfere no armazenamento de água disponível para as plantas, mas atua no controle do escoamento superficial. Existiu associação positiva entre o terraço e a água disponível atual, mais evidente na posição onde mais terraços à montante foram considerados.

2. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, as práticas de terraceamento para atividades agrícolas em diferentes regiões do mundo são utilizadas para mitigar a erosão do solo e estabilizar encostas (TAROLLI et al., 2018). Os terraços produzem uma série de benefícios, incluindo a diminuição do escoamento superficial, redução da erosão do solo, aumento da infiltração, redirecionamento do excesso de fluxo superficial de água e incremento na retenção de água (FERRO-VÁZQUEZ et al., 2017). A denominação dos terraços muda de acordo com o interesse, distribuição geográfica, tipo e estrutura (WEI et al., 2016). No Brasil, os terraços de infiltração são os mais

comuns, cujo objetivo é reter em seu canal a água escoada da área de captação à montante, possibilitando que a água infiltre gradativamente no solo.

Ao reduzir o comprimento do declive, os terraços aumentam a capacidade de armazenamento temporário da umidade na superfície do solo (CHOW et al., 1999). Em um estudo na Uganda com três terraços de bancada, observou-se que árvores cultivadas no terraço superior tem a capacidade de modificar as propriedades hidrológicas do solo, melhorando o armazenamento de água no terraço superior e intermediário, mas não no terraço inferior (SIRIRI et al., 2013).

O incremento efetivo no armazenamento de água no solo (Armz) em áreas com terraços não ocorre em todos os eventos de precipitação e nem em todos os eventos de precipitação que causam escoamento. Quando não há escoamento superficial, o incremento de Armz causado pela precipitação não tem relação com a presença de terraços. Se a precipitação for suficiente para saturar áreas com e sem terraço e toda a água retida pelo terraço infiltrou no solo antes de cessar o evento, então o incremento relativo de Armz de áreas com terraços em relação a áreas sem terraços é zero. Mesmo que tenha havido perda de água por escoamento em área sem terraço e maior infiltração em área com terraço, se ambas as áreas estão igualmente saturadas ao final do evento não há diferença de Armz entre elas. Porém, haverá benefício efetivo no Armz em áreas com terraços sempre que (i) a precipitação não for suficiente para saturar as áreas e a água retida pelo terraço infiltra e nela incrementa o Armz em relação a áreas sem terraço, e (ii) houver água retida pelo terraço após cessar eventos que também saturaram áreas sem terraço. Nesse caso, o benefício efetivo no Armz acontece porque em área com terraço o início da dessaturação do solo é retardado porque há infiltração após cessar o evento de precipitação.

Pelas considerações acima verifica-se que o benefício efetivo no Armz em áreas com terraço pode ser avaliado também pelo atraso que o terraço causa no decréscimo do Armz. Se esse atraso se mantiver até ocorrerem novos eventos de precipitação, o solo em áreas com terraço estará com maior Armz quando inicia nova infiltração. Conseqüentemente, a diferença de Armz em favor de áreas com terraço pode apenas se propagar no tempo se a infiltração for a mesma em áreas com e sem terraço; ou aumentar, se houver maior infiltração em área com terraço. Porém, conforme mencionado anteriormente, essa defasagem maior no Armz em área

com terraço desaparece se a precipitação for suficiente para saturar áreas com e sem terraço e toda a água retida pelo terraço infiltrou no solo antes de cessar o evento.

Para as plantas, o armazenamento de água disponível é o compartimento de água no solo mais importante, já que a água dos demais compartimentos é pouco ou quase nada acessada pelo sistema radicular (VAN LIER, 2010). Por isso, o benefício para as plantas decorrente de maior Armz em áreas com terraço depende de quanto ganho haverá de armazenamento de água disponível (AD), que tem sido considerado o armazenamento de água entre os limites de capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) (CARLESSO e SANTOS, 1999). Além disso, as plantas se beneficiarão se o aumento no armazenamento de AD acontecer na camada enraizada do perfil de solo (DALMAGO et al., 2009).

A interferência do terraço no balanço hídrico do solo e na disponibilidade de água para as plantas depende da combinação do dimensionamento dos terraços com fatores de solo, de cobertura, de manejo e meteorológicos (CHEN et al., 2020). Por exemplo, o tempo de retardo para o início da dessaturação é diretamente proporcional à quantidade de água acumulada e inversamente proporcional à permeabilidade do solo (ARAUJO, 2017). Solos com maior teor de argila são, geralmente, menos permeáveis e retém mais água nos limites θ_{cc} e θ_{pmp} (MORGAN, 2005). Efeito semelhante é causado pela compactação (SILVA et al., 2006). Nem sempre há relação direta entre Armz e AD (CARLESSO e SANTOS, 1999). Em estados elevados de compactação em plantio direto, a diminuição da disponibilidade de água para as plantas pode ocorrer por impedimento à penetração das raízes, redução da infiltração, da permeabilidade ao ar e da condutividade hidráulica (TORMENA et al., 2004; CAMARA e KLEIN, 2005; CHEN et al., 2014; DE ALMEIDA et al., 2018, SUZUKI et al., 2007).

No campo é improvável que as condições desse conjunto de fatores controladores da dinâmica da água sejam as mesmas em áreas com e sem terraço. Consequentemente, a manifestação da interferência do terraço no Armz e AD não é de simples dedução. Por isso, o monitoramento de uma mesma área com e sem terraços, embora seja uma atividade trabalhosa, é adequada para identificar a relação dos terraços com Armz e AD. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar uma série de dados de conteúdo de água no solo, monitorados em área com e sem terraços, para avaliar se existe associação entre terraços e armazenamento de água disponível em Nitossolo sob plantio direto.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em duas bacias pareadas de ordem zero, visando reduzir a interferência diferenciada de fatores controladores do processo hidrológico como clima, relevo, solo, uso e manejo. Considerou-se para este estudo um conjunto de dados do período de 01/03/2016 a 28/02/2017 e de 01/03/2017 a 28/02/2018, totalizando 729 dias. O conjunto contém dados de perfil de solo, como textura, densidade, conteúdo atual de água e os limites de conteúdo de água na saturação, no ponto de murcha permanente e na capacidade de campo. Dados de precipitação, escoamento superficial e ocupação da área durante o período de estudo também foram utilizados. Na sequência, será feita uma breve descrição da área de estudo e da obtenção dos dados e, posteriormente, serão descritos os procedimentos de cálculo e análise dos resultados.

2.3.1 Descrição da área e obtenção dos dados

Os dados mencionados a seguir estão detalhadamente descritos nas dissertações de LONDERO (2015) e PEREIRA (2017). Por isso, na descrição do local de estudo e nos subitens seguintes, a metodologia de obtenção dos dados será mencionada sucintamente.

O local de estudo é constituído por duas bacias pareadas de ordem zero, situadas na área experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), localizada no município de Júlio de Castilhos, RS (29°13'39" de latitude sul e 53°40'38" de longitude oeste, com altitude de 514 m). O relevo é suave ondulado, e a declividade varia de 5 a 13 % na área. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018), bem drenado e com baixa fertilidade natural. O clima predominante na região é do tipo Cfa, subtropical úmido, conforme a classificação de Köppen, com uma precipitação média anual de 1678 mm, distribuída regularmente ao longo do ano.

As duas bacias eram cultivadas sob semeadura direta com sucessão soja e trigo/nabo/milho. A bacia com área de 2,43 ha é conduzida sem práticas mecânicas de controle do escoamento superficial. A bacia ao lado, com área de 2,35 ha, é conduzida com plantio em nível e prática mecânica para controle do escoamento superficial. A encosta dessa bacia é ligeiramente mais íngreme e mais longa, por isso foi escolhida para construção de cinco terraços

de infiltração de base média, fechados nas suas extremidades. A entrada de água nas bacias é originada da precipitação, sendo que não há contribuição de água vinda de área externa das bacias. Dados fisiográficos mais detalhados com tabelas e mapas de cada bacia podem ser encontrados em LONDERO (2015).

Em cada bacia foram dispostos dois pontos amostrais denominados STa, STb, CTa e CTb. Os pontos STa e STb correspondem respectivamente à posição alta e baixa do relevo na bacia sem terraços, e os pontos CTa e CTb correspondem respectivamente à posição alta e baixa do relevo na bacia com terraços. O ponto CTa foi disposto entre o primeiro e o segundo terraço, enquanto o ponto CTb ficou entre o quarto e o quinto (último) terraço.

2.3.1.1 Precipitação e escoamento superficial

Os dados de precipitação e escoamento superficial foram obtidos e cedidos pelo Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Erosão e Hidrologia de Superfície (GIPEHS) da Universidade Federal de Santa Maria. A precipitação foi monitorada por meio da utilização de um pluviógrafo que registrou a variabilidade temporal (a cada 2 minutos) da chuva e de dois pluviômetros que mediram o acumulado da chuva (em 24 horas), instalados junto às seções de monitoramento da vazão. Para medir o escoamento superficial foi instalada na saída de cada bacia um canal tranquilizador acoplado a uma calha H para medir o nível de água durante os eventos. A vazão é obtida com uma curva-chave cota-vazão, específica para as dimensões da calha.

2.3.1.2 Conteúdo de água no solo e obtenção de parâmetros do solo

O conteúdo de água no solo foi medido com sensores FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) do tipo CS616 conectados a armazenadores de dados (*Data Logger CR1000*). Em cada ponto amostral foi aberta uma trincheira até 1,60 m de profundidade, onde foram identificadas oito camadas de solo delimitadas por avaliação morfológica. Os sensores FDR foram instalados na porção mediana de cada camada e programados para registrar o conteúdo de água no solo a cada 30 minutos. Os registros feitos usando a curva de calibração genérica fornecida pelo fabricante foram corrigidos com uma equação de ajuste, realizada no trabalho de PEREIRA (2017). Para gerar essa equação, foram comparados dados registrados pelos

sensores e os dados medidos com coleta de solos (em diferentes datas e conteúdo de água no solo).

Nas oito camadas de cada ponto amostral foram coletadas cinco amostras de solo com estrutura preservada em anéis metálicos e uma amostra de solo com estrutura não preservada. Com essas amostras foram determinados o conteúdo de água do solo na saturação (θ_s), no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), densidade e análise granulométrica.

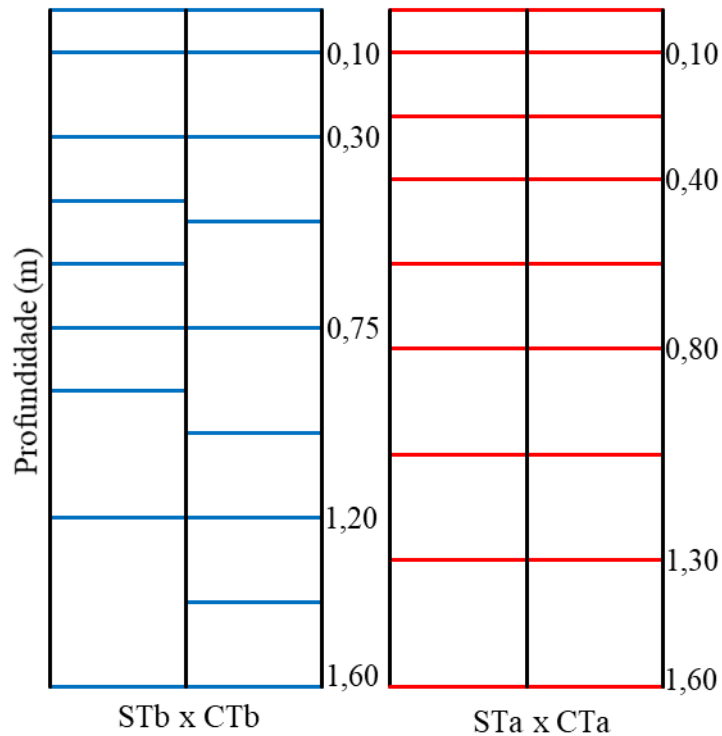
Para obter θ_s , foi fixado nas amostras um pano na base do cilindro com um atílio de borracha, saturadas com água por capilaridade durante 24 h e posteriormente pesadas. O θ_{pmp} foi determinado em psicrômetro de ponto de orvalho (WP4), sendo o conteúdo gravimétrico de água multiplicado pela relação densidade do solo/densidade da água para ser expresso em base volumétrica. A densidade foi calculada pela razão entre a massa do solo seco em estufa de cada amostra com estrutura preservada e o volume do solo (volume do cilindro). A análise granulométrica nas amostras de solo com estrutura não preservada foi realizada pelo método da pipeta, conforme descrito em SUZUKI et al. (2015).

O conteúdo de água do solo na capacidade de campo (θ_{cc}) em cada camada foi estimado com base na dinâmica do conteúdo de água medido pelos sensores. O θ_{cc} foi definido como o conteúdo de água (θ) a partir do qual a taxa de decréscimo do θ , depois de o solo estar saturado ou próximo à saturação pelos eventos de chuva, passava a ser visivelmente bem menor a ponto de ser possível considerar desprezível a drenagem profunda. Para reduzir a incerteza, foram considerados os dados de todo o período, procurando-se encontrar visualmente o θ que melhor coincidia com o critério mencionado no conjunto de eventos em que o θ foi elevado até o de saturação ou próximo dele (Apêndice A).

Os limites de muitas camadas não eram coincidentes nos pontos STb e CTb (Figura 1). Para que esses pontos fossem comparados, considerando em ambas camadas com limite inferior coincidente, camadas individuais foram agrupadas de maneira a formar camadas para fins de cálculo (descrição a seguir) com as espessuras 0 - 0,10, 0 - 0,30, 0 - 0,75, 0 - 1,20, 0 - 1,60 m.

Nos pontos STa e CTa, embora houvesse coincidência do limite das camadas (Figura 1), elas também foram agrupadas para reduzir o número de camadas para fins de cálculo, o que resultou camadas com as espessuras 0 - 0,10, 0 - 0,40, 0 - 0,80, 0 - 1,30, 0 - 1,60 m.

Figura 1 - Profundidade das camadas nos pontos STb, CTb, STa e CTa



Fonte: Autora (2020).

2.3.2. Cálculos de armazenamento e água disponível

Para os cálculos de armazenamento e água disponível foram utilizadas integrais discretas ao longo do perfil, considerando sempre a superfície como limite superior da camada. Os cálculos descritos a seguir foram aplicados para todas as medições individuais do conteúdo de água no solo para cada leitura do sensor. Nos momentos em que havia alguma falha de leitura do conteúdo de água no solo de alguma das camadas de um ponto, o cálculo naquele momento era cancelado nos dois pontos pareados (STb e CTb ou STa e CTa).

O armazenamento potencial e atual acumulado foram calculados com as equações (1) e (2):

$$\text{ArmzP}_n = \sum_{i=1}^n \theta_{si} \times L_i \quad (1)$$

$$\text{ArmzA}_n = \sum_{i=1}^n \theta_i \times L_i \quad (2)$$

Em que ArmzP_n (mm) e ArmzA_n (mm) são, respectivamente, o armazenamento potencial e o armazenamento atual acumulados até a camada n ; θ_{si} ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$), θ_i ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$) e L_i (mm) são, respectivamente, o conteúdo de água na saturação, conteúdo de água atual e a espessura da i -ésima camada, e n é o número de camadas consideradas.

O armazenamento atual relativo foi calculado com a equação (3):

$$\text{ArmzR}_n = \frac{\text{ArmzA}_n}{\text{ArmzP}_n} \quad (3)$$

Em que ArmzR_n (-) é o armazenamento atual relativo até a camada n considerada.

A água disponível potencial e atual acumuladas foram calculadas com as equações (4) e (5):

$$\text{ADP}_n = \sum_{i=1}^n (\theta_{cci} - \theta_{pmpi}) L_i \quad (4)$$

$$\text{ADA}_n = \sum_{i=1}^n (\theta_i - \theta_{pmpi}) L_i \quad (5)$$

Em que ADP_n (mm) e ADA_n (mm) são, respectivamente, a água disponível potencial e água disponível atual acumulada até a camada n ; θ_{cci} ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$), θ_{pmpi} ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$) e L_i (mm) são, respectivamente, o conteúdo de água na capacidade de campo, o conteúdo de água no ponto de murcha permanente e a espessura da i -ésima camada, e n é o número de camadas consideradas.

A água disponível atual relativa foi calculada com a equação (6):

$$\text{ADR}_n = \frac{\text{ADA}_n}{\text{ADP}_n} \quad (6)$$

Em que ADR_n (-) é a água disponível atual relativa até a camada n considerada.

Para cada camada avaliada foi gerada uma curva de permanência para a frequência acumulada do armazenamento atual relativo e da água disponível atual relativa. Estas variáveis foram dispostas em ordem crescente, onde a frequência acumulada de cada valor individual foi calculada de acordo com a equação (7):

$$F_{ni} = \frac{P_{ni}}{N} \times 100 \quad (7)$$

Em que F_{ni} (%), é a frequência acumulada até a observação ni , p_{ni} é a posição de uma observação ni na série e N é o número total de observações.

Para verificar a correspondência do armazenamento atual e da água disponível atual foi utilizada a análise de regressão linear de cada camada com terraço em função da respectiva camada sem terraço.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à precipitação média anual em Júlio de Castilhos (1678 mm), a precipitação acumulada (1354 mm) na primeira metade do período de estudo (março de 2016 até fevereiro de 2017) foi menor que a acumulada (1956 mm) na segunda metade (março de 2017 até fevereiro de 2018) (Tabela 1). Devido a essa diferença, discutiremos como os dois períodos distintos de precipitação acumulada interferiram na relação dos terraços com o armazenamento atual relativo de água no solo e na água disponível atual relativa.

Tabela 1 – Acumulado mensal de precipitação no período de estudo

(continua)

Mês	---- Precipitação (mm) ----	
	2016/2017	2017/2018
Março	261,7	176,2
Abril	186,9	209,7
Maiο	40,3	126,4
Junho	4,2	112,9

Tabela 2 – Acumulado mensal de precipitação no período de estudo

(conclusão)

Mês	---- Precipitação (mm) ----	
	2016/2017	2017/2018
Julho	96,8	8,8
Agosto	93,4	174,9
Setembro	44,3	167,2
Outubro	279,3	260,7
Novembro	104,2	141
Dezembro	113	154
Janeiro	50,6	197,6
Fevereiro	79,2	227
Total	1354	1956

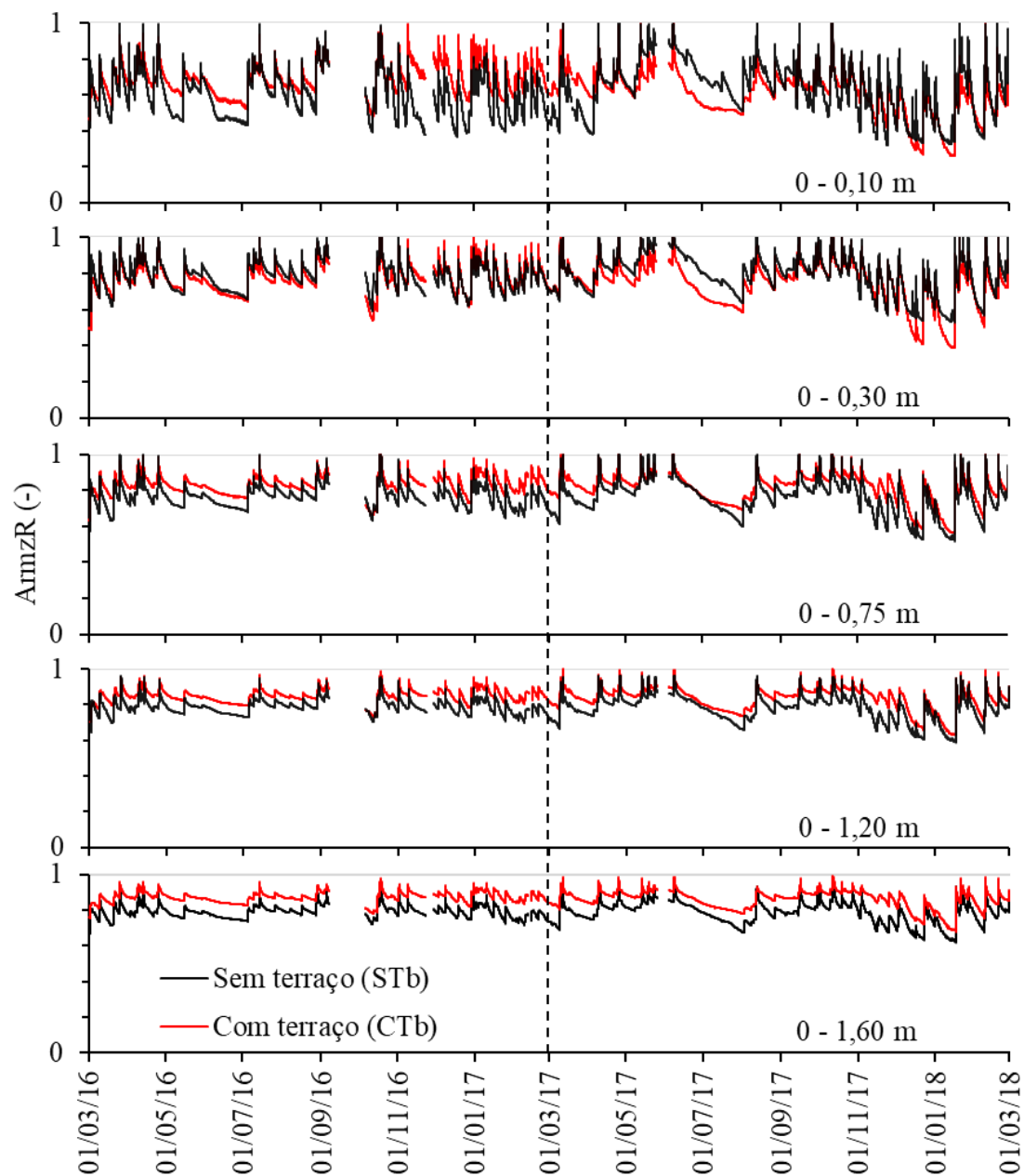
Fonte: GIPEHS (2019).

2.4.1. Armazenamento atual relativo de água no solo

Nos pontos próximos ao exutório, na primeira metade do estudo (março de 2016 até fevereiro de 2017) o ArmzR no ponto CTb foi maior e menos variável do que em STb em todas as camadas, exceto entre fevereiro e novembro de 2016 na camada de 0 - 0,30 m (Figura 2). O ArmzR foi mais próximo do ArmzP quanto mais profundo estava o limite inferior da camada.

O comportamento distinto do ArmzR na camada 0 - 0,30 m durante fevereiro até novembro de 2016 pode ser atribuído aos parâmetros do solo. Em todos os pontos avaliados, a maior densidade foi observada na camada 0,10 - 0,30 m (Tabela 2). Segundo Denardin et al. (2012), a redução da capacidade de armazenamento de água pode ser ocasionada por uma camada adensada e/ou compactada, situada entre 0,05 a 0,20 m da superfície do solo. Os valores de θ_s também foram menores na camada 0,10 - 0,30 m em todos os pontos.

Figura 2 - Armazenamento atual relativo nos pontos STb e CTb



Fonte: Autora (2020).

Tabela 3 - Conteúdo de água, densidade do solo e composição granulométrica nos pontos amostrais STb, CTb, STa e CTa

(continua)

Camada	Profun. m	θ_s	θ_{pmp}	θ_{cc}	Ds g cm ⁻³	Areia	Silte %	Argila
----- STb -----								
1	0 - 0,10	0,44	0,21	0,37	1,39	30,41	26,33	43,36
2	0,10 - 0,30	0,40	0,24	0,39	1,55	30,03	22,62	47,35
3	0,30 - 0,45	0,42	0,24	0,39	1,42	22,20	22,93	54,87
4	0,45 - 0,60	0,46	0,26	0,38	1,36	17,29	20,12	62,29
5	0,60 - 0,75	0,48	0,30	0,39	1,29	11,67	16,33	72,00
6	0,75 - 0,90	0,50	0,29	0,42	1,21	12,08	26,95	60,97
7	0,90 - 1,20	0,51	0,30	0,43	1,17	7,41	23,44	69,15
8	1,20 - 1,60	0,52	0,28	0,44	1,10	7,97	17,05	74,98
----- CTb -----								
1	0 - 0,10	0,42	0,16	0,35	1,49	39,28	32,71	28,01
2	0,10 - 0,30	0,37	0,19	0,36	1,58	36,58	29,75	33,67
3	0,30 - 0,50	0,38	0,19	0,37	1,51	31,61	31,24	37,15
4	0,50 - 0,75	0,46	0,24	0,41	1,51	26,77	27,75	45,48
5	0,75 - 1,00	0,47	0,25	0,42	1,28	18,93	30,31	50,76
6	1,00 - 1,20	0,46	0,28	0,42	1,30	16,54	26,92	56,54
7	1,20 - 1,40	0,46	0,22	0,43	1,18	21,82	34,59	43,59
8	1,40 - 1,60	0,46	0,25	0,43	1,17	19,10	37,56	43,34
----- STa -----								
1	0-0,10	0,42	0,17	0,35	1,41	39,67	26,72	33,61
2	0,10-0,25	0,38	0,19	0,37	1,56	36,08	24,26	39,66
3	0,25-0,40	0,41	0,21	0,37	1,42	31,48	23,43	45,09
4	0,40-0,60	0,44	0,22	0,36	1,37	25,79	21,01	53,20
5	0,60-0,80	0,45	0,26	0,41	1,35	18,93	16,16	64,91
6	0,80-1,05	0,47	0,28	0,41	1,30	14,13	11,94	73,93
7	1,05-1,30	0,49	0,29	0,41	1,27	15,46	13,75	70,79

Tabela 4 - Conteúdo de água, densidade do solo e composição granulométrica nos pontos amostrais STb, CTb, STa e CTa

(conclusão)

Camada	Profun. m	θ_s	θ_{PMP}	θ_{CC}	Ds g cm ⁻³	Areia	Silte %	Argila
8	1,30-1,60	0,47	0,27	0,41	1,27	17,55	16,39	66,06
----- CTa -----								
1	0 - 0,10	0,45	0,18	0,34	1,39	38,45	29,88	31,67
2	0,10 - 0,25	0,37	0,18	0,34	1,60	37,86	27,25	34,89
3	0,25 - 0,40	0,42	0,18	0,35	1,38	33,43	26,32	40,25
4	0,40 - 0,60	0,42	0,18	0,36	1,35	28,86	27,10	44,04
5	0,60 - 0,80	0,43	0,24	0,39	1,39	23,96	24,62	51,42
6	0,80 - 1,05	0,49	0,28	0,38	1,27	16,82	20,20	62,98
7	1,05-1,30	0,50	0,28	0,38	1,24	16,38	13,87	69,75
8	1,30-1,60	0,50	0,25	0,40	1,22	19,08	21,01	59,91

Fonte: Adaptado de Pereira (2017).

θ_s : conteúdo de água do solo na saturação. θ_{PMP} : conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente. θ_{CC} : conteúdo de água no solo na capacidade de campo. Ds: densidade do solo.

Na safra da soja de 2016/2017 (plantio em novembro e colheita em abril), o Armz na camada 0 - 0,30 m foi maior no ponto CTb. Além disso, quando o acumulado da precipitação foi menor (Tabela 1), o ArmzR foi maior no ponto CTb (Figura 2). Isso evidencia o benefício do terraço em anos com menores acumulados de precipitação, onde a seca pode prejudicar a produção agrícola. Em um estudo na Etiópia foi observado que os agricultores que haviam feito o terraceamento conseguiram produzir duas safras de cevada por ano, usando a umidade residual proporcionada pelo terraceamento (ADGO et al., 2013).

No segundo ano, de março de 2017 até fevereiro de 2018, o comportamento do ArmzR oscilou durante o período (Figura 2). Em março, o ArmzR foi maior em todas as camadas no ponto CTb. De abril de 2017 até fevereiro de 2018, o ArmzR foi maior no ponto STb praticamente por todo o período nas camadas 0 - 0,10 m e 0 - 0,30 m, exceto nos meses de setembro e outubro de 2017, quando o ArmzR foi maior no ponto CTb na camada 0 - 0,10 m.

Entre julho e agosto de 2017 houve uma queda brusca do ArmzR (Figura 2), possivelmente devido ao baixo acumulado da precipitação no período (Tabela 1). O ArmzR foi maior nas camadas 0 - 0,75 m, 0 - 1,20 m e 0 - 1,60 m no ponto CTb de março de 2017 até fevereiro de 2018. Em áreas agrícolas propensas à seca na Etiópia, quando os terraços (de pedra ou de valas) são utilizados os danos da seca são mais moderados, diminuindo os riscos da produção agrícola (KATO et al., 2011; KOSMOWSKI, 2018). Para o caso do nosso estudo, no ano mais seco os terraços trazem o benefício de manter o ArmzR maior (Figura 2).

Durante o estudo, o escoamento superficial (Tabela 3) foi maior na bacia sem terraço em relação à bacia com terraço, demonstrando a eficiência do terraço em conter o escoamento. Como o acumulado da precipitação foi maior no segundo período (março de 2017 até fevereiro de 2018), foi mais evidente o quanto os terraços atuaram diminuindo o escoamento. Isso indica que nos anos mais chuvosos, mesmo que os terraços não contribuam para o aumento do ArmzR, eles atuam diminuindo o escoamento superficial e a perda de solo (LONDERO et al., 2018). A presença de terraços não interfere quando as chuvas não promovem escoamento superficial.

Tabela 5 - Duração e acumulados de escoamento e precipitação por evento no período de estudo (continua)

Data	Precipitação		Bacia	Escoamento	
	Duração (h)	mm		Duração (h)	mm
25/03/2016	22:06	137,13	ST	22:06	1,370
13/04/2016	06:10	47,00	ST	06:10	1,196
25/04/2016	28:10	38,50	ST	28:10	0,096
17/10/2016	06:32	66,00	ST	06:06	1,706
	06:32	48,3	CT	02:48	1,127
18/10/2016	18:30	111,21	ST	19:16	4,938
	19:18	95,13	CT	08:30	0,301
13/05/2017	14:48	105,03	ST	15:13	8,154
	14:48	105,03	CT	14:40	0,622
18/05/2017	09:44	45,00	ST	06:40	1,283
	09:44	45,00	CT	07:15	0,038

Tabela 6 - Duração e acumulados de escoamento e precipitação por evento no período de estudo
(conclusão)

26/05/2017	15:34	157,00	ST	13:45	30,039
	15:36	-	CT	20:55	20,617
27/05/2017	18:06	56,59	ST	17:40	6,150
	22:05	56,59	CT	25:20	5,609
30/05/2017	14:28	40,48	ST	13:20	1,941
	14:28	40,48	CT	18:05	0,309
07/06/2017	18:52	98,9	ST	18:45	21,570
	18:52	106,00	CT	18:40	9,590
13/08/2017	09:40	36,20	ST	05:25	1,416
	25:04	30,00	CT	05:20	0,383
11/10/2017	06:08	65,00	ST	12:20	17,020
	06:08	65,00	CT	12:10	1,864
12/10/2017	12:04	44,00	ST	12:05	6,895
	12:04	44,00	CT	12:15	7,111
17/01/2018	1:54	4,84	ST	9:30	2,63
	8:20	56,20	CT	8:20	0,28
21/01/2018	23:02	68,64	ST	20:05	6,57
	22:26	170,24	CT	20:00	0,35
27/01/2018	09:40	41,80	ST	4:00	0,01
	08:00	41,80	CT	02:34	0,02
10/02/2018	04:13	92,75	ST	03:00	31,54
	04:19	92,75	CT	03:00	20,06
11/02/2018	00:32	16,91	ST	02:00	0,26
20/02/2018	10:51	58,52	ST	03:22	4,73
	10:51	58,52	CT	02:40	0,49

Fonte: GIPEHS (2019).

Em maio de 2017, um período com baixa cobertura do solo devido à colheita da soja, os terraços auxiliaram diminuindo o escoamento em mais de 10 mm (Tabela 3). Os resultados do estudo de Londero (2015), realizados nas mesmas bacias hidrográficas, indicam que o terraceamento reduziu em quase 90% o volume de escoamento superficial.

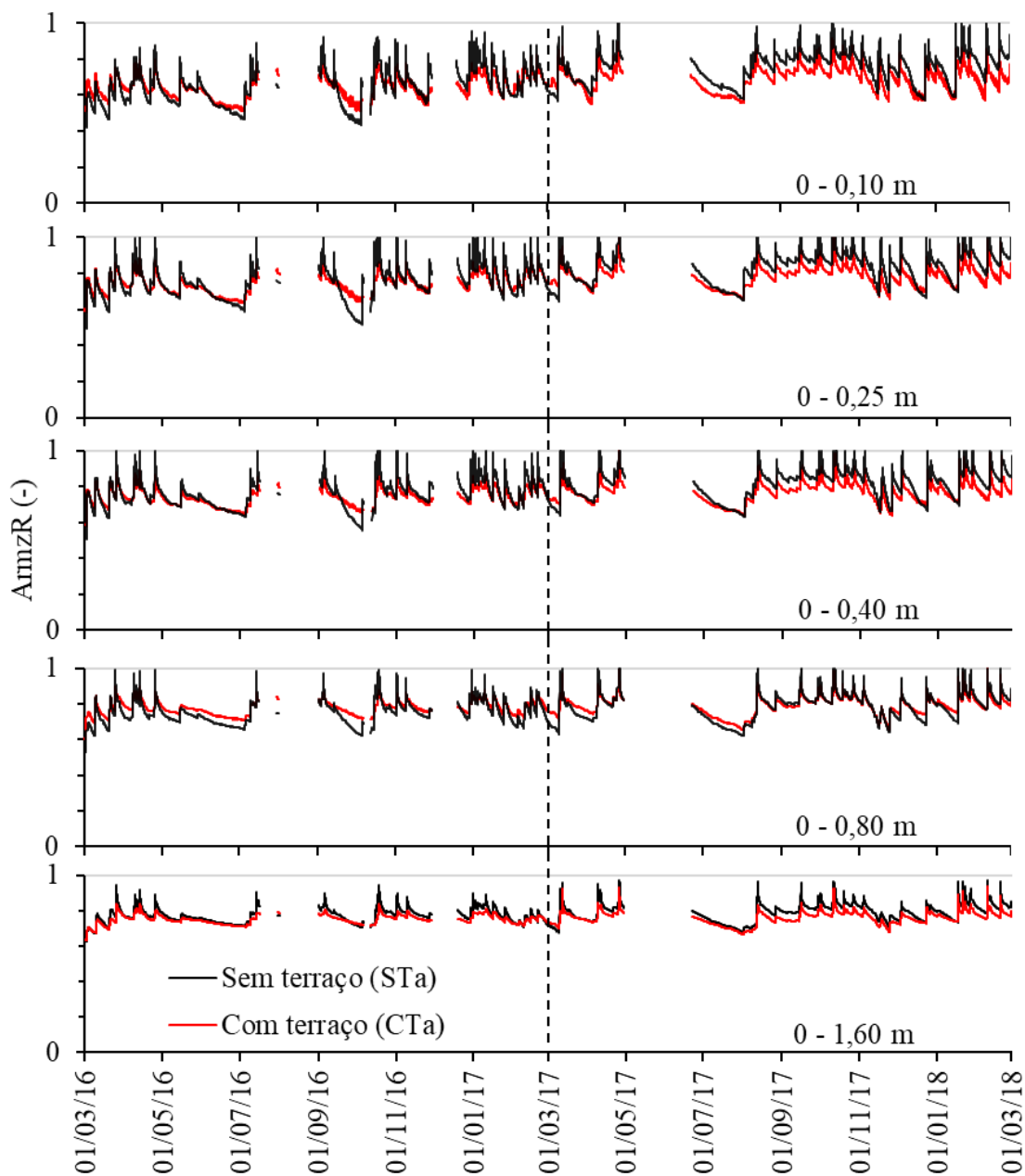
Nos pontos do topo, na primeira metade do estudo (março de 2016 até fevereiro de 2017), houve pouca diferença no ArmzR entre CTa e STa (Figura 3). Considerando a camada 0 - 0,10 m, o ArmzR no ponto CTa foi ligeiramente maior de março até julho de 2016; entre setembro e outubro de 2016 (onde houve o decréscimo do ArmzR mais acentuado no ponto STa). Na mesma camada, entre agosto e setembro, algumas vezes o ArmzR foi maior no ponto STa e outras no ponto CTa; e nos meses seguintes até fevereiro de 2017 o ArmzR foi maior no ponto STa.

Nas camadas 0 - 0,25 m e 0 - 0,40 m (Figura 3), o comportamento do ArmzR nos dois pontos (STa e CTa) foi semelhante na camada de 0 - 0,10 m. Diferentemente, na camada 0 - 0,80 m, o ArmzR foi predominantemente maior no ponto CTa. Na camada 0 - 1,60 m, o comportamento do ArmzR foi semelhante ao das camadas 0 - 0,10 m, 0 - 0,25 m e 0 - 0,40 m, mas manteve-se mais próximo do ArmzP.

Na segunda metade do estudo (março de 2017 até fevereiro de 2018), quando houve o maior acumulado de precipitação (Tabela 1), o ArmzR foi maior em todas as camadas do ponto STa (Figura 3). O ArmzR foi bem superior no ponto STa nas camadas de 0 - 0,10, 0 - 0,25 m, 0 - 0,40 m e 0 - 1,60 m. Na camada de 0 - 0,80 m houve menor variação e maior proximidade entre o ArmzR nos dois pontos.

Na camada de 0 - 0,80 m, o ArmzR no ponto CTa foi ligeiramente maior. No topo da bacia, os efeitos do terraço não foram muito perceptíveis, considerando que o ArmzR foi maior no ponto STa na maioria das vezes. Como apenas um terraço está a montante do ponto CTa, isso pode ter contribuído para que os efeitos do terraceamento não fossem percebidos. Em conjunto, comprimentos de declive longos seriam os locais onde os terraços se somariam às práticas de conservação com maior sucesso (CALEGARI E COSTA, 2010).

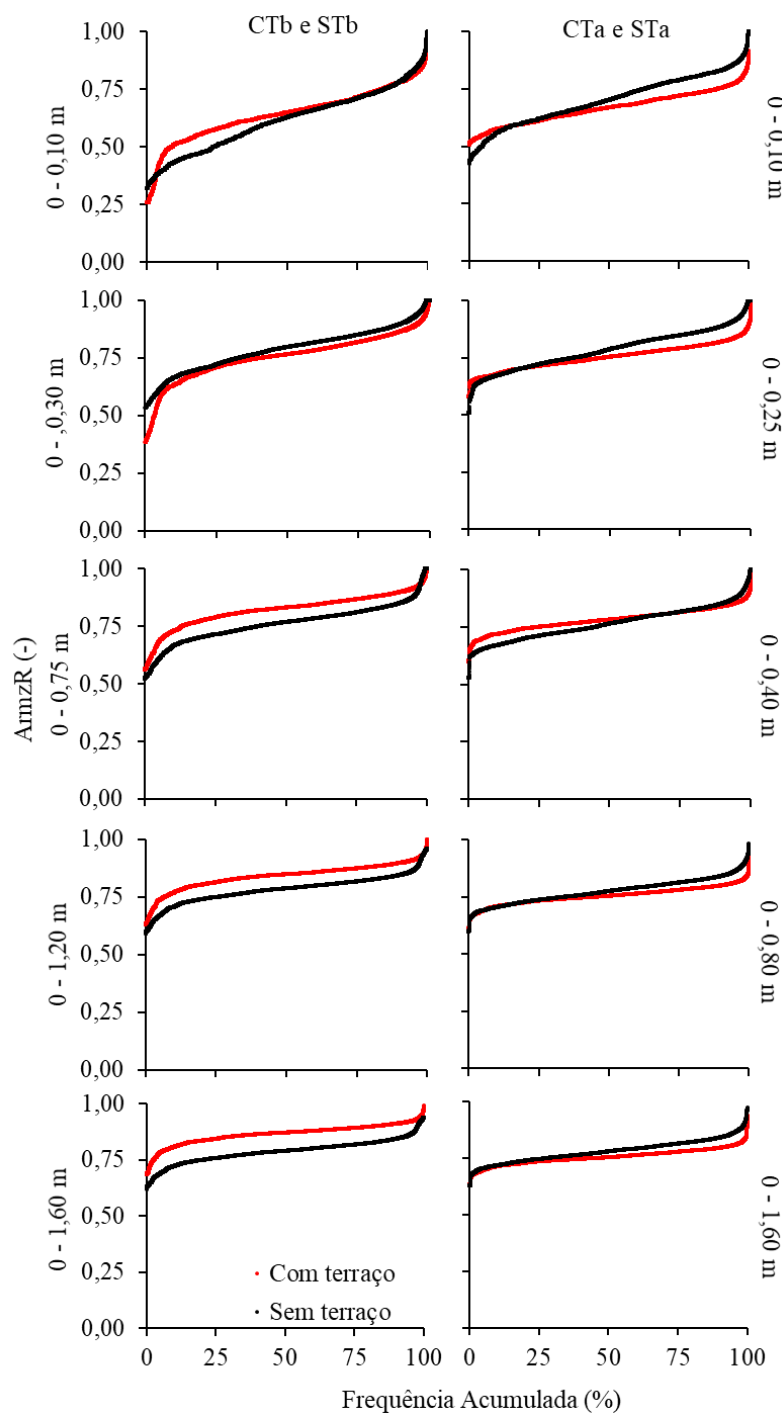
Figura 3 - Armazenamento atual relativo nos pontos STa e CTa



Fonte: Autora (2020).

A soma dos valores da frequência acumulada do ArmzR foi maior no ponto CTb, exceto na camada de 0 - 0,30 m (Figura 4).

Figura 4 - Curva de permanência do armazenamento atual relativo



Fonte: Autora (2020)

O ArmzR ficou distribuído entre 0,75 e 1,00 na camada 0 - 1,60 m do ponto CTb, enquanto no ponto STb ficou entre 0,60 e 0,80. No topo da bacia, a soma dos valores da frequência acumulada foi um pouco maior no ponto STa. A proximidade entre a frequência acumulada do armazenamento no topo da bacia foi maior, indicando maior semelhança entre o armazenamento nos dois locais.

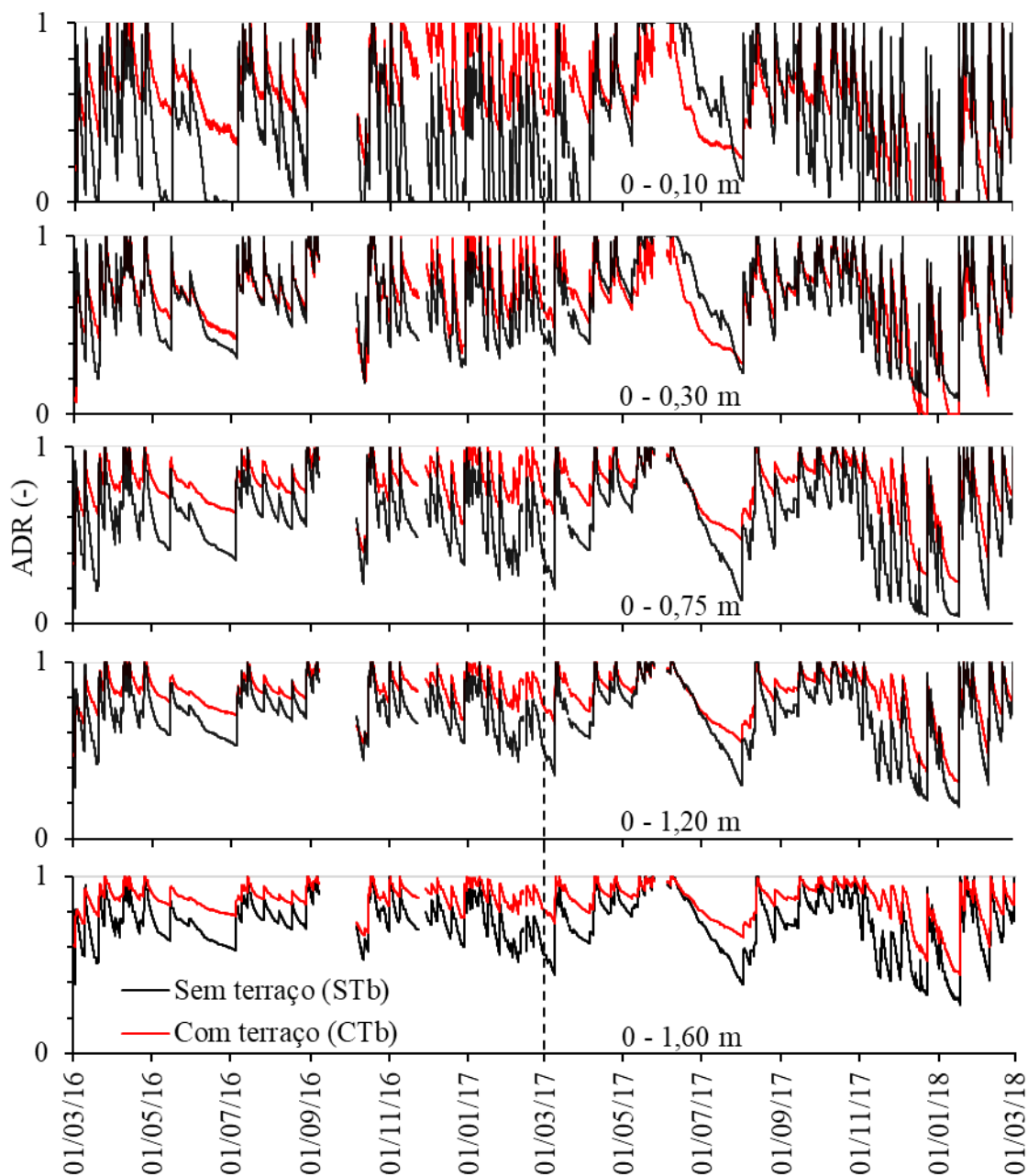
2.4.2. Água disponível atual relativa

Nos pontos da base da bacia, no primeiro ano (março de 2016 até fevereiro de 2017) a ADR foi maior na bacia com terraços em todas as camadas (Figura 5). Entre outubro de 2016 e março de 2017, a ADR na camada de 0 - 0,10 m no ponto STb ficou próxima de zero várias vezes. Como na safra da soja (entre novembro de 2016 e abril de 2017) a bacia com terraços teve maior ADR na camada de 0 - 0,10 m, isso favorece o bom desenvolvimento da cultura. Com mais ADR há menor déficit hídrico na bacia com terraços. O déficit hídrico é o mais importante e frequente estresse que afeta a cultura da soja (BALARDIN et al., 2011).

Como o acumulado de chuva foi menor que a média na maior parte do ano e a ADP é a mesma em STb e CTb, a maior ADR pode ser atribuída aos terraços. O teor de umidade do solo aumentou em áreas com terraços de bancada na China, indicando que os terraços beneficiam a retenção e reposição de água no solo em terras secas (WEI et al., 2019). Zhang et al. (2017) verificou que os terraços prolongam o tempo de permanência da água no solo e aumento da infiltração, captando 113,1% a mais de água disponível relativa em comparação à encosta sem terraço. Os resultados de Rashid et al (2016) demonstraram que os terraços interceptaram e reduziram a velocidade do escoamento, o que conseqüentemente aumentou o teor de umidade do solo.

No segundo período do estudo, a ADR foi maior na camada 0 - 0,10 m no ponto CTb de março até maio de 2017 (Figura 5). De junho até agosto de 2017, a ADR nessa camada foi maior no ponto STb. No período restante, houve muita variação da ADR. Apesar da ADR ser um pouco maior no ponto STb, no ponto CTb ocorreu um amortecimento no decréscimo da ADR, que se manteve mais estável ao longo do tempo. Na camada 0 - 0,30 m, as interpretações foram semelhantes às da camada 0 - 0,10 m, porém com menor variação.

Figura 5 - Água disponível atual relativa dos pontos STb e CTb



Fonte: Autora (2020).

As diferenças em favor do terraço ficaram mais evidentes nas demais camadas, onde a ADR foi maior no ponto CTb durante todo o período (Figura 5). Quanto mais espessa a camada de solo considerada mais claro foi o benefício do terraço. A diferença de 7 mm em favor da

ADP no ponto CTb, em comparação ao ponto STb (Apêndice B), pode ter favorecido a manutenção de maior ADP no CTb. Além disso, a capacidade de infiltração tende a ser menor em solos mais argilosos (MORGAN, 2005). Assim, o maior teor de argila em praticamente todas as camadas no ponto STb do que no ponto CTb (Tabela 2) pode ter contribuído para menor infiltração e ADR nesse ponto.

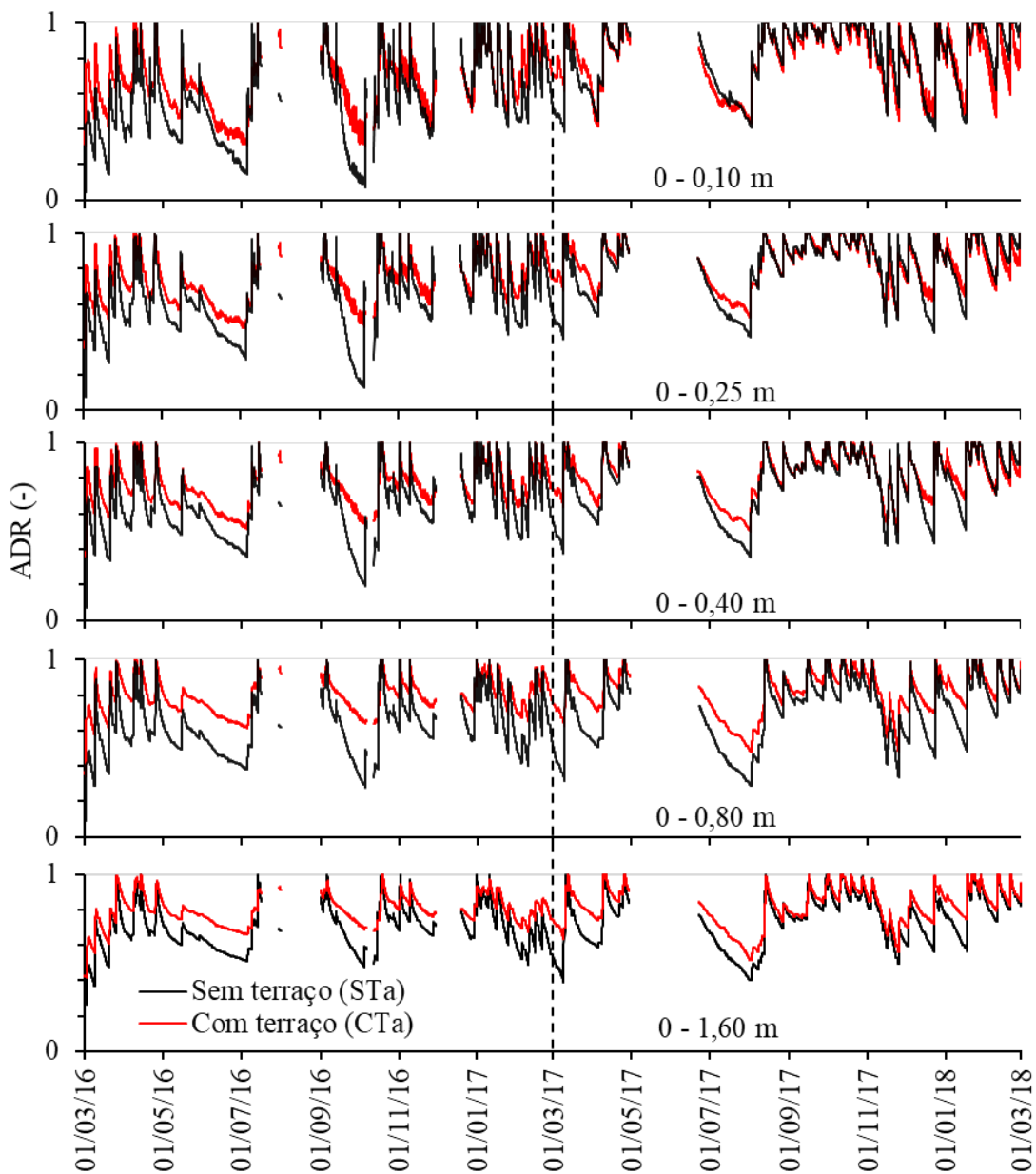
Nos pontos do topo, no primeiro período do estudo (março de 2016 até fevereiro de 2017), em todas as camadas a ADR foi maior no ponto CTa (Figura 6). As propriedades do solo entre os pontos CTa e STa são muito parecidas (Tabela 2), permitindo uma comparação mais confiável entre os dois pontos. Com apenas um terraço já é possível notar que há ganho na ADR, que foi maior no ponto CTa.

No segundo período do estudo a ADR foi maior no ponto STa na maioria das vezes (Figura 6). Os meses onde a ADR foi maior no ponto CTa foram março, dezembro e parte de janeiro de 2018.

Quando no canal do terraço ocorre acúmulo de água, a infiltração continua por mais tempo do que na bacia sem terraço. Na bacia sem terraço, o decréscimo do conteúdo de água por drenagem inicia imediatamente após o término da precipitação. Ao contrário, no solo sob o canal do terraço onde se acumulou água, a manutenção da infiltração retarda o início do decréscimo do conteúdo de água. Conseqüentemente, a capacidade de campo ou qualquer outro valor de conteúdo de água dentro dos limites de água disponível ocorrem em momento posterior no local com terraço do que no local sem terraço. Essa defasagem no tempo pode ser percebida ao se comparar os pontos com terraço com os pontos sem terraço (Figura 6). No estudo de Lü et al (2019) a água infiltrou rapidamente no terraço alterando o conteúdo de água no perfil até a profundidade de 0,40 m, e abaixo dessa profundidade a distribuição do conteúdo de água permaneceu relativamente constante.

O benefício do terraço se expressa melhor em dias posteriores às chuvas ou em períodos onde as chuvas são escassas, quando há menos água no solo. É possível notar claramente que logo após a chuva, ocorre um amortecimento do decréscimo de água disponível pelo terraço, com diminuição gradual da água disponível na área com terraço (Figura 6). Quanto menor a ADR na bacia sem terraço, mais evidentes são os benefícios do terraço e a diferença em favor do terraço.

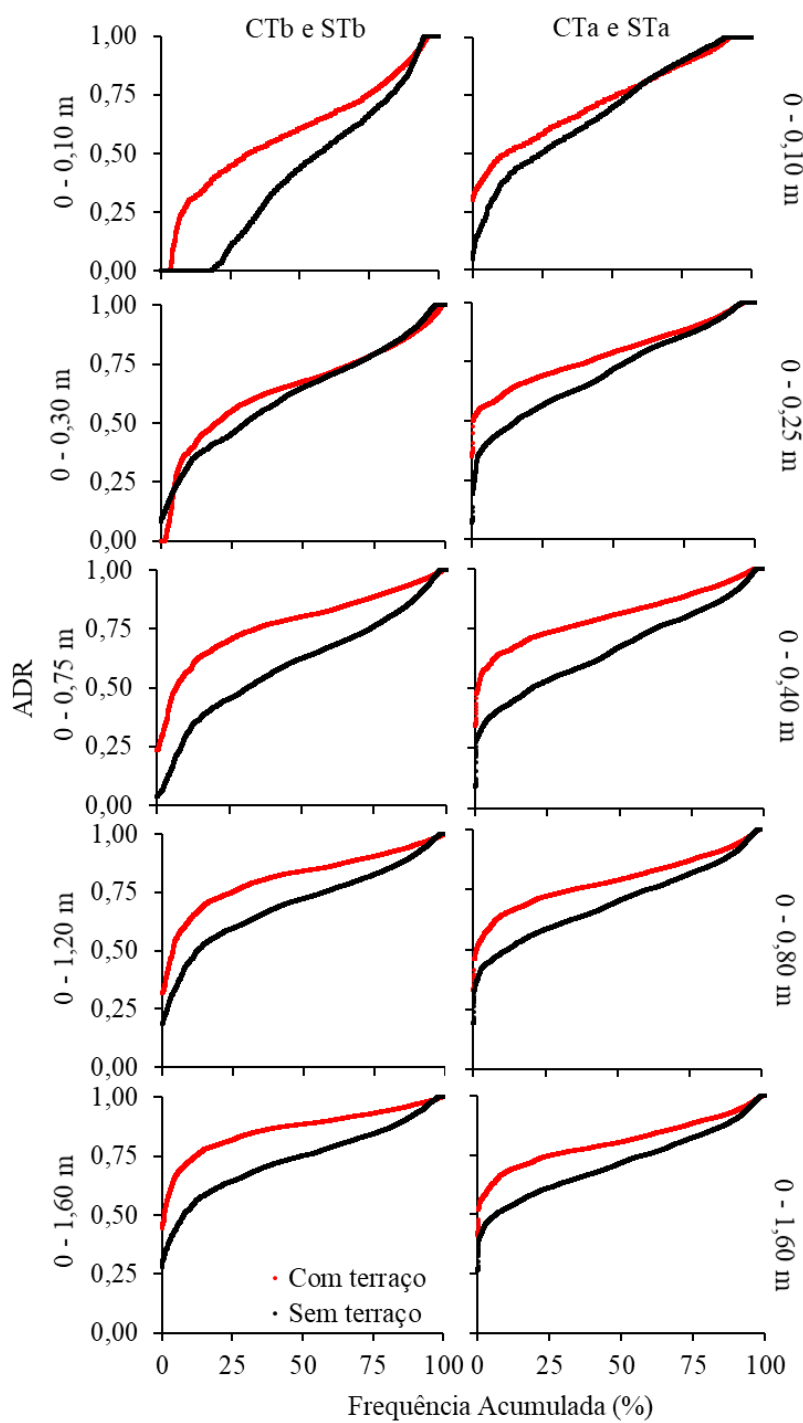
Figura 6 - Água disponível atual relativa dos pontos STa e CTa



Fonte: Autora (2020).

A soma dos valores da frequência acumulada do ADR foi maior nos dois pontos da bacia com terraço, na maioria das vezes (Figura 7).

Figura 7 - Curva de permanência da água disponível atual relativa



Fonte: Autora (2020).

A vantagem dos terraços na ADR ficou menos evidente na camada de 0 - 0,10 m de todos os pontos, mas principalmente dos pontos do topo (Figura 7). Nas demais camadas a vantagem dos terraços vai ficando maior, até que na camada de 0 - 1,60 m. É possível notar que grande parte dos valores da frequência acumulada ficam entre 0,75 e 1,00 nos pontos CTb, e 0,50 e 0,90 no ponto CTa. Enquanto nos pontos sem terraço (STb e STa), a frequência acumulada da ADR é praticamente sempre menor.

A análise de regressão foi realizada considerando todo o período de estudo. Quando o ArmzA foi baixo, ele tendeu a ser maior na bacia com terraço (Figura 8). Ao contrário, quando o ArmzA foi alto sua tendência foi ser maior na bacia sem terraço.

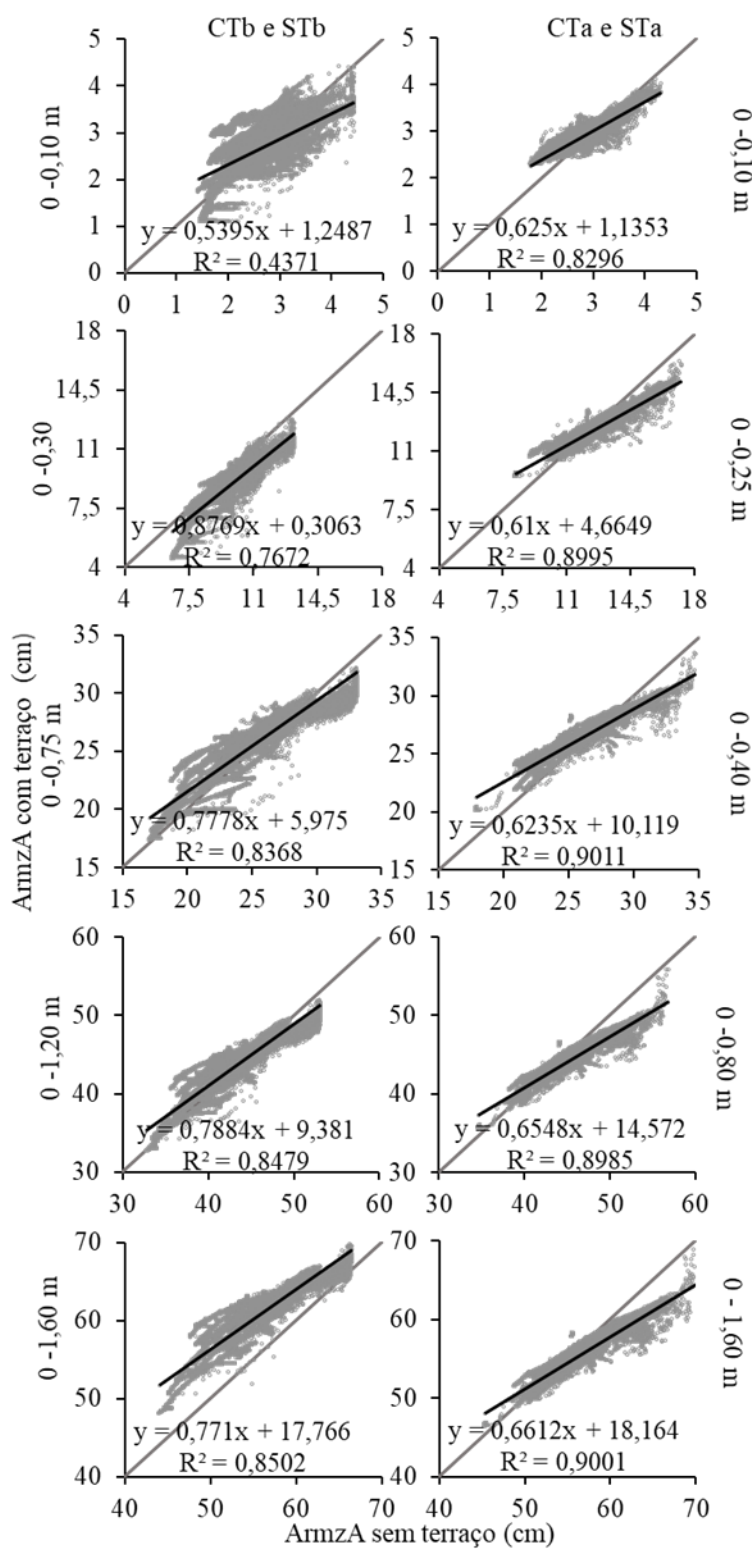
A comparação entre os pontos CTb e STb deve ser feita com algumas ressalvas. O ArmzP e a ADP de algumas camadas foram maiores em CTb que em CTa (Apêndice B). Essa diferença em favor de CTb pode ter favorecido que nele houvesse maior ArmzA e ADA nas camadas 0-0,75, 0-1,20 e 0-1,60 m (Figura 8 e Figura 9).

Na comparação entre os pontos CTb e STb, o maior ArmzA na área com terraço pode ser atribuído também ao solo, devido o maior ArmzP (Figura 8) (Apêndice B). A variabilidade da dinâmica do conteúdo de água no solo é controlada pelas propriedades do solo, topografia, hidrogeologia e uso da terra (RIVERA et al., 2014). Na camada 0 - 1,60 m, a maioria dos dados está acima da reta 1:1, por isso o ArmzA é predominantemente maior na bacia com terraço.

Ao contrário dos pontos CTb e STb, a comparação dos pontos CTa e STa não é afetada por diferenças de ArmzP entre eles (Apêndice B). O ArmzA foi maior no ponto STa, e com o aumento da profundidade a correlação do ArmzA é maior (Figura 9). Xu et al (2016) relatou que a variabilidade espacial do armazenamento de água no solo com terraços diminuiu com o aumento da profundidade do solo.

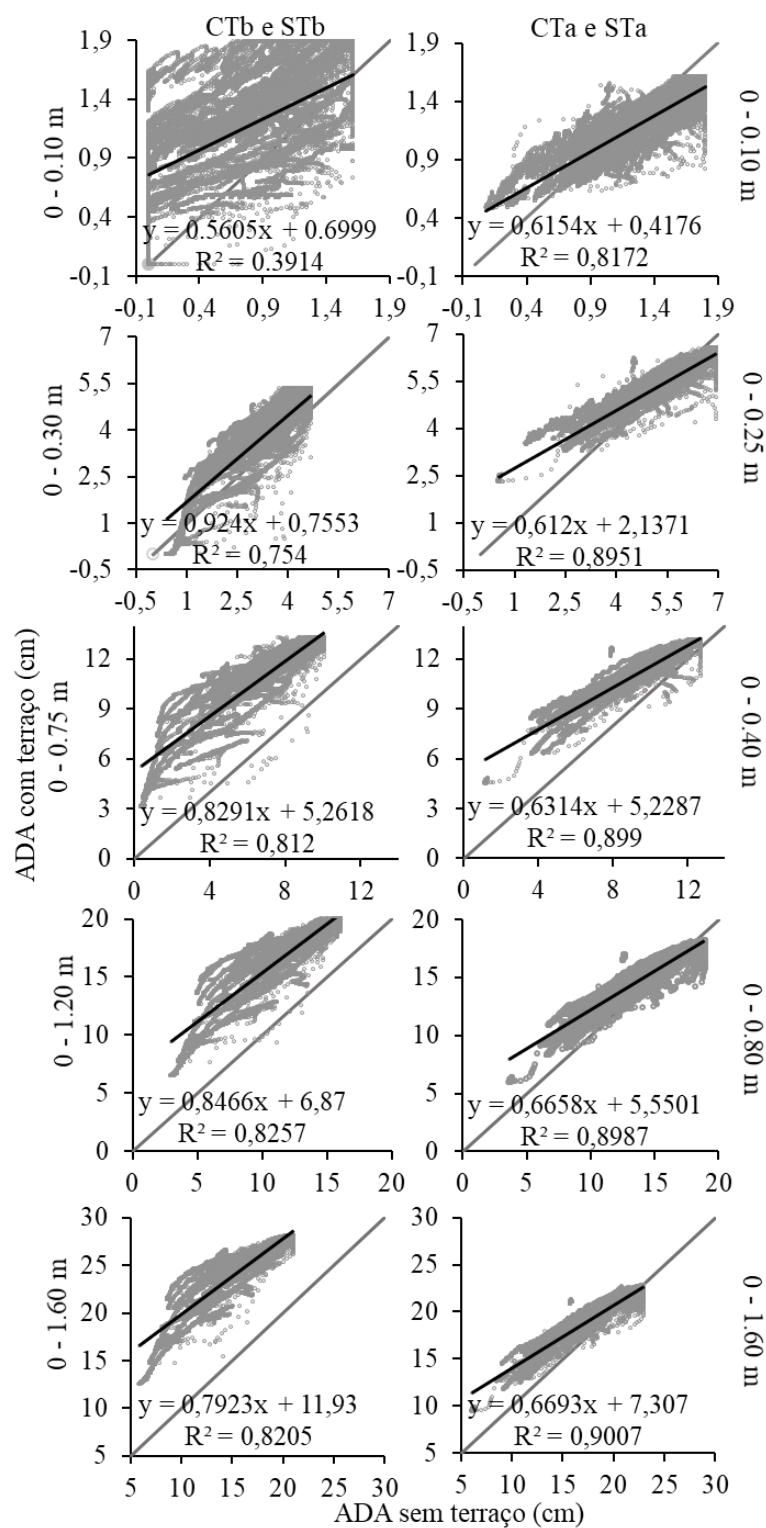
A análise de regressão da ADA indica que existiu associação positiva entre o terraço e a ADA (Figura 9). Essa associação é mais evidente nos baixos conteúdos de água no solo. Ao contrário, quando o conteúdo de água no solo foi alto e se aproximou da ADP houve mais água disponível nas áreas sem terraço (comparação STa e CTa e na camada 0 - 1,20 m do ponto STb). A associação entre a ADA e os terraços ficou mais evidente na posição onde mais terraços à montante foram considerados (CTb) e com o aumento da espessura da camada considerada.

Figura 8 - Análise de regressão do armazenamento atual acumulado



Fonte: Autora (2020).

Figura 9 - Análise de regressão da água disponível atual acumulada



2.5 CONCLUSÃO

A presença de terraços afeta positivamente o armazenamento de água disponível para as plantas em anos com menores acumulados de precipitação. Em anos com maiores acumulados a presença de terraços não interfere no armazenamento de água disponível para as plantas, mas atua no controle do escoamento superficial. Esse efeito é percebido melhor quanto mais espessa a camada considerada a partir da superfície do solo, e os benefícios são diretamente dependentes do número de terraços à montante.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADGO, E.; TESHOME, A.; MATI, B. Impacts of long-term soil and water conservation on agricultural productivity: The case of Anjenie watershed, Ethiopia. **Agricultural Water Management**, v. 117, p. 55-61, 2013.

ARAUJO, P. S. **Análise do desempenho de um solo compactado utilizado na camada de cobertura de um aterro sanitário**. 2017. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2017.

BALARDIN, R. S. et al. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1120-1126, 2011.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 279-308, 2010.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa. v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa. v. 23, n. 1, p. 17-25, 1999.

CHEN, D.; WEI, W.; CHEN, L. How can terracing impact on soil moisture variation in China? A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. 105849, 2020.

CHEN, G.; WEIL, R. R.; HILL, R. L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil and Tillage Research**. v. 136, p. 61-69, 2014.

CHOW, T. L.; REES, H. W.; DAIGLE, J. L. Effectiveness of terraces/grassed waterway systems for soil and water conservation: A field evaluation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 54, n. 3, p. 577-583, 1999.

DALMAGO, G. A. et al. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 855-864, 2009.

DE ALMEIDA, W. S. et al. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**. v. 175, p. 130-138, 2018.

DENARDIN, J. E. et al. Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da agricultura conservacionista. **Passo Fundo: Embrapa Trigo**, p. 15, 2012.

FERRO-VÁZQUEZ, C. et al. When is a terrace not a terrace? The importance of understanding landscape evolution in studies of terraced agriculture. **Journal of Environmental Management**. v. 202, p. 500-513, 2017.

KATO, E. et al. Soil and water conservation technologies: a buffer against production risk in the face of climate change? Insights from the Nile basin in Ethiopia. **Agric. Econ**. v. 42, p. 593–604, 2011.

KOSMOWSKI, F. Soil water management practices (terraces) helped to mitigate the 2015 drought in Ethiopia. **Agricultural Water Management**. v. 204, p. 11-16, 2018.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. 2015. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2015.

LONDERO, A. L. et al. Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 3, p. 1159-1175, 2018.

LÜ, H. et al. Comparison of measured and simulated water storage in dryland terraces of the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 2, p. 299-306, 2009.

MERTEN, G. H. et al. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil e Tillage Research**.; v. 152, p.85-93, 2015.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Blackwell. Oxford. 304 p. 2005.

PEREIRA, C. A. **Adaptações na teoria de Green-Ampt para modelar a infiltração de água no solo**. 2017. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2017.

- RASHID, M. et al. The effectiveness of soil and water conservation terrace structures for improvement of crops and soil productivity in rainfed terraced system. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**. v. 53, n. 1, p. 241-248, 2016.
- RIVERA, D.; LILLO, M.; GRANDA, S. Representative locations from time series of soil water content using time stability and wavelet analysis. **Environ. Monit. Assess**, v. 186, p. 9075–9087, 2014.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Brasília. DF: Embrapa. 5. ed. rev. e ampl. 356 p. 2018.
- SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 842-847, 2006.
- SUZUKI, L. E. A. S. et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.
- SUZUKI, L. E. A. S. et al. Dispersion and flocculation of vertisol, alfisols and oxisols in southern Brazil. **Geoderma Regional**. v. 5, p. 64-70, 2015.
- TAROLLI, P.; RIZZO, D.; BRANCUCCI, G. Terraced Landscapes: Land Abandonment, Soil Degradation and Suitable Management. In: VAROTTO, M.; BONARDI, L.; TAROLLI, P. **World Terraced Landscapes: History, Environment, Quality of Life**. Springer, 357 p. 2018.
- TORMENA, C. A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.8, p.65-71, 2004.
- SIRIRI, D. et al. Trees improve water storage and reduce soil evaporation in agroforestry systems on bench terraces in SW Uganda. **Agroforestry systems**, v. 87, n. 1, p. 45-58, 2013.
- VAN LIER, Q. J. Disponibilidade de água às plantas. In: Van Lier. Q. J. (Ed): **Física do Solo**. 1. ed. Viçosa. Minas Gerais. p.183-298, 2010.
- WEI, W. et al. Global synthesis of the classifications, distributions, benefits and issues of terracing. **Earth-Science Reviews**. v. 159, p. 388-403, 2016.
- WEI, W. et al. The effects of terracing and vegetation on soil moisture retention in a dry hilly catchment in China. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 1323-1332, 2019.
- XU, G. et al. Temporal persistence and stability of soil water storage after rainfall on terrace land. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 11, p. 966, 2016.
- ZHANG, H. et al. Effects of terracing on soil water and canopy transpiration of *Pinus tabulaeformis* in the Loess Plateau of China. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 557-564, 2017.

3 CONCLUSÃO

A funcionalidade do terraço no aumento do armazenamento e água disponível é notada principalmente em condições de menor umidade do solo, como os dias posteriores às chuvas ou de baixos volumes de precipitação. Ao término da precipitação a infiltração continua por mais tempo na bacia com terraços, com diminuição gradual da água disponível. Já na bacia sem terraços, o decréscimo do conteúdo de água por drenagem inicia imediatamente após o término da precipitação.

As variações foram mais acentuadas nas primeiras camadas nas duas bacias, porém, a bacia com terraço após a precipitação cessar teve decréscimos menos acentuados. Os benefícios do terraço são mais evidentes quanto mais espessa a camada de solo considerada.

No ponto do topo da bacia, onde há menos terraços à montante, os efeitos do terraço não foram tão perceptíveis no armazenamento de água relativo. Mas tanto no topo quanto na base, o terraceamento afetou positivamente a água disponível relativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 279-308, 2010.

CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em terraços de infiltração**. 2001. 104 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2001.

CAVIGLIONE, J. H. et al. Espaçamento entre terraços em plantio direto. **IAPAR, Boletim Técnico**, 71, 59 p., Londrina: IAPAR, 2010.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. & SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam à degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v.18, p.33-34, 2008.

DORREN, L.; REY, F. A review of the effect of terracing on erosion. *Soil Conservation and Protection for Europe*. **Soil Conservation and Protection for Europe**. p. 9-108, 2004.

LI, Z. et al. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. **Journal of hydrology**, v. 377, n. 1-2, p. 35-42, 2009.

MENDONÇA, E. S.; FERNANDES, R. B. A. Manejo e conservação de solos no contexto dos serviços ambientais. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 255-277, 2010.

MINELLA, J. P. G. et al. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 105-122, 2010.

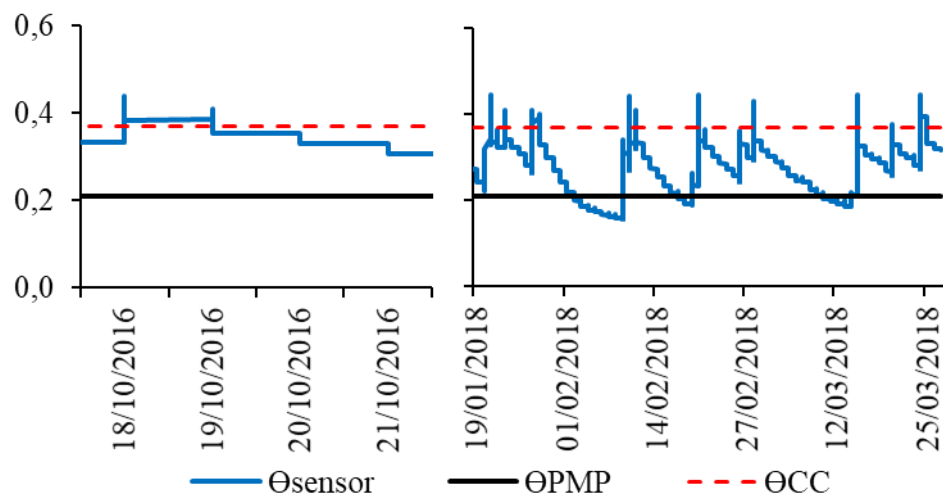
SIVAPALAN, M. Pattern, process and function: elements of a unified theory of hydrology at the catchment scale. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**, 2006.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem Cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 38, p. 94-106, 2014.

TOOHEY, R. C. et al. Effects of land use on soil properties and hydrological processes at the point, plot, and catchment scale in volcanic soils near Turrialba, Costa Rica. **Geoderma**, v. 315, p. 138-148, 2018.

ZWARTENDIJK, B. W. et al. Rebuilding soil hydrological functioning after swidden agriculture in eastern Madagascar. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 239, p. 101-111, 2017.

**APÊNDICE A - CONTEÚDO DE ÁGUA NA CAPACIDADE DE CAMPO ESTIMADO
COM BASE NA DINÂMICA DO CONTEÚDO DE ÁGUA MEDIDO PELOS
SENSORES PARA A CAMADA DE 0-0,10 m DO PONTO STa**



APÊNDICE B - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS VALORES DE ARMAZENAMENTO POTENCIAL E ÁGUA DISPONÍVEL POTENCIAL

