

VANESSA SCHIAVON LOPES

**ÁGUA NOS SOLOS DE PASTAGENS E DE FLORESTAS EM UNIDADES DE
PRODUÇÃO FAMILIARES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

L864a
2019

Lopes, Vanessa Schiavon, 1986-
Água nos solos de pastagens e de florestas em unidades de
produção familiares / Vanessa Schiavon Lopes. – Viçosa, MG,
2019.
xiii, 80 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Irene Maria Cardoso.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Pastagens - Manejo. 2. Infiltração. 3. Florestas.
4. Política pública. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 633.2

VANESSA SCHIAVON LOPES

**ÁGUA NOS SOLOS DE PASTAGENS E DE FLORESTAS EM UNIDADES DE
PRODUÇÃO FAMILIARES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

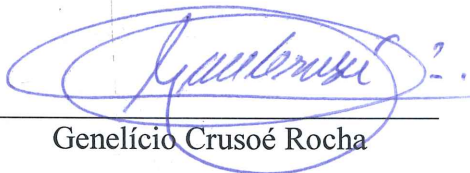
APROVADA: 19 de fevereiro de 2019.



Waldênia de Melo Moura



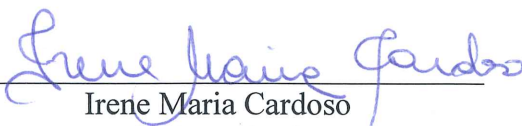
Eduardo de Sá Mendonça



Genelício Crusóé Rocha



Felipe Nogueira Bello Simas
(Coorientador)



Irene Maria Cardoso
(Orientadora)

*Aos meus pais Antônio e Madalena e
ao meu noivo Bruno Santos*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, sabedoria e por me permitir estar vivendo esta história, iluminando e me mostrando sempre os melhores caminhos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) por todo o suporte físico, técnico e intelectual fornecidos durante o treinamento de doutorado. À Capes e ao CNPq pela concessão da bolsa e à Fapemig pelo apoio ao projeto.

Ao SAAE por ter permitido realizar a pesquisa junto aos agricultores e por todo o apoio prestado.

Agradeço a minha orientadora Irene Cardoso, pela oportunidade, orientação, atenção, ensinamentos e conselhos. Por acreditar e não desistir, obrigada!

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Raphael Bragança pelos ensinamentos, competência e pelo profissionalismo, obrigada por tudo.

Ao meu co-orientador Prof. Felipe Simas por ter disponibilizado sua propriedade para execução do trabalho, pelos ensinamentos e disponibilidade na participação da banca, muito obrigada.

Ao Prof. Genelício por todo o ensinamento e disponibilidade na participação.

A pesquisadora Waldênia Moura por todos os ensinamentos, competência e ajuda prestada até aqui, muito obrigada!

Ao professor Eduardo de Sá Mendonça pela disponibilidade em participar da banca.

Ao Prof. Roberto Cecon, por me ajudar nas análises estatística, por ser sempre tão prestativo, solidário e uma pessoa sensacional.

Aos professores Elpidio e Márcio Francelino pelo apoio, por emprestar os aparelhos utilizados na tese e por todos ensinamentos.

Aos professores, servidores e terceirizados do Departamento de Solos da UFV pela ajuda e boa vontade na disponibilização dos laboratórios, limpeza, ensinamentos, pelos momentos de conversa e distração.

Agradeço a cada um dos agricultores que me receberam em suas casas. Em especial o agricultor Jorge Benedito, por ter disponibilizado sua propriedade para a realização da pesquisa, pelas conversas, conselhos e risos.

A Adriane do SAAE por toda a ajuda prestada, pela simpatia e boa vontade em tirar quaisquer dúvidas e esclarecimentos.

Ao Osmar Fernandes, Tamires e Angélica por toda a ajuda prestada na coleta dos dados no campo, nas análises realizadas no laboratório e pelos momentos de risada e descontração.

Ao Gustavo, Felipe, Iorrana e Tássio por ter sobrevoado a área com o drone e pela ajuda no processamento das imagens.

Ao José Maria pela ajuda na confecção dos gráficos, na tradução do artigo científico e por ser tão prestativo, obrigada.

Ao meu noivo Bruno, agradeço o companheirismo, carinho e força dispensados em momentos frágeis e fortes, por toda a ajuda prestada, tanto no trabalho, quanto espiritualmente, seu amor foi essencial para mim. Obrigada benzinho!

Aos meus amigos que tornaram essa caminhada mais leve, em especial: Maiara, Steliane, Silvane, Leliane, Thais, Adalgisa, Aristides, Laís, Sandro, Brauly, Valéria, Fernanda Almeida, Priscila, Mariana, Isabela, Rafael e Lucas.

A república Tipo Fiona, que foi e continuará sendo uma família para mim, por todos os momentos de distração, companheirismo, força, amizade, meu refúgio nos momentos tristes, um verdadeiro lar, obrigada por tudo irmanzinhas: Camilla, Tais, Thais, Victória, Josi, e as antigas moradoras e amigas Ariane e Tamires!

Aos meus irmãos Vinícius, Vagner e Victor e a minha cunhada Jéssica, pelos momentos alegres, risadas, conversas e por sempre torcerem por mim e me apoiarem sempre.

A minha sogra e sogro queridos e amados Cidinha e José Roberto por todo apoio, carinho, orações, que sempre me fizeram persistir, obrigada por tudo!

Finalmente, agradeço a toda minha família, pai, irmãos, cunhadas, tios, avós, primos e principalmente a minha amada mãe e amado pai, por todo carinho, apoio, atenção, cuidados,

orações, conversas, conselhos, abraços e por sempre acreditar em mim. Sem vocês, nada disso teria sentido! Obrigada por tudo, família!

BIOGRAFIA

Vanessa Schiavon Lopes nasceu na cidade de Ubá/MG no dia 19/06/1986, filha de Maria Madalena Schiavon Lopes e Antônio de Pádua Lopes. Em 2006 ingressou no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do sudeste de Minas Gerais no curso de Tecnólogo em Agroecologia, concluído em 2009. No mesmo ano fez a complementação e, em 2010, obteve o título de Bacharel em Agroecologia. No final de 2010 a início de 2013, trabalhou como bolsista do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D-café) na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) sob a orientação da Pesquisadora Waldênia de Melo Moura. Em março de 2013 iniciou o curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa (UFV), finalizando em 2015, quando iniciou o curso de doutorado, cuja tese é aqui apresentada, no mesmo departamento e instituição sob a orientação da Professora Irene Maria Cardoso.

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
Capítulo 1	8
Terraced pasture changes the soil moisture dynamics	8
ABSTRACT	8
1. INTRODUCTION	10
2. MATERIALS AND METHODS	11
2.1 Analyzes of soil physical properties	13
2.2 Soil moisture determination	14
2.3 Soil moisture determination by gravimetric method	15
2.4 Analyze of the efficiency of Ground Penetration Radar	16
2.5. Statistical analysis	16
4. RESULTS	16
4.1 Bulk density, microporosity, macroporosity, and hydraulic conductivity of the soils	16
4.2 Soil moisture determined by the gravimetric method	17
4.3 Water stored in one meter of soil depth	18
4.4 Maintaining soil moisture in depth	19
4.5 Soil moisture dynamics in depth	20
4.6 Soil moisture determined by GPR	21
5. DISCUSSION	23
5.1 Soil moisture dynamics	24
5.2 GPR efficiency	25
6. CONCLUSION	25
7. ACKNOWLEDGMENT	26
8. REFERENCE	26
Capítulo 2	30
Floresta secundária estabelecida em área de pastagem degradada melhora as propriedades hidráulicas do solo	30

1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
2.1 Área de estudo	32
2.2 Cobertura do solo.....	34
2.3 Amostragens dos solos	34
2.4 Características físicas, químicas e carbono orgânico do solo.....	34
2.5 Análise dos dados de Carbono (C)	35
2.6 Condutividade hidráulica saturada	35
2.7 Infiltração de água no solo.....	36
2.8. Análise estatística	37
3. RESULTADOS.....	37
3.1 Coberturas do solo nos diferentes usos e face de exposição solar.....	37
3.2 Características do solo	38
3.3 Estoque de carbono e acúmulo de carbono no solo da floresta secundária calculado em relação às pastagens.....	40
3.4 Condutividade hidráulica saturada	42
3.5 Taxa de infiltração constante nas diferentes pressões	43
4. DISCUSSÃO	45
4.1 Características físicas e químicas do solo.....	45
4.2 Carbono nos diferentes usos e face de exposição.....	46
4.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat) nos diferentes usos do solo e face de exposição solar	47
4.4 Taxa de infiltração constante nos diferentes usos e face de exposição solar	48
5. CONCLUSÃO	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
Capítulo 3.....	57
PERCEPÇÃO DOS AGRICULTORES SOBRE AS PRÁTICAS DE MANEJO DE	
ÁGUA E SOLO NA MICROBACIA DO RIO TURVO SUJO	57
1. INTRODUÇÃO	58
2. METODOLOGIA	59
2.1 ÁREA DE ESTUDO	59
2.2. Projeto do SAAE	61

2.3. Entrevistas semi-estruturadas	63
3. RESULTADOS.....	64
3.1 Percepção dos agricultores	64
3.2 Práticas de manejo	65
3.3 Os Problemas	66
3.4 Sobre a importância do projeto.....	67
3.5 Acompanhamento na execução do projeto.....	68
3.6. Perspectivas futuras	69
4. DISCUSSÃO	69
5. CONCLUSÃO	72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
ANEXO 1	79

RESUMO

LOPES, Vanessa Schiavon, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Água nos solos de pastagens e de florestas em unidades de produção familiares**. Orientadora: Irene Maria Cardoso. Coorientadores: Felipe Nogueira Bello Simas e Raphael Bragança Alves Fernandes.

O desmatamento das florestas tropicais para expansão das áreas agrícolas e pastagens, tem modificado drasticamente extensas áreas ao redor do mundo, o que altera o funcionamento dos processos biogeoquímicos e hidrológicos em bacias hidrográficas. A implementação de práticas de manejo e de conservação do solo em pastagens, como a construção de terraços, arborização e revegetação do terço superior dos morros, podem aumentar os serviços ecossistêmicos, como por exemplo, a provisão de água. O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa-MG (SAAE-Viçosa), em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA) e a Caixa Econômica Federal, implantou várias práticas de manejo de conservação do solo para a recuperação da bacia do rio Turvo Sujo, importante manancial de água que abastece municípios da microregião de Viçosa, na Zona da Mata mineira. Dentre as práticas, encontra-se a revegetação do terço superior dos morros, o que leva ao aumento da floresta secundária e que pode contribuir para mitigar os efeitos do desmatamento. Entretanto, os benefícios desta floresta para a recuperação das propriedades hidráulicas do solo, em especial onde o solo foi degradado por pastagens, ainda são pouco compreendidos e precisam ser melhor analisados. As práticas implementadas pelo SAAE nas bacia do Turvo Sujo foram avaliadas, a partir da opinião dos agricultores beneficiários diretos do projeto. A tese foi organizada em três capítulos, além da introdução geral e considerações finais. Os objetivos da tese foram: a) avaliar os impactos dos terraços em pastagens na umidade do solo; b) avaliar os efeitos da floresta secundária estabelecida em área de pastagem degradada sobre as propriedades hidráulicas dos solos e relaciona-las às faces de exposição solar e; c) identificar a percepção dos agricultores sobre as práticas de manejo do solo e água efetuadas em suas propriedades. O Capítulo 1 utilizou o método “Ground Penetrating Radar” (GPR) para estimar a umidade do solo nas áreas de pastagens terraceadas e não terraceadas e comparou com o método tradicional gravimétrico. Este estudo mostrou que o armazenamento de água em profundidade foi maior e mais uniforme em pastagem terraceada do que em pastagem não terraceada e que o método GPR pode ser utilizado para estimar o conteúdo de água no solo em bases volumétricas no campo de forma não invasiva. Os resultados do Capítulo 2

mostraram que a qualidade dos solos em ambas as áreas de floresta foi melhor do que nas áreas de pastagem e que diferentes faces alteram a qualidade do solo. A menor radiação (face leste) proporcionou maiores valores de macroporosidade, estoque de carbono e infiltração de água no solo que a face oeste (maior radiação). O Capítulo 3 utilizou entrevista semiestruturada para identificar a percepção dos agricultores sobre as práticas de manejo de solo e água implementadas em suas propriedades pelo SAAE e parceiros. A maioria dos agricultores mostrou consciência da importância das práticas de manejo do solo para reduzir a erosão e aumentar o volume de água nas nascentes. Eles avaliaram positivamente as práticas implantadas pelo SAAE, mas criticaram a falta de acompanhamento das mesmas após implantação. Alguns agricultores indicaram a necessidade de arborização das pastagens e cobertura do terço superior dos morros como técnicas para melhorar a dinâmica da água no solo. A opinião dos agricultores é importante para a efetividade das ações públicas e devem ser consideradas pelos órgãos públicos na busca de soluções mais integradas para que a agricultura se torne sustentável e resiliente.

ABSTRACT

LOPES, Vanessa Schiavon, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Water in pasture and forest soils in family production units** Advisor: Irene Maria Cardoso. Co-advisors: Felipe Nogueira Bello Simas and Raphael Bragança Alves Fernandes.

Deforestation of tropical forests to expand agricultural areas and pastures has dramatically altered extensive areas around the world, altering the functioning of biogeochemical and hydrological processes in watersheds. The implementation of soil management and conservation practices in pastures, such as the construction of terraces, afforestation and revegetation of the upper third of the hills, can increase ecosystem services, such as water supply. The Autonomous Water and Sewage Service of Viçosa-MG (SAAE-Viçosa), in partnership with the National Water Agency (ANA) and Caixa Econômica Federal, implemented a number of soil conservation management practices in the basin of the river Turvo Sujo, important water source that supplies municipalities of the microregion of Viçosa, in the Zona da Mata mineira, Brazil. Among the practices, included the revegetation of the upper third of the hills and which leads to the increase of secondary forest, which can contribute to mitigate the effects of deforestation. However, the benefits of this forest to the recovery of soil hydraulic properties in pastures are still poorly understood and need to be better analyzed. The practices implemented by the SAAE on farmer farms in the region were evaluated through the opinion of the farmers. The thesis was organized into three chapters, in addition to the general introduction and final considerations. The objectives of the thesis were: a) to evaluate the impacts of terraces on pastures in soil moisture; b) to evaluate the effects of secondary forest established in a degraded pasture area on the hydraulic properties of the soils and relate them to the faces of sun exposure; c) to identify the farmers' perception of the soil and water management practices carried out on their properties. Chapter 1 used the Ground Penetrating Radar (GPR) method to estimate soil moisture in the terraced and unmaned pasture areas and compared it with the traditional gravimetric method. This study showed that the water storage in depth was larger and more uniform in terraced pasture than in non-terraced pasture and that the GPR method can be used to estimate the soil water content in volumetric bases in the field non-invasively. The results of Chapter 2 showed that soil quality in both forest areas was better than in pasture areas and that different faces alter soil quality. The lower radiation (east face) provided higher values of macroporosity, carbon stock and water infiltration in the soil than the western face (higher radiation). Chapter 3 used

a semi-structured interview to identify farmers' perceptions about the practices of soil and water management implemented in their properties by SAAE and partners. Most farmers were aware of the importance of soil management practices to reduce erosion and increase the volume of water in the springs. They evaluated positively the practices implemented by the SAAE, but criticized the lack of follow-up after the implantation of the practices. Some farmers indicated the need for afforestation of the pastures and coverage of the upper third of the hills as techniques to improve soil water dynamics. Farmers' opinions are important for the effectiveness of public actions and should be considered by public agencies in the search for more integrated solutions so that agriculture becomes sustainable and resilient.

INTRODUÇÃO GERAL

A sociedade moderna tem enfrentado problemas relacionados às mudanças climáticas, perda de biodiversidade, degradação do solo e escassez na oferta e qualidade da água (Jerneck et al., 2011). O desmatamento das florestas tropicais para a expansão das áreas agrícolas e pastagens tem modificado drasticamente extensas áreas ao redor do mundo (Laurance et al., 2001), o que altera o funcionamento dos processos biogeoquímicos e hidrológicos em bacias hidrográficas (Germer et al., 2009).

Em muitas regiões a criação de gado ainda é a principal causa do desmatamento (Nepstad et al., 2006). Dentre as inúmeras alterações, a mudança no uso da terra para implantação de pastagens pode ocasionar a compactação e aumento da densidade do solo, resistência à penetração, redução da macroporosidade e condutividade hidráulica (Martínez e Zinck, 2004; McDowell et al., 2003), aumento do escoamento superficial (Germer et al., 2010) e redução na infiltração de água (Giertz e Diekkrueger, 2003; Savadogo et al., 2007).

Na Bacia Amazônica, por exemplo, onde ocorre grandes taxas de desmatamento (Achard et al., 2002), Alegre e Cassel (1996) verificaram redução de 30 % na infiltração de água no solo após 5 anos da implantação de pastagens.

O Bioma Mata Atlântica também sofreu intenso desmatamento para dar lugar inicialmente a lavouras de café e posteriormente às pastagens, que atualmente encontram-se, muitas delas, degradadas. A degradação do solo pelas pastagens afeta importantes serviços ecossistêmicos, como por exemplo, a provisão de água, devido a compactação do solo e redução da infiltração de água (Joly et al., 2014). A Zona da Mata de Minas Gerais, pertencente a este Bioma, possui 70% de suas terras ocupadas com pastagens e sofrido com a escassez de água. Registros históricos da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, uma das principais fontes de abastecimento do município de Viçosa, indica que, no período da seca, as vazões diminuíram de 12.000 L.min⁻¹ durante as décadas de 1970 e 1990 para 6.000 L.min⁻¹ mais recentemente (Gomes et al., 2012).

Além do manejo inadequado das pastagens, a falta de cuidado com as estradas, o manejo inadequado das pastagens, a falta de proteção das Áreas de Preservação Permanente (APP) e a falta de políticas públicas para apoiar práticas de conservação do solo e da água (Gomes et al., 2012), dentre outros, causam diminuição da vazão verificada nos cursos d'água de Viçosa.

A implementação de práticas de conservação do solo nas pastagens é importante para garantir a provisão dos serviços ecossistêmicos pelo solo. Práticas que levam à diminuição da erosão e ao aumento da infiltração da água proporcionam aumentos da quantidade e qualidade da água (Lal, 2015). A construção de terraços, a preservação dos topos de morro com matas nativas por exemplo, são práticas que podem contribuir com a redução de até 700% nas taxas de erosão do solo (Galdino et al., 2015). Razões pelas quais os terraços ainda são considerados uma das medidas mais aconselháveis e eficazes para a conservação do solo (Wheaton e Monke, 2001). Esta prática também favorece o aumento da umidade do solo em profundidade (Querejeta et al., 2000; Huo e Zhu, 2013; Zhang et al., 2017). O que indica que os terraços podem ajudar os agricultores em face de eventos extremos de escassez de água. Em áreas propensas à seca, por exemplo, a prática pode ser promovida como forma de aumentar a capacidade de convivência do agricultor com a escassez de chuva (Kosmowsky, 2018).

A importância da vegetação para os ciclos da água do ecossistema literatura é praticamente um consenso (Gaines et al., 2016). Estima-se que, globalmente, a vegetação recicla mais da metade da precipitação que cai na terra a cada ano (Jackson et al., 2000) e, com isto, reduz a erosão do solo e contribuiu para melhorias na qualidade de água e no controle de sedimentos fluviais (Chen et al., 2015; Jiang et al., 2018). Segundo Chen et al. (2015), o aumento da cobertura vegetal em 53% (com a restauração de pastagens e florestas), reduziu uma carga anual de sedimentos no rio para cerca de 0,2 bilhões de toneladas.

Embora o desmatamento seja recorrente, nos últimos 20 anos houve um aumento substancial da floresta tropical secundária nos trópicos (Wright e Muller-Landau, 2006; Chazdon, 2008). Estas florestas fornecem vários serviços ecossistêmicos, como sequestro de carbono, controle de incêndios, biodiversidade e produção de água, que podem ser revertidos em benefícios econômicos, (Chazdon, 2008; Balvanera et al., 2012).

Entretanto, os benefícios da floresta secundária na recuperação das propriedades hidráulicas do solo em áreas degradadas, a exemplo das pastagens degradadas, ainda são pouco compreendidos (Hassler et al., 2011) e precisam ser analisados. Em ambientes de relevo montanhoso, a exposição solar também influencia neste processo de recuperação. Nestes estudos, o uso de equipamentos automatizados pode ajudar monitorando o aumento ou diminuição destas florestas. Os drones, por exemplo, podem coletar dados para avaliação do

local e identificar de forma rápida e barata as barreiras à regeneração natural. Tais informações podem ajudar nos planos de restauração (Uriarte e Chazdon, 2016).

Para a implantação de planos de restauração, entretanto, é preciso de políticas públicas. O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Viçosa (MG), em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA) e a Caixa Econômica Federal (CAIXA), implantou um projeto contemplando várias práticas de manejo de conservação do solo para a recuperação da bacia do rio Turvo Sujo, importante manancial de água que abastece a cidade de Viçosa e região, com o objetivo de reverter os problemas de abastecimento de água do município.

Dentre as principais práticas implementadas pelo projeto encontram-se o terraceamento nas pastagens e a revegetação e proteção das áreas de preservação permanente (APPs). Estas áreas compreendem as áreas marginais a corpos d'água, sejam elas várzeas ou florestas ripárias e os terço-superior de morros ocupados por florestas semidecidual (Silva et al., 2011). A recuperação das APPs leva a ganho de cobertura florestal o que melhora a qualidade e aumenta a quantidade da água. Entretanto, a dinâmica da água no estágio secundário das florestas é diferente da floresta clímax.

As práticas de manejo foram implementadas em propriedades de agricultores familiares da bacia, mas a efetividade das mesmas ainda não foi avaliada. No processo de avaliação das práticas implementadas pelo SAAE é importante ouvir os agricultores. Ao averiguar a percepção deles sobre estas práticas, é possível identificar problemas e potencialidades oriundos das mesmas, o que pode contribuir para desenhar melhor as estratégias para a implementação de políticas públicas (Tarrasón et al., 2016) que favoreçam os serviços ecossistêmicos relacionados ao solo e a água. Além disso, o processo participativo do agricultor tem um valor considerável ao projetar sistemas, cujas ações são de extrema importância para a capacitação dos produtores, para darem continuidade às ações ambientais desenvolvidas nas propriedades (Parrota, 2010). De acordo com Šūmane et al. (2018), todas as partes interessadas, incluindo os agricultores, devem ser reconhecidas como geradores de conhecimentos importantes para a geração de soluções que tornem a agricultura mais resiliente e portanto mais sustentável.

O objetivo geral desta tese foi avaliar o impacto das práticas de conservação de água e solo em pastagens na dinâmica da água. A tese foi organizada em três capítulos, além da introdução geral e das considerações finais. O primeiro capítulo objetivou avaliar os impactos

dos terraços em pastagens na umidade do solo. O segundo capítulo objetivou avaliar os efeitos da floresta secundária estabelecida em área de pastagem degradada sobre as propriedades hidráulicas dos solos e relaciona-las às faces de exposição solar. O terceiro capítulo objetivou apresentar a percepção dos agricultores sobre as práticas de manejo do solo efetuadas em suas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARD, F. et al. Determination of deforestation rates of the world' shumid tropical forests. *Science*, v. 297, n. 5583, p. 999-1002, 2002.
- ALEGRE, J. C.; CASSEL, D. K. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 58, n. 1, p. 39-48, 1996.
- BALVANERA, P. et al. Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services*, v. 2, p. 56-70, 2012.
- CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *science*, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.
- CHEN, Y. et al. Balancing green and grain trade. *Nature Geoscience*, v. 8, n. 10, p. 739, 2015.
- CHERUBIN, M. R. et al. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma*, v. 267, p. 156-168, 2016.
- GAINES, K. P. et al. Rapid tree water transport and residence times in a Pennsylvania catchment. *Ecohydrology*, v. 9, n. 8, p. 1554-1565, 2016.
- GALDINO, S. et al. Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for Conservationist Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures. *Land Degradation & Development*, 2015.
- GERMER, S. et al. Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: undisturbed forest to pasture. *Journal of hydrology*, v. 380, n. 3-4, p. 473-480, 2010.
- GERMER, Sonja et al. Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. *Journal of Hydrology*, v. 364, n. 3, p. 349-363, 2009.

GIERTZ, S.; DIEKKRÜGER, B. Analysis of the hydrological processes in a small headwater catchment in Benin (West Africa). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 28, n. 33, p. 1333-1341, 2003.

GODSEY, S.; ELSENBEER, H. The soil hydrologic response to forest regrowth: a case study from southwestern Amazonia. *Hydrological Processes*, v. 16, n. 7, p. 1519-1522, 2002.

GOMES, M. A. et al. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa-MG. *Revista Árvore*, v. 36, n. 1, p. 93-102, 2012.

HASSLER, S. K. et al. Recovery of saturated hydraulic conductivity under secondary succession on former pasture in the humid tropics. *Forest Ecology and Management*, v. 261, n. 10, p. 1634-1642, 2011.

HUO, Y.; ZHU, B. Analysis on the benefits of level terrace on soil and water conservation in loess hilly areas. *Research of Soil and Water Conservation*, v. 20, n. 5, p. 24-28, 2013.

JACKSON, R. B. et al. Water in a changing world. *Ecological applications*, v. 11, n. 4, p. 1027-1045, 2001.

JERNECK, A. et al. Structuring sustainability science. *Sustainability science*, v. 6, n. 1, p. 69-82, 2011.

JIANG, C.; ZHANG, H.; ZHANG, Z. Spatially explicit assessment of ecosystem services in China's Loess Plateau: Patterns, interactions, drivers, and implications. *Global and Planetary Change*, v. 161, p. 41-52, 2018.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014.

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

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

LAURANCE, W. F. et al. The future of the Brazilian Amazon. *Science*, v. 291, n. 5503, p. 438-439, 2001.

MCDOWELL, R. W. et al. Influence of soil treading on sediment and phosphorus losses in overland flow. *Soil Research*, v. 41, n. 5, p. 949-961, 2003.

MITTERMEIER, R. A. et al. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: *Biodiversity hotspots*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 3-22.

- NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O.T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. *Conservation Biology*, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006.
- PARROTTA, J. A. Restoring biodiversity and forest ecosystem services in degraded tropical landscapes. In: Koizumi, Toru; Okabe, Kimiko; Thompson, Ian; Sugimura, Ken; Toma, Takeshi & Fujita, Kazuyuki. eds. *The role of forest biodiversity in the sustainable use of ecosystem goods and services in agro-forestry, fisheries, and forestry*, Proceedings of an international symposium for the Convention on Biological Diversity, Waseda University, Tokyo, April 26-28, 2010. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, Japan, 106 pp. 2010. p. 53-61.
- QUEREJETA, J. et al. Soil physical properties and moisture content affected by site preparation in the afforestation of a semiarid rangeland. 2000.
- SAVADOGO, P.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 118, n. 1, p. 80-92, 2007.
- SILVA, J.A.A. et al. *O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo*. SBPC, 2012.
- ŠŪMANE, S. et al. Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies*, v. 59, p. 232-241, 2018.
- TARRASÓN, D. et al. Land degradation assessment through an ecosystem services lens: Integrating knowledge and methods in pastoral semi-arid systems. *Journal of Arid Environments*, v. 124, p. 205-213, 2016.
- URIARTE, M.; CHAZDON, R. L. Incorporating natural regeneration in forest landscape restoration in tropical regions: synthesis and key research gaps. *Biotropica*, v. 48, n. 6, p. 915-924, 2016.
- WHEATON, R.; MONKE, E. Terracing as a "Best Management Practice" for controlling erosion and protecting water quality. *Agricultural Engineering*, Purdue University, Vol. 1, 2001, 114.
- WRIGHT, S. J. MULLER-LANDAU, H. C. The future of tropical forest species. *Biotropica*, v. 38, n. 3, p. 287-301, 2006.

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.

Capítulo 1

Terraced pasture changes the soil moisture dynamics

ABSTRACT

Climate changes, loss of biodiversity, soil degradation and, scarcity and pollution of waters are problems caused and experienced by our society. The conservation methods of soil moisture are important for plant growth and groundwater preservation. Our aim at this study was to evaluate the impacts of the terraces on soil moisture and to analyze the efficiency of Ground Penetration Radar (GPR) in the soil moisture determination. Soil moisture was determined by gravimetric and GPR methods in the depths of 0 to 10, 10 to 30, 30 to 60 and, 60 to 100 cm. The water storage in depth was larger and uniform in terraced than in the non-terraced pasture. However, the non terraced pasture has less soil compaction. Thus, the terrace does not guarantee adequate pasture management and other alternatives for sustainable management of cattle and reduction of soil compaction is necessary. The GPR method may be used to estimate the soil water content in volumetric basis in the field of a non-invasive manner. However, there is a need for studies to determine the accuracy of GPR measurement in different soil types and methods.

Keywords: Livestock, water infiltration, deforestation, anthropic activities, Ground Penetration Radar.

RESUMO

Mudanças climáticas, perda de biodiversidade, degradação do solo, escassez e poluição das águas são problemas causados e vivenciados pela nossa sociedade. Os métodos de conservação da umidade do solo são importantes para o crescimento das plantas e a preservação das águas subterrâneas. Nosso objetivo neste estudo foi avaliar os impactos dos terraços na umidade do solo e analisar a eficiência do Radar de Penetração no Solo (GPR) na determinação da umidade do solo. A umidade foi determinada pelos métodos gravimétrico e GPR nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30, 30 a 60 e 60 a 100 cm. O armazenamento de água em profundidade foi maior e uniforme na pastagem terraceada do que na pastagem sem terraços. No entanto, a pastagem não terraceada teve menos compactação do solo. Assim, o terraço não garante o manejo adequado da pastagem e outras alternativas para o manejo sustentável do rebanho e a redução da compactação do solo é necessária. O método GPR pode ser usado para estimar a umidade do solo em bases volumétricas no campo de maneira não invasiva. No entanto, há uma necessidade de estudos para determinar a precisão da medição de GPR em diferentes tipos de solo e métodos.

Palavras-chave: Pecuária, infiltração de água, desmatamento, atividades antrópicas, Radar de Penetração no Solo.

1. INTRODUCTION

The scarcity of freshwater is a threat to the human being (Mekonnen e Hoekstra, 2016). About 71% of the world's population, 4.3 billion people, live with moderate to severe water scarcity for at least one month in the year (Mekonnen e Hoekstra, 2016). Brazil has the largest freshwater reserve in the world, but the scarcity of this natural resource, especially in the urban area, has been observed.

This scarcity could be due to the impacts of anthropic activities on the biogeochemical cycles (Germer et al., 2009). For instance, the deforestation for pastures formation changes the water cycle (Nepstad et al., 2006), because, very often, livestock rapidly degrades pasture and modify the infiltration and runoff of water (Zimmermann et al., 2006). This degradation influences soil quality, because it reduces plant cover and organic matter (Shang et al., 2014) and increases soil compaction (Mwendera and Saleem, 1997). The loss of plant cover changes the wetting and drying cycles of the soil and increases the crusts formation by rainfall impacts (Gomes et al., 2012). The low organic matter content has a negative impact on the living beings of the soil and soil porosity (Savadojo et al., 2007). The reduction of soil porosity leads to the reduction of water infiltration and to the increase of water runoff, soil erosion, and silting of the rivers, among other negative impacts (Galdino et al., 2015).

In the Zona da Mata region of the Minas Gerais state, Brazil, the deforestation for coffee and pasture production led to soil degradation and loss of water quality and quantity. The negative impacts of the anthropic activity on soils and rivers were intensified by frequent climate changes. To mitigate the problems, terraces have been suggested to be implemented on pasture (Galdino et al., 2015; Zhang et al., 2017, Chen et al., 2017).

The terraces are considered to increase water infiltration in the soil (Fu et al., 2003) and, as a consequence, to the water availability in springs (Power, 2010 and Lu et al., 2017). However, the impacts of terraces on soil moisture have been little investigated. Furthermore, soil moisture determination is limited by heterogeneity in the spatial and temporal distribution of water and by the lack of a standard method (Dobriyal et al., 2012).

Time domain reflectometry (TDR) and gravimetric methods are not suitable for *in situ* conditions since they alter the physical structure of soil (Dobriyal et al., 2012). Furthermore, these methods are invasive.

Currently, Ground Penetration Radar (GPR) has been proposed as an alternative for determination of soil moisture. GPR is not an invasive method and has a quick estimate of

water content. In addition, this method has a high lateral resolution that allows a better determination of the variability of the water content variations in a field (Huisman et al., 2001; Grote et al., 2003; Dobriyal et al., 2012, Lu et al., 2017).

The general objective of this study was to evaluate the impacts of the terraces on soil moisture of a pasture. Specifically, our study aimed to evaluate the relationship of temporal dynamics of soil moisture in depth and to compare the efficiency of the GPR in the soil moisture determination by the gravimetric method.

2. MATERIALS AND METHODS

This study was carried out in the municipality of Coimbra (20°49'19.2 " S and 42 ° 47'51.9" W), Minas Gerais state, Brazil that is located on the Atlantic Forest domain, the fifth hotspot of biodiversity, on the crystalline basement, composed by gneiss rocks. The dominant relief is strong undulating and mountainous, with slopes of convex-concave profile and flat bottoms of the valleys. The yellow-red Oxisol is the predominant soil. The average temperature is 20 °C and average rainfall is 1283 mm (Climate-Data.Org). Rainfall occurs with high frequency from November to March. The rainfall occurred in the period of the experiment (from January to August, 2017), is presented in Figure 1. During the study time, accumulated rainfall was 542 mm, with higher amounts in February and March.

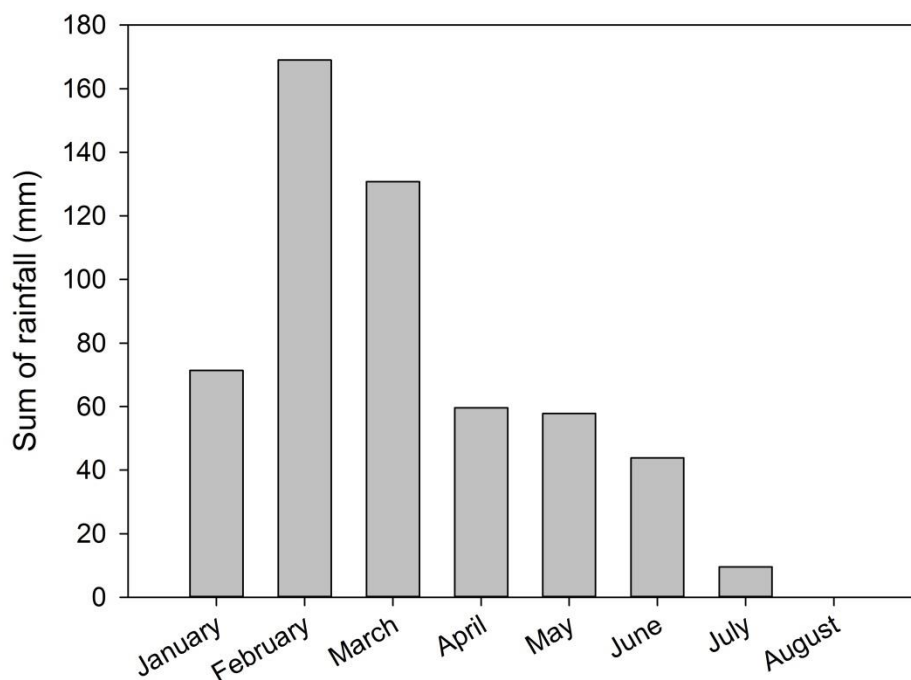


Figure 1. Sum of rainfall in Coimbra, Minas Gerais (Brazil), 2017.

Coimbra municipality is located in the Turvo Sujo watershed. This river is Doce River tributary, which recently suffered an environmental crime because of the rupture of the Iron Mining Dam in Mariana (Minas Gerais). The main activity is agriculture, carried out mainly by family farmers. The crops are diversified but the main cash activity is dairy cattle, raised on extensive pasture. The grass is mainly *Brachiaria* sp, cultivated in monoculture, without fertilizers. In the analyzed pasture the cattle (15 units) is created loose. In this property were built three terraces with spaced 20 m of each other, located in a slope of 19 °. The terraces were done in contour line by a crawler tractor, in 2015. The three terraces were of the Nichols type with narrow bases and non-parallel.

This area was divided into two parts, one part with terrace (Ter) and one part without terrace (NTer). The two parts were parallel, on the same slope, the same face of sun exposure and the same soil type. Six equidistant transects of 10 m each were marked on the pastures (three on the Ter and three on the NTer) (Figure2).



Figure 2. Pasture terraced (T_{er}) and non-terraced (NT_{er}), in Coimbra, Minas Gerais state, Brazil. The white lines represent the six transects of 10 m, where soil sampling was done.

2.1 Analyzes of soil physical properties

The soil sampling was done in three points equidistant, in each transect, and in four depths (0-10, 10-30, 30-60, 60-100 cm). We obtained 72 soil samples in the non-terraced pasture (NT_{er}) and terraced pasture (T_{er}).

Bulk density was determined using volumetric ring method; microporosity was determined using the tension table (6 kPa) and the total porosity was the ratio between bulk density and particle density (equal 2.64). The hydraulic conductivity was done by constant load permeameter method. The granulometry was determined using pipette method with low rotation (50 ppm) and sodium hydroxide (0.1 mol/L) as a dispersant; the coarse and fine sand fractions were obtained by sieving and the silt and clay fractions via sedimentation (Embrapa, 2011). The soil of the study area, related to the texture, was classified as very clayey (Table 1), except the first depth of the T_{er} and NT_{er} that were clayey. The pipette method with low rotation was also used to determine the clay dispersed in water (Embrapa, 2011).

Table 1. Total organic carbon content (TOC), Textural analysis, and water dispersed clay (WDC) of the soil of terraced pasture (T_{er}) and non-terraced pasture (NT_{er}), Coimbra, Minas Gerais, Brazil.

Treatment	Soil depth (cm)	TOC $g\ kg^{-1}$	Thin sand	Coarse sand $Kg\ kg^{-1}$	Silt	Clay	WDC (%)
T_{er}	0-10	23.6	0.16	0.17	0.14	0.53	22.00
NT_{er}		20.5	0.12	0.18	0.11	0.59	19.00
T_{er}	10-30	15.7	0.12	0.13	0.13	0.61	27.00
NT_{er}		15.7	0.10	0.13	0.11	0.67	24.00
T_{er}	30-60	13.4	0.11	0.11	0.10	0.67	33.00
NT_{er}		13.7	0.08	0.10	0.11	0.72	31.00
T_{er}	60-100	12.0	0.13	0.12	0.12	0.64	12.80
NT_{er}		11.5	0.09	0.10	0.10	0.71	11.22

Total organic carbon (TOC) was performed by the Walkley-Black method (Tedesco et al., 1995). The TOC (Table 1) was evaluated as medium, except for the depth of 0-10 cm of T_{er} that it was evaluated as good and for 60-100 cm of NT_{er} it was evaluated as low (Alvarez et al., 1999).

2.2 Soil moisture determination

Soil moisture was determined in the field by Ground Penetration Radar (GPR) method and in the laboratory by gravimetric method.

The determination was done in nine different days in the wet season and one day in the dry season. In this last season, soil moisture determination was performed after a long period without rainfall for effect of comparison. The sampling for soil moisture determination by gravimetric method was also performed on the same days.

Soil moisture determination by GPR

To determined soil moisture, we walked the 10 m transects with the Geophysical Survey Systems (GSSI) equipment, with a resolution of one meter. The GSSI had 400 MHz shielded antenna, control unit and a portable computer for recording the radargrams. We used 512 dashes to get high signals and noises ratio and the best records of the field profiles. The radargrams were analyzed in the Radan 7 software. The dielectric constants were obtained by the hyperboles up to 100 cm depth.

The water content of the soil was performed by the Topp et al. (1980) and Roth et al. (1992) equations that use the dielectric constant.

Topp equation:

$$\theta_v = -5,3.10^{-2} + 2,92.10^{-2}\epsilon_r - 5,5.10^{-4}\epsilon_r^2 + 4,3.10^{-6}\epsilon_r^3 \quad (\text{Equation 1})$$

and

Roth equation:

$$\theta_v = -7,8.10^{-2} + 4,48.10^{-2}\epsilon_r - 1,95.10^{-3}\epsilon_r^2 + 3,61.10^{-5}\epsilon_r^3 \quad (\text{Equation 2})$$

In both equations, θ_v is the water content in volumetric basis and ϵ_r is the dielectric constant.

2.3 Soil moisture determination by gravimetric method

For the determination of gravimetric moisture, 240 soil samples (simple deformed sample) were collected at depths of 0-10, 10-30, 30-60 and 60-100 cm, in the middle of the transects, during ten days. These samples were stored in aluminum cans (200 g capacity). In the laboratory, these cans with soil were weighed in an analytical balance before and after drying for 48 hours at 100-105 ° C. Soil moisture by the difference of weigh.

Then, the soil volumetric water content and soil water storage within a 1m depth were calculated by the equations 3 and 4.

$$\theta_v = \theta_m * \rho \quad (\text{Equation 3})$$

In equation 3, θ_v is average the water content in volumetric basis (v/v) and ρ is means the bulk density (g/cm³).

$$\theta_s = \theta_{v1} * 100 + \theta_{v2} * 200 + \theta_{v3} * 300 + \theta_{v4} * 400 \quad (\text{Equation 4})$$

This equation, θ_v is the water content in the soil depths of 0 to 10 (θ_{v1}), 10 to 30 (θ_{v2}), 30 to 60 (θ_{v3}), and 60 to 100 cm (θ_{v4}).

The soil moisture change in the depths was determined by the ratio between the difference of moisture of 30-60 cm and 60-10 cm and moisture of 0-10 cm (equation 5). The average of soil moisture in the pastures without and with terrace was used in this calculation.

$$r_1 = (\bar{X}_{\text{UMID (30-60)}}) - (\bar{X}_{\text{UMID (0-10)}}) / (\bar{X}_{\text{UMID (0-10)}}) * 100 \quad (\text{Equation 5A})$$

and

$$r_2 = (\bar{X}_{\text{UMID (60-100)}}) - (\bar{X}_{\text{UMID (0-10)}}) / (\bar{X}_{\text{UMID (0-10)}}) * 100 \quad (\text{Equation 5B})$$

For the analysis of the relative variation of soil moisture between the dry and wet seasons in the two study areas, the r_3 ratio (Sun et al., 2013) was calculated by equation 6.

$$r_3 = (\bar{X}_{DC} - \bar{X}_{AC}) / (\bar{X}_{AC}) \quad (\text{Equation 6})$$

In equation 6, \bar{X} is the average of the soil moisture at each depth during (DC) and after (AC) the wet season.

2.4 Analyze of the efficiency of Ground Penetration Radar

The comparison between soil volumetric moisture obtained by the Topp and Roth equations and volumetric method was performed using the mean squared error (MSE).

$$\text{MSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (\text{equation 7})$$

Where: $X_{obs,i}$ = volumetric moisture of soil obtained by the gravimetric method; $X_{model,i}$ = volumetric moisture adjusted by regression analysis between volumetric moisture and moisture obtained by the Topp or Roth equations; $n = 45$ (number of observations).

2.5. Statistical analysis

The descriptive analyzes and the F test at the 5% level of significance were used to compare the means of bulk density, microporosity, macroporosity, hydraulic conductivity, volumetric moisture in the different soil depths, and water storage at one-meter depth.

The regression coefficients and t-test at the 5% level of significance were used to evaluate the volumetric moisture determined by GPR. Statistical analyzes were performed using the SAEG program.

4. RESULTS

4.1 Bulk density, microporosity, macroporosity, and hydraulic conductivity of the soils

The terraced pasture had higher bulk density ($p < 0.05$) (up to 17%) in 10-30 cm and higher microporosity in 30-60 and 60-100 cm soil depth than NTer (Table 2). However, the macroporosity was around 50% higher in the 10-30 cm and 60-100 cm depth and hydraulic conductivity was 81% higher in the 10-30 cm depth in the non terraced pasture than in the terraced pasture.

Table 2. Bulk density, Microporosity, Macroporosity and hydraulic conductivity in different soil depths of a terraced pasture (Ter) and non-terraced (NTer) pasture.

Treatment	Soil depth (cm)	Bulk density (g.cm ⁻³)	Microporosity (%)	Macroporosity (%)	Hydraulic conductivity (cm.h ⁻¹)
T _{er}	0-10	1.38a (±0.1)	43.0a (± 0.03)	6.0a (±0.04)	1.41a (±3.14)
NT _{er}		1.30a (±0.09)	46.0a (±0.03)	6.0a (±0.06)	3.79a (±3.75)
T _{er}	10-30	1.37a (±0.07)	45.0a (±0.02)	4.0b (±0.04)	0.71b (±0.79)
NT _{er}		1.20b (±0.1)	42.0a (±0.04)	13.0a (±0.06)	3.73a (±2.99)
T _{er}	30-60	1.37a (±0.03)	46.0a (±0.02)	6.0a (±0.06)	3.41a (±8.27)
NT _{er}		1.15b (±0.11)	41.0b (±0.05)	12.0a (±0.05)	12.89a (±12.9)
T _{er}	60-	1.32a (±0.12)	45.0a (±0.03)	8.0b (±0.05)	2.30a (±3.19)
NT _{er}	100	1.10b (±0.05)	41.0b (±0.02)	17.0a (±0.04)	7.06a (±6.12)

In the columns, the averages followed of the same letter do not differ between the soil depths at the level of 5% of probability by the test F. The values are the means of nine repetitions and a standard deviation (±).

4.2 Soil moisture determined by the gravimetric method

Soil moisture varied between the Ter, NTer, and the soil depths (Figure 2). Only at 0-10 cm depth, the soil moisture in the two treatments was the same ($p= 0.05$). In the other soil depths, Ter had higher soil moisture ($P <0.05$) than NTer (Figure 2). In Ter, the relative variation of soil moisture was lower (on average 53%) in 0 to 60 cm of depth than in NTer. Furthermore, in both treatments, the soil moisture varied more at the surface than in the other depths (Figure 2).

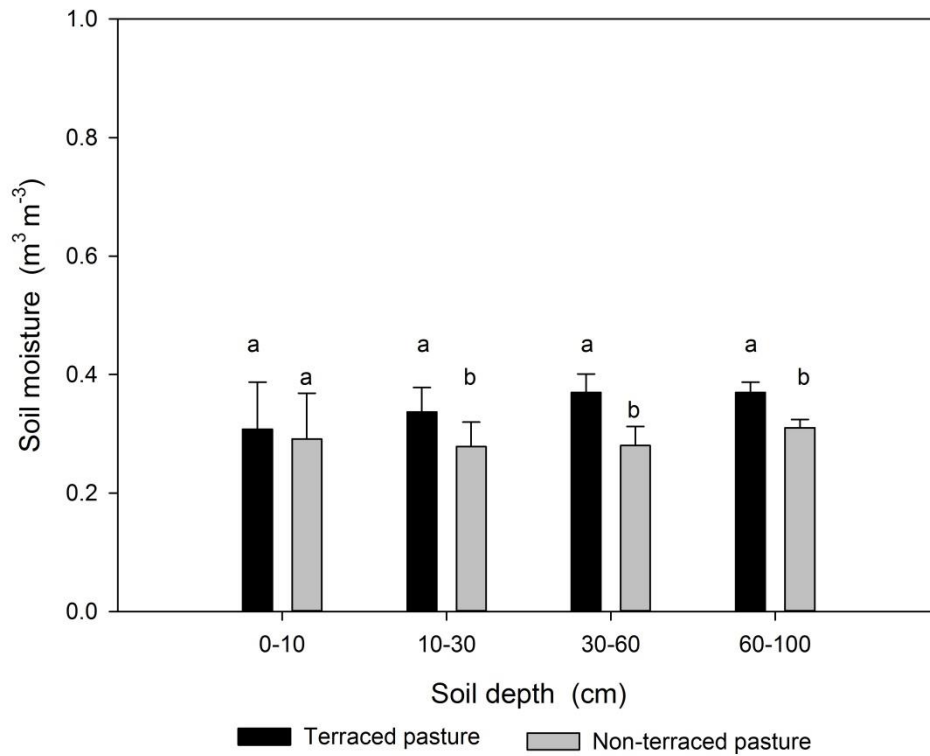


Figure 3. Soil moisture and relative variation of soil moisture in the different depths. The averages followed of the same letter do not differ between the soil depths at the level of 5% of probability by the test F. The values are the means of 10 repetitions and a standard deviation.

4.3 Water stored in one meter of soil depth

The water storage at 1 m soil depth (calculated by equation 3) was higher ($p < 0.05$) in Ter than in NTer (Figure 4). In the non-terraced pasture, the soil moisture was 75% smaller than Ter.

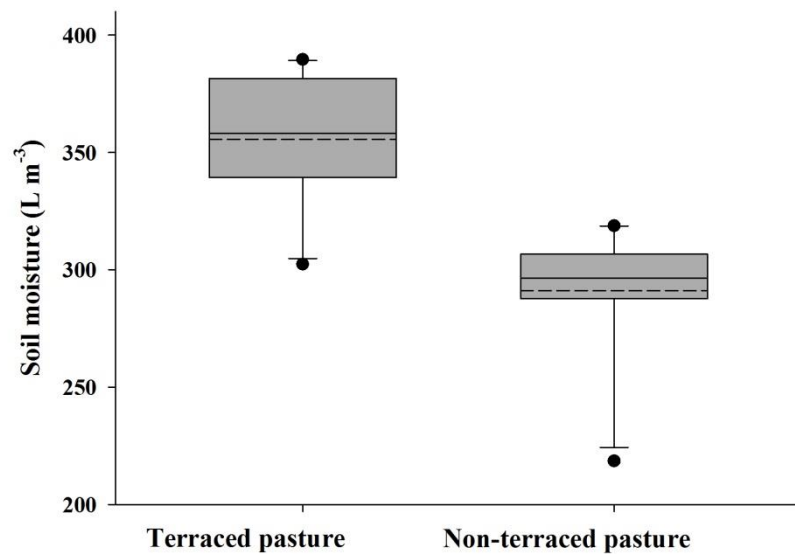


Figure 4. Soil moisture in one meter of soil depth. The continuous and dotted horizontal lines indicate the median and the average respectively.

4.4 Maintaining soil moisture in depth

The impact of the terrace on soil water maintenance at different soil depths was observed by soil moisture variation (equation 5, Figure 5). At 10 days of evaluation, soil moisture in Ter was higher (positive values) in the seventh (30-60 cm) and ninth (60-100 cm) day than in the surface. However, in NTer only in third (30-60 cm) and fifth (60-100 cm) days of evaluation, the soil moisture was higher than in the surface (Figure 5). The soil moisture in the depths of 30-60 and 60-100 cm was higher than at the soil surface in both treatments in August when there was no rainfall (Figures 1 and 5).

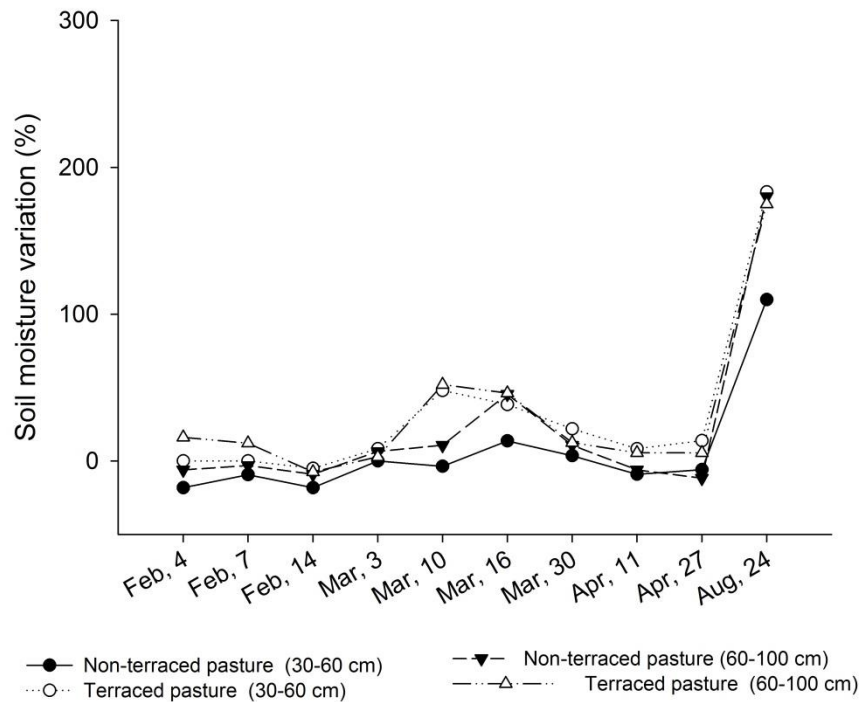


Figure 5. Variation of soil moisture (%) between the depths of 30 to 100 cm and the surface (0-10 cm) in a terraced pasture and non-terraced. We performed the determination of the soil moisture in February (Feb), March (Mar), April (Apr) and August (Aug).

4.5 Soil moisture dynamics in depth

The seasonal variations of soil moisture were similar between pastures and larger on the surface (0-10 cm) than other depths (Figure 6).

In the dry season, the average water storage in surface varied from 12 to 33% in the terraced area and from 10 to 32% in the non-terraced pasture. However, of 30 to 100 cm, terraced pasture had higher soil moisture in the dry season than the other pasture in the wet season (Figure 6). In addition, pastures had lower variations of soil moisture in the wet season than dry season.

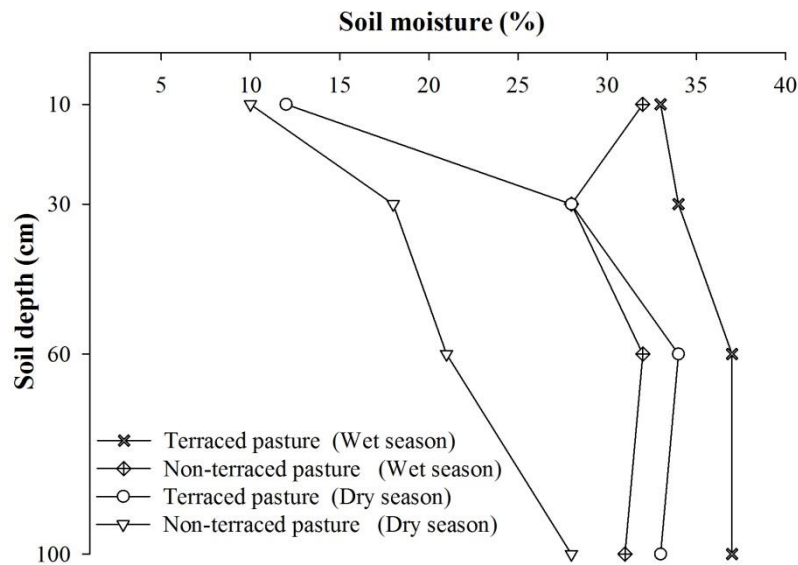


Figure 6. Soil moisture dynamics at different depths in a terraced pasture and non-terraced during the wet and dry season.

4.6 Soil moisture determined by GPR

In this study, we obtained radargamas reflection hyperboles only in the soil depths greater than 10-30 cm. The dielectric constants were obtained using values these hyperboles.

The GPR method had a high precision in determining the soil moisture when compared to the gravimetric method. The mean square error of GPR ranged from 0.019 to 0.026 (Figure 7). Thus, the estimates of soil moisture by the Topp and Roth equations were adequate. Furthermore, the relative error was similar between these equations (Figure 8). The highest peaks of this error were between the 15th and 23rd points in the Topp equation.

Soil moisture was lower in the non-terraced pasture than in terraced pasture (Figure 7). However, no difference in GPR efficiency between pastures was observed. (Figures 7 and 8).

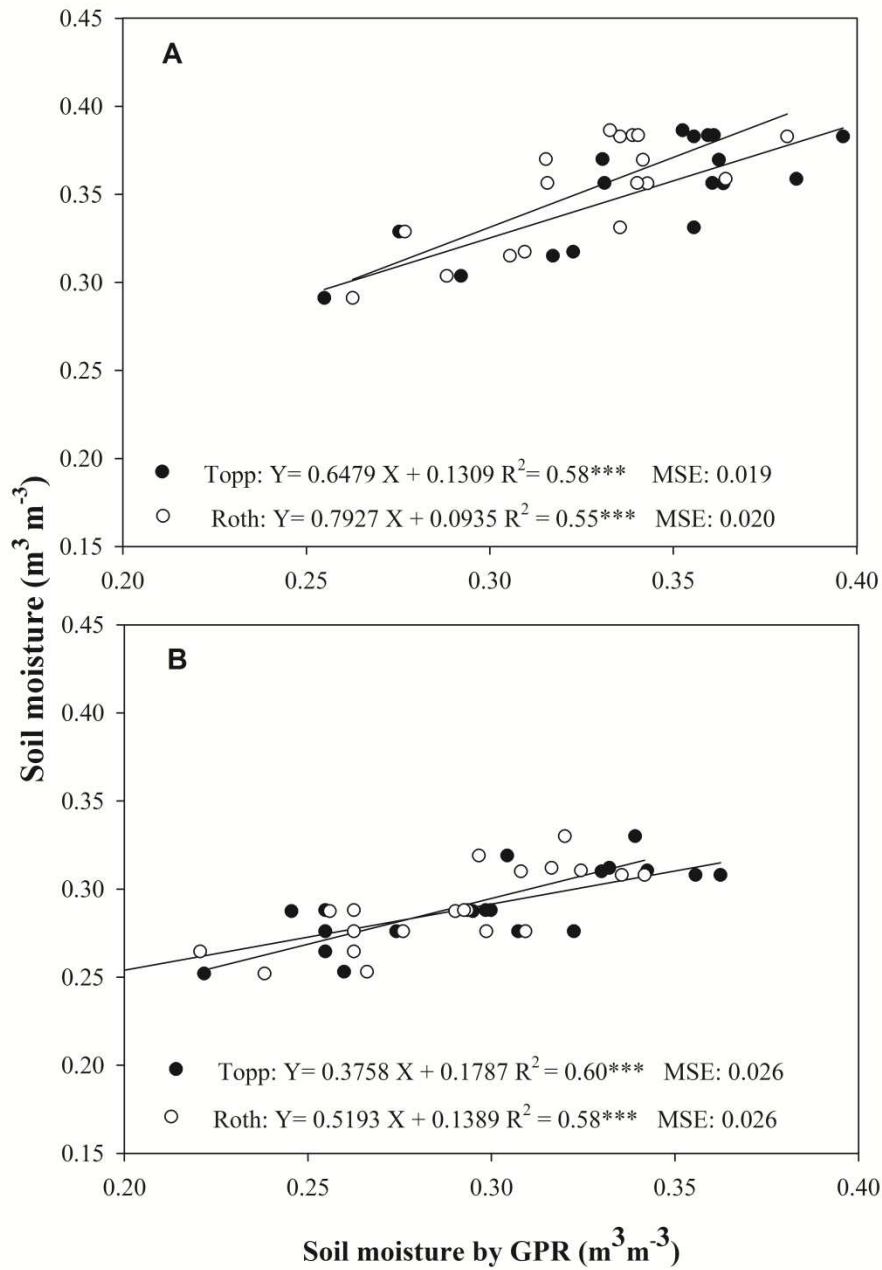


Figure 7. Soil moisture obtained by Ground Penetration Radar (GPR) and estimated by the Topp and Roth equations in a terraced pasture (A) and non-terraced (B). Mean squared error (MSE). Coefficient of determination (R^2) *** significant at 0.1% probability.

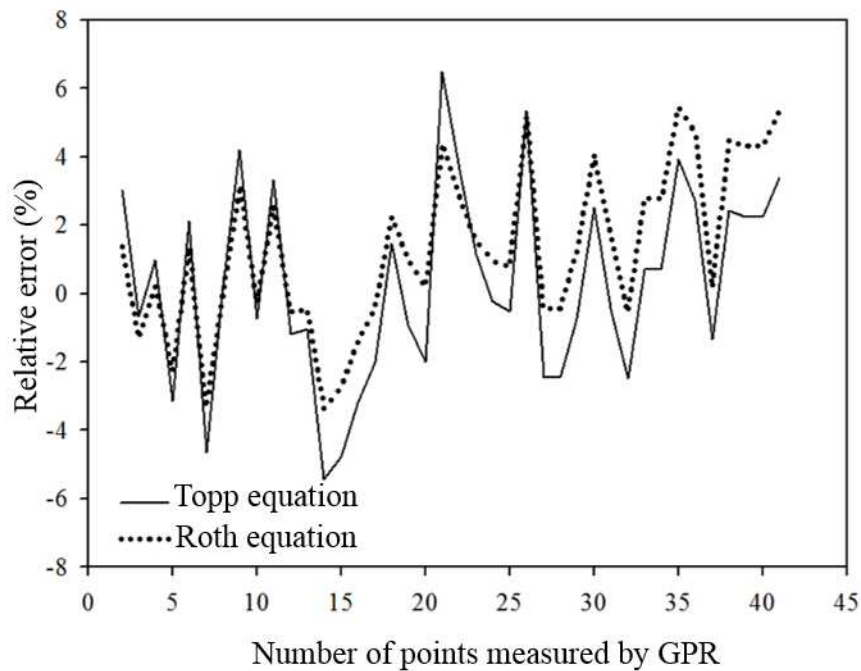


Figure 8. The relative error of the soil moisture determined by the Topp and Roth equations and Ground Penetration Radar (GPR).

5. DISCUSSION

The construction of terraces favors infiltration and increases soil moisture in depth (Querejeta et al., 2000; Zhang et al., 2017). We also observed this increase in soil moisture (up to 24%, Figures 3 to 6). This is because the terraces interrupt the natural slopes, decrease the connectivity and integrity of the terrestrial flow, prolong the residence time of the water, and increase the water infiltration in the soil (Molina et al., 2014). In the studied areas, terraces increased soil moisture up to 100 cm depth (Figure 4). This indicates that the terraces construction is an alternative to raise the water in the soil depth (Huo, 2013). Due to water scarcity in cities, such as Viçosa (Minas Gerais, Brazil), located in the studied watershed, it is crucial to improving the infiltration and storage of water in the soil to supply water sources, especially in the dry season (Ellison et al., 2017). Although the terraced pasture had the highest bulk density that contributed to the greatest microporosity and lowest macroporosity and hydraulic conductivity (Table 2), the soil moisture was highest in Ter. The higher bulk density in Ter (Table 2) suggests a higher soil compaction, due to cattle trampling. Moisture

and cover of the soil influenced the amount and quality of forage (field observation), which may have increased the time spent of the animals in the terraced pasture.

According to Chen et al. (2017), despite the increase in soil moisture, the terraced areas do not prevent soil disturbance. Thus, in spite of its benefits, only the use of the terrace is not sufficient for the adequate management of the pastures. Other alternatives should be combined with the terrace to improve soil and water conservation and water dynamics in pastures, especially in mountainous areas (Chen et al., 2017), such as our area of study. The planting and/or maintenance of trees in pastures is one of these alternatives (Chen et al., 2017). The trees facilitate the water infiltration into the soil, dynamizes the water cycle (Andrade et al., 2015, Ellison et al., 2017), increase recharge of the water source, contributes to the cycling of nutrients and restores vegetation (Zhang et al., 2017).

5.1 Soil moisture dynamics

The soil moisture in pastures was influenced by rainfall, evapotranspiration and water infiltration in the soil. Rainfall is the only water source in the areas studied.

The high soil moisture variation on the surface (Figures 3 and 6), which was also observed by other authors (Wang et al., 2001; Fu et al., 2003; Gao e Shao, 2012), shows a sensitivity of this soil layer to rainfall and water evaporation. In addition, the water evaporation has a positive impact on soil moisture up to 25-40 cm depth (Fu et al., 2003, Sun et al., 2013). This influence, in the data presented here, was up to the 30 cm layer, especially in the dry season (Figure 6). According to Penna et al. (2009), the soil moisture variation is highest in soil moisture between 23 and 29%. In this study, this moisture was between 10 and 29% (Figure 6). More symmetrical distributions, which is characterized by relatively low asymmetry, were found in the wet season, while in the dry season distorted distributions were observed (Figure 6). Hu et al. (2010a) and Wang et al. (2010) showed that soil moisture around 100 cm depth is stable with intense and continuous rainfall. For other authors, such as Gao and Shao (2012), this stability is up to 300 cm deep. In our study, the stability occurred in all terraced pasture (Figure 6), which may favor the plant growth (Zhang et al., 2017).

The water accumulation in one meter of depth in the terraced pasture (Figure 5) may explain the highest soil moisture and its uniformity from the 30 cm of depth in the dry season compared to non-terraced pasture (Figure 6).

5.2 GPR efficiency

The coefficients of significant linear correlation were no greatest due to the lack of a standard method for obtaining the dielectric constant (Figure 7). This disadvantage of radargrams may limit the accuracy and the use of GPR to determine soil moisture. The high clay content was another factor that limited GPR analysis (Table 1).

Clay increases the electrical conductivity of soils and limits the soil moisture determination by electromagnetic waves (Huisman et al., 2001). However, in frequencies lower than 300 MHz, this determination is significant in clayey soils (White and Zegelin, 1995).

The mean square error may be considered low (Figure 7). These errors were similar to those found in other studies with conditions similar to ours (Grote et al., 2003, Huisman et al., 2001). In the first study, the soil moisture was obtained using 450 and 900 MHz. Huisman et al. (2001) used 450 MHz.

Therefore, GPR can provide accurate measurements of soil water content, due to high correlation coefficients and low MSE. However, the equipment is difficult to handle under uneven ground conditions such as ours. GPR is also more costly than the gravimetric method.

The disadvantage of the gravimetric method in relation to GPR is the difficulty of sampling in soil depths.

6. CONCLUSION

The terraced pasture contributed to increasing soil moisture. The water storage in depth was larger and uniform in terraced than in the non-terraced pasture. However, the non-terraced pasture has less soil compaction. Thus, the terrace does not guarantee adequate pasture management and other alternatives for sustainable management of cattle and reduction of soil compaction is necessary.

The GPR method may be used to estimate the soil water content in volumetric basis in the field of a non-invasive manner. However, there is a need for studies to determine the accuracy of GPR measurement in different soil types and methods.

7. ACKNOWLEDGMENT

The authors are very grateful to Brazilian Agencies: CNPq, Capes, and Fapemig for financial support and the farmer Jorge Benedito for having made his property available for the accomplishment of this study.

8. REFERENCE

- ALVAREZ, V.H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES, V.H. (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 289-302.
- ANDRADE, B. O. et al. Grassland degradation, and restoration: a conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. *Natureza & Conservação*, v. 13, n. 2, p. 95-104, 2015.
- CHEN, D.; WEI, W.; CHEN, L. Effects of terracing practices on water erosion control in China: A meta-analysis. *Earth-Science Reviews*, 2017.
- DOBRIYAL, P. et al. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, v. 458-459, n.21, p. 110-117, 2012.
- ELLISON, D. et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, v. 43, p. 51-61, 2017.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, 2.ed., 230 p. 2011.
- FU, B. et al. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China. *Catena*, v. 54, n. 1, p. 197-213, 2003.
- GALDINO, S. et al. Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for Conservationist Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures. *Land Degradation & Development*, 2015.
- GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in diverse soil layers. *Catena*, v. 95, p. 24-32, 2012.
- GERMER, S. et al. Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. *Journal of Hydrology*, v. 364, n. 3, p. 349-363, 2009.

GOMES, M. A. et al. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa-MG. *Revista Árvore*, v. 36, n. 1, p. 93-102, 2012.

GROTE, K.; HUBBARD, S.; RUBIN, Y. Field-scale estimation of volumetric water content using ground-penetrating radar ground wave techniques. *Water resources research*, v. 39, n. 11, 2003.

HU, W. et al. Watershed scale temporal stability of soil water content. *Geoderma*, v. 158, n. 3, p. 181-198, 2010a.

HU, W.; SHAO, M.; REICHARDT, K. Using a new criterion to identify sites for mean soil water storage evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, v. 74, n. 3, p. 762-773, 2010b.

HUISMAN, J. A. et al. Soil water content measurements at different scales: accuracy of time domain reflectometry and ground-penetrating radar. *Journal of Hydrology*, v. 245, n. 1, p. 48-58, 2001.

HUO, Y.; ZHU, B. Analysis on the benefits of level terrace on soil and water conservation in loess hilly areas. *Research of Soil and Water Conservation*, v. 20, n. 5, p. 24-28, 2013.

JERNECK, A. et al. Structuring sustainability science. *Sustainability science*, v. 6, n. 1, p. 69-82, 2011.

LU, Y. et al. An Examination of Soil Moisture Estimation Using Ground Penetrating Radar in Desert Steppe. *Water*, v. 9, n. 7, p. 521, 2017.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Science advances*, v. 2, n. 2, p. e1500323, 2016.

MOLINA, A. J. et al. Spatio-temporal variability of soil water content on the local scale in a Mediterranean mountain area (Vallcebre, North Eastern Spain). How different spatio-temporal scales reflect mean soil water content. *Journal of hydrology*, v. 516, p. 182-192, 2014.

MWENDERA, E. J.; SALEEM, M. A. Infiltration rates, surface runoff, and soil loss as influenced by grazing pressure in the Ethiopian highlands. *Soil use and management*, v. 13, n. 1, p. 29-35, 1997.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O.T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. *Conservation Biology*, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006.

PENNA, D. et al. Hillslope scale soil moisture variability in a steep alpine terrain. *Journal of Hydrology*, v. 364, n. 3-4, p. 311-327, 2009.

POWER, A.G. Ecosystem services and agriculture: trade-offs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B*, v. 365, p. 2959-2971, 2010.

QUEREJETA, J. et al. Soil physical properties and moisture content affected by site preparation in the afforestation of a semiarid rangeland. 2000.

ROTH, C.H.; MALICKI, M.A.; PLAGGE, R. Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR. *Journal of Soil Science*, v. 43, n. 1, p. 1-13, 1992.

SAVADOGO, P.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 118, n. 1, p. 80-92, 2007.

SHANG, Z. H. et al. The sustainable development of grassland-livestock systems on the Tibetan plateau: problems, strategies and prospects. *The Rangeland Journal*, v. 36, n. 3, p. 267-296, 2014.

SUN, F. et al. Spatial explicit soil moisture analysis: pattern and its stability at small catchment scale in the loess hilly region of China. *Hydrological processes*, v. 28, n. 13, p. 4091-4109, 2013.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & WOLKWEISS, S.J. (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water resources research*, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

WANG, J. et al. Geostatistical analysis of soil moisture variability on Da Nangou catchment of the loess plateau, China. *Environmental Geology*, v. 41, n. 1-2, p. 113-120, 2001.

WANG, Y.; SHAO, M.; LIU, Z. Large-scale spatial variability of dried soil layers and related factors across the entire Loess Plateau of China. *Geoderma*, v. 159, n. 1, p. 99-108, 2010.

WHITE, I.; ZEGELIN, S. J. Electric and dielectric methods for monitoring soil-water content. *Handbook of vadose zone characterization and monitoring*, p. 343-385, 1995.

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.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation. *Forest ecology and management*, v. 222, n. 1, p. 29-38, 2006.

Capítulo 2

Floresta secundária estabelecida em área de pastagem degradada melhora as propriedades hidráulicas do solo

RESUMO: A recuperação das propriedades hidráulicas do solo após áreas de pastagens serem convertidas em florestas ainda é pouco estudada. Nestes estudos deve-se considerar as faces de exposição solar onde encontram-se as áreas, pois elas influenciam nas propriedades do solo. Com a pesquisa aqui apresentada, objetivou-se avaliar o efeito da vegetação nas propriedades hidráulicas do solo e nos atributos físicos e químicos do solo em áreas de pastagens e florestas secundárias, localizadas nas faces de exposição solar leste e oeste. O estudo foi realizado na bacia do São Bartolomeu, município de Viçosa, MG, em duas áreas de florestas secundária com 15 anos de idade e duas áreas de pastagem. Amostras indeformadas de solo foram coletadas no terço superior (florestas secundárias) e (pastagens) de cada encosta (área de aproximadamente 400 m²) através de anéis de aço na profundidade de 0 a 10 cm, para análise laboratorial dos atributos físicos do solo e condutividade hidráulica saturada. Já as amostras deformadas foram coletadas para avaliar o carbono orgânico total do solo e o estoque de carbono nas áreas e as características químicas do solo. O infiltrômetro de tensão foi utilizado para determinar as propriedades hidráulicas do solo e a contribuição dos macroporos na infiltração de água no solo. Um drone foi utilizado para identificar a cobertura do solo nos diferentes locais e faces de exposição solar. As florestas secundárias apresentaram maiores valores de macroporosidade, infiltração de água no solo e estoque de carbono do que as áreas de pastagens. Houve maior contribuição dos macroporos na infiltração de água no solo nas florestas secundárias e dos mesoporos e microporos nas áreas de pastagens. O maior teor de matéria orgânica encontrado nas florestas permitiu uma melhor qualidade química destes solos. A condutividade hidráulica saturada do solo e o estoque de carbono no solo foram maiores na floresta-leste do que na floresta-oeste. Estes resultados possuem implicações importantes para as políticas que visam à recuperação do carbono, aumento da água e da biodiversidade.

Palavras chaves: Infiltrômetro de tensão, estoque de carbono, recuperação de pastagens.

1. INTRODUÇÃO

No mundo, metade da cobertura florestal tropical úmida foi reduzida para menos de 50% (Asner et al., 2009), o que contribuiu para a extensa perda de biodiversidade, com mais de 12% de emissões globais de dióxido de carbono (Van der Werf et al., 2009) e alterou os processos hidrológicos do solo (Liu et al., 2018; Ouyang et al., 2018). A redução da biomassa leva a exposição do solo, que altera a estrutura e os volume dos poros (Savadogo et al., 2007) e com isto infiltração e a condutividade hidráulica. Diversos estudos mostraram fortes reduções na capacidade de infiltração e condutividade hidráulica (Zimmermann e Elsenbeer, 2009; Sun et al., 2017), do solo após a conversão da floresta em terras agrícolas (Price et al., 2010) e pastagens (Bustamanete et al., 2018; Owuor et al., 2018; Ouyang et al., 2018).

Reduções na infiltração e na condutividade hidráulica resultaram em maiores escoamento superficial, densidade do solo, erosão e aumento frequente de inundações (Owuor et al., 2016; Ouyang et al., 2018), devido (Harden, 2006; Price et al., 2010; Cherubin et al., 2016). As pastagens degradaram ainda mais o solo devido ao pisoteio dos animais e o sobrepastejo (Shang et al., 2014).

No Brasil, as pastagens cultivadas representam o principal uso do solo, cobrindo aproximadamente 20% de todo o território brasileiro, especialmente na região central do país, composta em sua maioria pelo Bioma Cerrado (Parente et al., 2017). No cerrado, pelo menos 50% das pastagens apresentam algum nível de degradação (MAPA, 2014). Na Zona da Mata Mineira, Bioma Mata Atlântica, as pastagens foram implantadas em solos degradados pelas lavouras de café, que substituíram a floresta (Souza et al., 2012). Atualmente, em torno de 45 % das pastagens desta região encontram-se com elevado nível de degradação (MAPA, 2015).

Devido aos processos de degradação, atualmente muitos esforços têm se concentrado na restauração de ecossistemas e agroecossistemas, com intuito de que os mesmos possam voltar a fornecer serviços ecossistêmicos (Holl e Aide, 2011). Parte dos agroecossistemas degradados podem se transformar novamente em florestas, com efeito benéfico para o clima, a biodiversidade, a qualidade e quantidade de água e solo (Bright et al., 2017), dentre outros serviços ecossistêmicos (Houghton et al., 2018).

Nos últimos 20 anos houve um aumento substancial da floresta secundária (Wright e Muller-Landau, 2006; Chazdon, 2008). Atualmente, mais de 50% da área florestal é resultante de crescimento secundário (Chazdon, 2014). Estas florestas podem afetar o clima, os solos e a hidrologia de maneira diferente das florestas primárias ou áreas agrícolas (Godsey

e Elsenbeer, 2002; Hassler et al., 2011). Entretanto, os benefícios da floresta secundária na recuperação das propriedades hidrológicas do solo degradados, por exemplo, por pastagens, ainda são pouco compreendidos (Hassler et al., 2011) e precisam ser analisados.

A rapidez dos benefícios advindos da restauração dependerá fortemente dos níveis de degradação da floresta, do solo e da vegetação residual (Chazdon, 2008). Em ambientes de relevo montanhoso, a exposição solar também influencia nos processos de recuperação. Há diferenças entre as faces de exposição devido a múltiplos fatores, dentre eles os efeitos da interceptação dos raios solares, que depende da orientação das encostas e os movimentos de translação e rotação da Terra (Passos et al., 2017). A face de exposição influencia a temperatura do solo, o balanço energético e a evaporação da água e, conseqüentemente, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Passos et al., 2017; Owuor et al., 2018). Entretanto, nenhum estudo, de conhecimento dos autores, relacionou estes efeitos em áreas de recuperação florestal após processos de degradação do solo por pastagens.

Este estudo teve como objetivo geral avaliar os efeitos da floresta secundária estabelecidas em área de pastagem degradada nas propriedades hidráulicas dos solos e relaciona-las às faces de exposição solar. Especificamente, objetivou i) avaliar a cobertura do solo nas diferentes áreas utilizando drone; ii) avaliar os atributos físicos e químicos do solo nas áreas de pastagens e florestas secundárias e; iii) avaliar a contribuição dos macroporos na infiltração de água no solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado na propriedade Isa Viçosa (20° 50' 33.403" S, 42° 52' 9.742" W) pertencente a microbacia do São Bartolomeu, município de Viçosa, Minas Gerais, região sudeste do Brasil. A temperatura média anual da região é de 20.6°C e a precipitação média anual é de 1229 mm. A soma das precipitações no período de janeiro a março foi de 510 mm e no período de avaliação foi de 87.8 mm (Figura 1).

A área de estudo encontra-se em torno de 810 m acima do nível do mar e foi composta por dois tipos de vegetação e duas faces de exposição solar: pastagem-leste (P_L), floresta secundária-leste (F_L), floresta secundária-oeste (F_O) e pastagem-oeste (P_O). Com excessão da

área F_L que apresentou menor declividade ($\pm 14\%$) as demais áreas apresentaram valores de declividade similares ($\pm 19\%$).

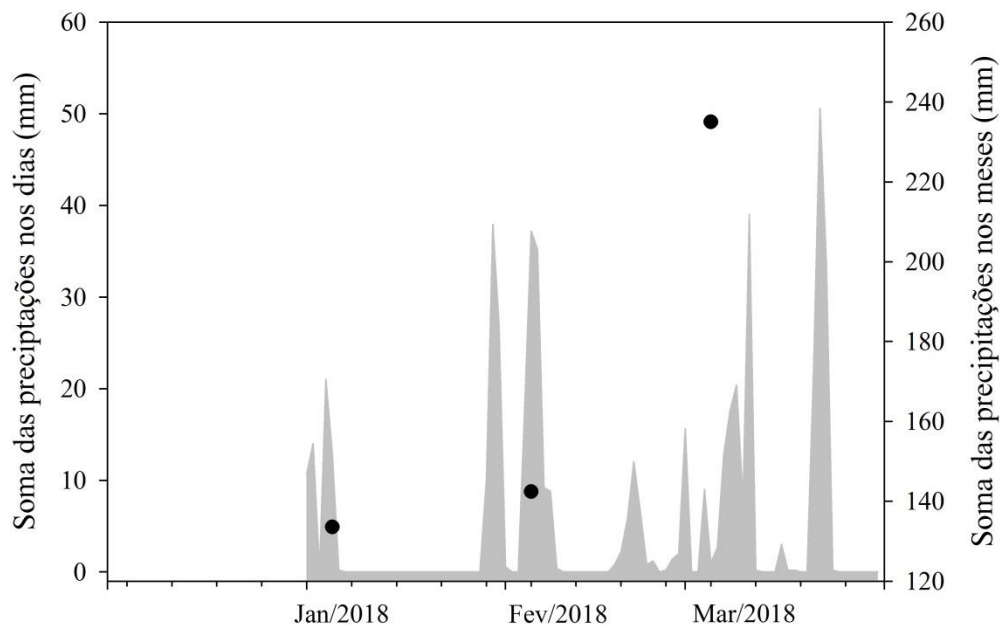


Figura 1. Os picos indicam a soma das precipitações nos dias e os círculos pretos indicam a soma das precipitações nos meses, em Viçosa, Minas Gerais.

As áreas F_L e F_O foram estabelecidas em áreas de pasto onde predominavam os capins gordura (*Melinis minutiflorae*) e rabo de burro (*Andropogon bicornis*). O processo de recuperação destas áreas iniciou em 2005, quando o pasto da face de exposição oeste foi terraceado para o controle da erosão. Nas faces de exposição leste e oeste foram plantadas em linhas mudas de árvores, a maioria nativa e algumas frutíferas, em covas previamente adubadas com esterco e calcário. As espécies que sobreviveram ao ataque de formigas, ao plantio e que regeneraram naturalmente nestas áreas foram: *Ceiba speciosa* (Painera), *Cupressus lusitânica* (Cipreste Português), *Anadenanthera colubrina* (Angico-Amarelo), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Cecropia pachystachya* (Embaúba), *Mangifera indica* (Manga), *Cedrus* (Cedro), *Tabebuia* (Ipê), *Bauhinia forficata* (Pata-de-Vaca), *Acacia mangium* (Acácia), *Elaeocarpus serratus* (Azeitona-do-Ceilão), *Cariniana legalis* (Jequitibá-Rosa), *Sclerolobium paniculatum* (Angá), *Lecythis pisonis* (Sapucaia), Quaresminha, *Bombacopsis glabra* (Castanha), *Caesalpinia pluviosa* (Sibipiruna), *Psidium guajava* (Goiaba), *Ocotea divaricata* (Canela), *Artocarpus altilis* (Fruta Pão), *Piptadenia*

gonoacantha (Pau-Jacaré), *Mollinedia schottiana* (Pimenteira), *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), *Eugenia fusca* (Jambo do Mato), e *Campomanesia xanthocarpa* (Gabirola).

Já as áreas de pastagens possuem idade superior às áreas de florestas. Nestas áreas, o capim braquiária (*Brachiaria sp.*) predomina na face de exposição leste e grama batatais (*Paspalum notatum*) predomina na face de exposição oeste. A P_O possui um nível maior de degradação que a P_L com presença de erosões em sulcos. O gado (15 unidades) é criado solto e o único manejo realizado nestas áreas foi a calagem, mas segundo o proprietário “há muitos anos”. O solo destas áreas foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo.

2.2 Cobertura do solo

Para capturar as imagens da cobertura do solo da área de estudo foi usado o drone DJI Phantom 4 Pro (P4P) e o aplicativo Drone Deploy para o mapeamento do voo.

Com auxílio do GPS topográfico foi demarcado pontos estratégicos na área de estudo a fim de eliminar o erro originado do sensor GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite) embarcado ao drone. As imagens foram processadas e georreferenciadas para geração do ortomosaico da área. Estes processos foram realizados utilizando o programa de computador de processamento de imagens Agisoft Photoscan versão 1.3.

2.3 Amostragens dos solos

Em cada local de estudo (F_L, F_O, P_L, P_O) foi selecionado uma área de aproximadamente 400 m² no terço superior das encostas para a determinação das propriedades físicas, químicas e carbono orgânico total no solo (COT). Dentro de cada área, o solo foi amostrado em 15 pontos, totalizando 60 amostragens.

2.4 Características físicas, químicas e carbono orgânico do solo

Amostras indeformadas de solo foram coletadas com anéis de aço de 5,3 cm de altura e 4,8 cm de diâmetro na profundidade de 0 a 10 cm, para determinações da densidade do solo (D_s), densidade de partícula (D_p) e microporosidade (MICRO). A porosidade total (P_t) foi obtida pela fórmula $(1-D_s/D_p)$ e a macroporosidade foi calculada pela diferença entre a P_t e a MICRO. O espaço de poros preenchido com água foi calculado usando os valores da umidade do solo (UMID, determinada pelo método termogravimétrico (Embrapa, 2011), D_s e P_t de acordo com a fórmula: $(UMID \times D_s)/P_t$). Todas essas análises seguiram os procedimentos padrão de pesquisa de solo indicados pela Embrapa (2011). As análises químicas foram realizadas seguindo os procedimentos conforme Lopes e Alvarez. (1999). O

carbono orgânico total (COT) foi determinado pela oxidação úmida da matéria orgânica, utilizando fonte externa de calor (Yeomans e Bremner, 1988). Este dado também foi utilizado para calcular a matéria orgânica do solo (MOS).

2.5 Análise dos dados de Carbono (C)

O estoque de C (g) no solo foi calculado de acordo com a densidade do solo, % de C e a profundidade da amostragem (10 cm) (Guo e Gifford, 2002). Para calcular a variação absoluta do estoque de C no solo por ano, foi estimada a diferença entre os estoques de C do solo das florestas secundárias (consideradas como referências) e das pastagens (Adaptado de Li et al., 2012) de acordo com a equação:

$$\text{Variação absoluta de estoque de C (g m}^{-2}\text{ ano}^{-1}) = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

Onde ΔX é a diferença de estoques de C do solo da área de floresta (consideradas referências) e a pastagem e Δt representa anos desde a conversão da área de pastagem em floresta até o momento.

A taxa de variação relativa do estoque representa a variação em % do carbono presente na área de floresta em relação ao carbono na área de pastagem. A taxa relativa foi calculada conforme a seguinte equação:

$$\text{Variação relativa de estoque de C (\% ano}^{-1}) = \frac{\Delta X}{X_{\text{cultivo}} * \Delta t} * 100$$

Onde: X_{cultivo} , é o estoque de C no solo na área de pastagem.

2.6 Condutividade hidráulica saturada

Para a medição da condutividade hidráulica saturada, utilizaram-se os anéis indeformados. As amostras foram saturadas lentamente (de baixo para cima) para evitar a retenção de ar, ao longo de um intervalo de tempo de 48 h. Aplicou-se um volume de água constante e registrou-se o fluxo de água através dos anéis, seguindo a metodologia descrita por Embrapa (2011). Depois que a vazão constante foi estabelecida, mediu-se o volume de água percolada por unidade de tempo e foi calculado o K_s de acordo com a Equação de Darcy para condições saturadas.

2.7 Infiltração de água no solo

A infiltração de água constante sob tensão foi determinada em diferentes taxas de sucção, -0,5, -2,0 e -6,0 cm de água usando o método do infiltrômetro Mini Disk (Decagon Devices, Pullman, WA; raio 2,25 cm), durante a estação chuvosa. O infiltrômetro é um tubo de acrílico com um disco plástico semipermeável e uma rolha de borracha. Um pequeno tubo instalado a uma curta distância acima do disco regula a taxa de sucção. O disco do infiltrômetro foi alocado aleatoriamente na área experimental (F_L , F_O , P_L e P_O) e em cada local foi realizado 15 repetições com três diferentes sucções, totalizando 45 medições por área, 180 medições no total. Antes de cada medição, o solo da superfície (1 a 2 cm) foi limpo tornando a superfície lisa e nivelada. Em seguida, areia fina (<0,25 mm) foi vertida na superfície para garantir um bom contato entre o solo e o disco do infiltrômetro. O aparelho (infiltrômetro) foi então alocado na superfície e água presente no tubo foi introduzida ao solo.

As leituras de infiltração foram gravadas manualmente em intervalos de 30 segundos até que os valores se tornaram constantes. Após a determinação da infiltração, amostras de solos deformadas foram coletadas próximas ao local de cada infiltração, estas foram armazenadas em recipientes e vedadas para medição da umidade termogravimétrica do solo (Embrapa, 2011).

A infiltração constante em cada sucção (h_0) foi determinada a partir da infiltração cumulativa medida ao longo do tempo, utilizando o método proposto por (Zhang, 1997) e calculada a partir da equação:

$$K(h_0) = C_1/A$$

onde “ C_1 ” é a inclinação da curva da infiltração cumulativa versus a raiz quadrada do tempo, e “ A ” é um valor que relaciona os parâmetros de van Genuchten para um determinado tipo de solo, sucção e raio do disco do infiltrômetro (Zhang, 1997), conforme a equação:

$$A = \frac{11.65 (n^{0.1}-1) \exp [7.50(n-1.9)\alpha h]}{(\alpha r)^{0.91}}, \text{ para } n < 1.9$$

onde n e α são os parâmetros do solo de van Genuchten, r_0 é o raio do disco e h_0 é a sucção na superfície do disco. Os parâmetros do solo de van Genuchten foram obtidos por Carsel e Parrish (1998), de acordo com informações do fabricante do infiltrômetro Mini Disk.

Para avaliar a contribuição dos macroporos na infiltração de água no solo, calculou-se a diferença da infiltração de água no solo entre as sucções -0,5 e -2,0 cm conforme Li et al. (2005).

2.8. Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e 15 repetições. Os tratamentos foram constituídos por: floresta com face de exposição leste, floresta com face de exposição oeste, pastagem com face de exposição leste e pastagem com face de exposição oeste. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as características avaliadas que apresentaram diferença significativa pelo teste F, tiveram as médias comparadas pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas utilizando o software Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG).

3. RESULTADOS

3.1 Coberturas do solo nos diferentes usos e face de exposição solar

Através da foto, feita pelo drone (Figura 1), foi possível identificar diferença entre os tipos de uso do solo e variações nas áreas de florestas e pastagens nas diferentes faces de exposição solar. O solo da face de exposição solar oeste (que recebe maior radiação) estava mais descoberto na área de pastagem na face leste, o que é indicação de degradação do solo. Nesta mesma face, a vegetação, na área de floresta estava menos densa do que na face leste (Figura 1).

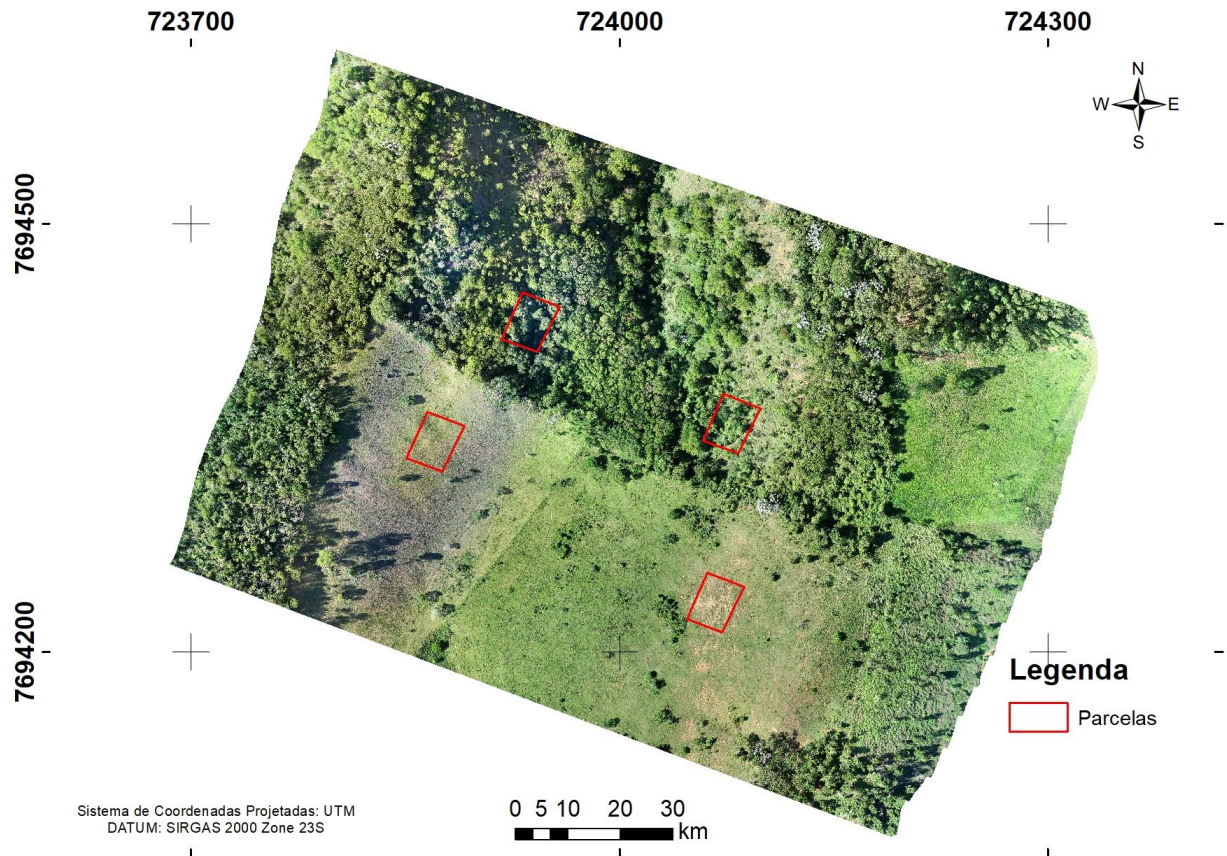


Figura 2. Ortomosaico da microbacia estudada feita com drone. Comunidade do Palmital, Viçosa, Minas Gerais. Os retângulos em vermelho representam as parcelas da área de estudo.

3.2 Características do solo

As áreas de pastagens apresentaram maiores valores de densidade do solo ($P < 0.05$) e consequentemente maiores valores de microporosidade ($P < 0.05$) e menor macroporosidade ($P < 0.05$), quando comparados com as áreas de florestas secundárias (Tabela 1). Em relação às faces de exposição solar, a face leste na área de floresta apresentou menores valores de densidade do solo ($P < 0.05$) que a face oeste (Tabela 1).

A umidade gravimétrica foi maior ($P < 0.05$) nas áreas de florestas secundárias em relação às áreas de pastagens e os espaços de poros preenchidos com água foram maiores ($P < 0.05$) na floresta-oeste em relação à floresta-leste e pastagens (Tabela 1). Os teores de MOS (Tabela 1) variaram de bom (> 4.01 dag/kg) a muito bom (> 7.0 dag/kg) nas áreas de florestas e foram maiores ($P < 0.05$) que nas áreas de pastagens (< 4.0 dag/kg).

Tabela 1. Média (n = 15) das características físicas e matéria orgânica nas diferentes áreas de floresta secundária, face de exposição leste (F_L) ou oeste (F_O) e pastagens face de exposição leste (P_L) e oeste (P_O), Minas Gerais, Brasil.

Local das amostragens	F _L	F _O	P _L	P _O
Características físicas e Matéria orgânica do solo				
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1.06 (0.0)c	1.17 (0.0)b	1.24 (0.0)a	1.21 (0.0)ab
Microporosidade (%)	37.7 (0.0)b	39.4 (0.0)b	41.0 (0.0)a	41.0 (0.0)a
Macroporosidade (%)	17.0 (0.0)a	13.0 (0.0)ab	7.00 (0.0)c	10.0 (0.0)bc
Umidade gravimétrica (%)	36.0 (0.0)a	38.0 (0.0)a	27.0 (0.0)b	26.0 (0.0)b
Poros preenchidos com água (%)	70.0 (0.0)b	85.0 (0.0)a	69.0 (0.0)b	62.0 (0.0)b
Matéria orgânica do solo (dag/Kg)	8.2(0.2)a	5.77(0.2)b	3.97(0.3)c	3.34(0.2)c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. (Os números entre parênteses significam o erro padrão).

A média da densidade de partícula nas áreas foi em torno de 2,43g cm⁻³. O equivalente de umidade foi maior na F_L, seguido da F_O, P_L e P_O e a textura do solo foi considerada argilosa em P_L e F_O e muito argilosa em F_L e P_O (Tabela 2).

Os solos de todas as áreas apresentaram acidez ativa muito elevada (pH<4,5), e a acidez trocável foi elevada (>1 cmol_c dm⁻³) nas áreas de pastagens, médio (>0.5 cmol_c dm⁻³) na área de floresta-leste e baixo (<0.5 cmol_c dm⁻³) na floresta-oeste. Os teores de cálcio foram muito baixos (<0.4 cmol_c dm⁻³) nas áreas de pastagem, juntamente com os teores de magnésio (≤0.15 cmol_c dm⁻³). Nas áreas de floresta os teores de cálcio (>1.21 cmol_c dm⁻³) e os de magnésio (>0.46 cmol_c dm⁻³) foram médios. Os teores de potássio foram baixo (<40 mg/dm³) na área de pastagem-leste, muito baixo (≤15mg/dm³) na pastagem-oeste e médio (>41mg/dm³) nas áreas de floresta. Os teores de fósforo foram muito baixos (≤8 mg/dm³) em todas as áreas deste estudo (Tabela 2).

Tabela 2. Características físicas e químicas nas diferentes áreas de floresta secundária, face de exposição leste (F_L) ou oeste (F_O) e pastagens face de exposição leste (P_L) e oeste (P_O), Minas Gerais, Brasil.

Local das amostragens	F _L	F _O	P _L	P _O
Características físicas e químicas do solo				
Densidade de partícula (g cm ⁻³)	2.35	2.47	2.41	2.51
Equivalente de umidade (%)	34%	31%	30%	29%
Areia (%)	33	36.5	34	26.4
Silte (%)	6.6	9.8	6.7	11.4
Argila (%)	60.4	53.7	59.3	62.3
pH (H ₂ O)	4.24	4.50	4.16	4.05
P (mg dm ³)	2.0	1.2	1.8	0.9
K (mg dm ³)	56.0	49.0	21.0	15.0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1.92	2.02	0.35	0.12
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0.73	0.68	0.15	0.05
Al (cmol _c dm ⁻³)	0.58	0.29	1.36	1.36
(H+Al) (cmol _c dm ⁻³)	8.5	6.6	7.9	6.1

3.3 Estoque de carbono e acúmulo de carbono no solo da floresta secundária calculado em relação às pastagens

Os estoques de C no solo variaram de 2857 g m⁻² a 8976 g m⁻² e diferiram entre os tipos de uso do solo e face de exposição solar (Figura 3a). As florestas apresentaram maiores estoques de C ($P < 0.05$) quando comparadas com as áreas de pastagens. Os estoques de C no solo foram maiores ($P < 0.05$) na F_L, do que em F_O.

A taxa de variação absoluta do estoque de C no solo foi maior em F_L ($P < 0.05$) que F_O , ($42 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ a mais que em F_O) (Figura 3b). As taxas de variação relativa do C no solo também foram maiores em F_L ($P > 0.05$) que em F_O , uma variação de 6.9 \% ano^{-1} , 2% a mais que F_O (Figura 3c). As florestas ajudaram na recuperação do C do solo e em uma taxa ano^{-1} maior (30% , $P > 0.05$) na posição leste em relação à posição oeste.

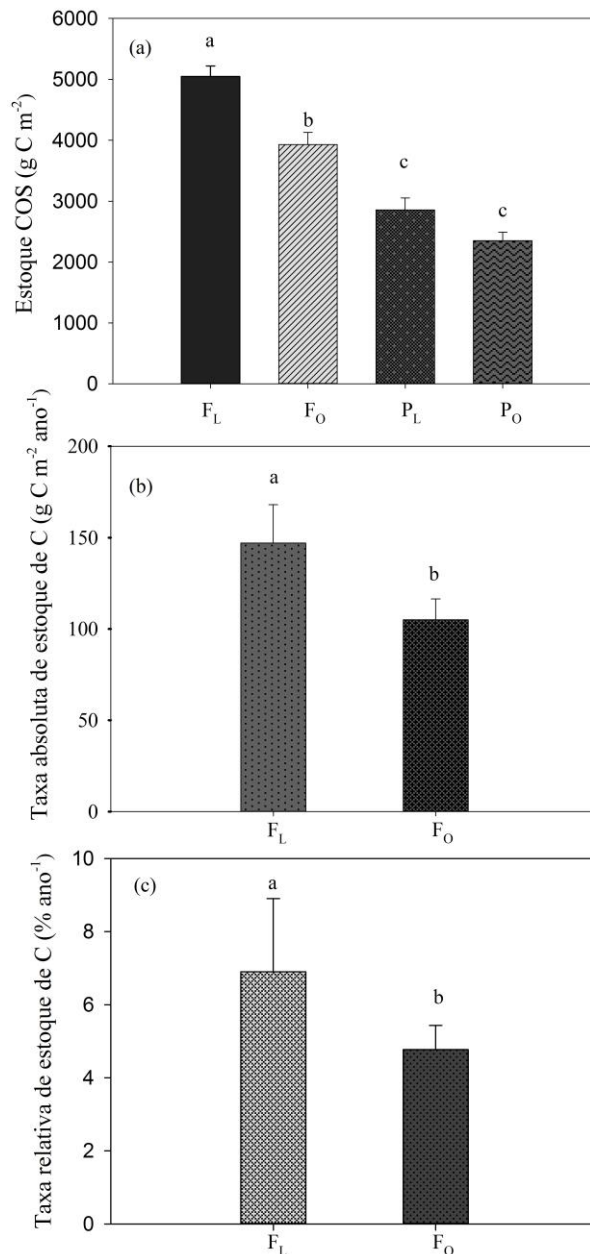


Figura 3. Estoque de carbono orgânico do solo (a), taxa absoluta de estoque de C (b) e taxa relativa de estoque de C (c) em floresta secundária, face de exposição leste (F_L) e oeste (F_O) e pastagens face de exposição leste (P_L) e oeste (P_O), Minas Gerais, Brasil. Médias seguidas

pelas mesmas letras nos diferentes usos e face de exposição solar não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão (SE).

3.4 Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) foi maior ($P < 0,05$) na área F_L ($110,6 \text{ mm h}^{-1}$) do que nas demais áreas (Figura 4). Devido a grande dispersão nas medições individuais na F_O , não houve diferença significativa em relação às áreas de pastagens. Entretanto a média K_{sat} nas áreas de florestas foi pelo menos 78% maior do que nas áreas de pastagens (Figura 3).

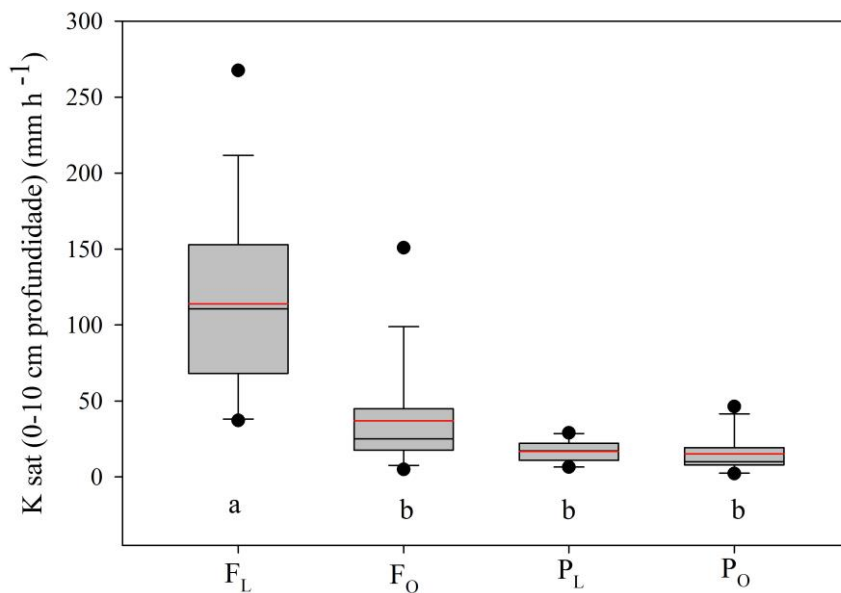


Figura 4. Condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) na profundidade de 0-10 cm em área de floresta secundária na face de exposição leste (F_L) e oeste (F_O) e Pastagens nas posições leste (P_L) e oeste (P_O), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Médias seguidas pelas mesmas letras nos diferentes usos e face de exposição solar não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão (SE), o traço vermelho representa à média, o preto a mediana e os pontos os outliers.

3.5 Taxa de infiltração constante nas diferentes pressões

As taxas de infiltração constante nos quatro locais de estudo e nas diferentes pressões (-0.5, -2 e -6 hpa) encontram-se na Figura 5. A taxa de infiltração estável diminuiu com o aumento da pressão negativa e as menores taxas de infiltração foram observadas na pressão de -6 hpa (Figura 5). A maior parte da infiltração da água no solo ocorreu na sucção de -0.5 hpa (Figura 5). Nesta pressão, a F_L apresentou os maiores valores ($P < 0.05$, 20.67 mm h^{-1}), quando comparado com as demais áreas. Porém, como a dispersão dos dados foi alta, a F_L não diferiu estatisticamente da F_O (12.8 mm h^{-1}), que também não diferiu das infiltrações em áreas de pastagens. Quando se considera a pressão negativa de -2 hpa, nota-se uma redução drástica na infiltração constante em todas as áreas (Figura 5), principalmente nas áreas de floresta. Nesta pressão, a área P_O apresentou os maiores valores ($P < 0.05$) (6.6 mm h^{-1}), não diferindo estatisticamente da F_O (4.7 mm h^{-1}). F_L e P_L não difeririam entre si ($P < 0.05$). Na pressão de -6 hpa, a infiltração constante foi ainda menor nas áreas de floresta. No entanto houve uma diferença relativamente pequena entre a taxa de infiltração constante nas pressões de -2 e -6 hpa. Nessa pressão, as maiores ($P < 0.05$) infiltrações (média de 2.7 mm h^{-1}) foram nas áreas de pastagens (Figura 5).

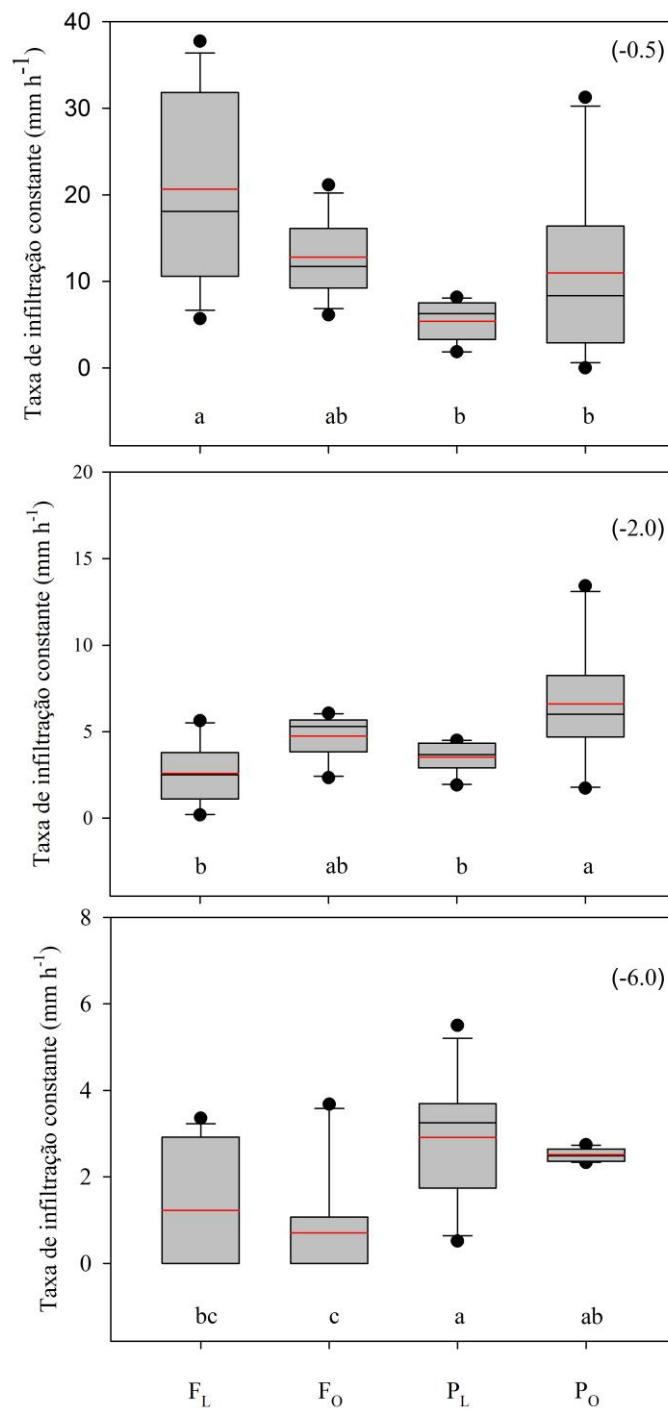


Figura 5. Médias da taxa de infiltração constante em diferentes tensões em áreas de floresta secundária na face de exposição leste (F_L) e oeste (F_O) e pastagens nas posições leste (P_L) e oeste (P_O), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Médias seguidas pelas mesmas letras nos diferentes usos e face de exposição solar não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%

de probabilidade. As barras representam o erro padrão (SE), o traço vermelho representa à média, o preto a mediana e os pontos os outliers.

4. DISCUSSÃO

4.1 Características físicas e químicas do solo

A porosidade e a capacidade de armazenamento de água no solo aumentam gradualmente com a sucessão vegetal natural (Zhang et al., 2016; Zhao et al., 2010), este efeito é mais acentuado em áreas que foram anteriormente utilizadas com pastagens (Udawatta et al., 2008). Com a sucessão vegetal aumenta o teor de carbono orgânico do solo (Fischer et al., 2015), como ocorreu principalmente na floresta-leste (Tabela 1 e Figura 3), região de menor declividade e menor incidência solar (Figura 2). Ao elevar o carbono orgânico, a estrutura do solo altera e com isto aumenta a macroporosidade do solo (Mulumba e Lal, 2008) como observado na Tabela 1. Isto implica em aumento da condutividade hidráulica e infiltração da água no solo (Wang et al., 2008; Fischer et al., 2015), além da diminuição da densidade do solo (Zacharias e Wessolek, 2007), conforme observado neste estudo (Tabela 1, Figuras 4 e 5).

As florestas secundárias ajudam a estabilizar o clima abaixo do dossel, através da redução da temperatura (Guariguata e Ostertagi 2001) e da evaporação do solo (Lin, 2010), o que aumenta a umidade do solo (Liu et al., 2014), como observado em ambas as áreas de floresta (Tabela 1). Um evento de chuva ocorreu durante a medição na floresta-oeste, o que explica a maior quantidade de poros preenchidos com água (Tabela 1), o que alterou o teor de umidade neste local.

A queda de serapilheira e as atividades radiculares de diferentes espécies arbóreas têm efeito direto na disponibilidade de nutrientes e na comunidade microbiana do solo (Scheibe et al., 2015). O aumento das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e k^+) nas áreas de floresta em relação as áreas de pastagens (Tabela 2) pode está relacionado as altas taxas de reciclagem através da queda de serapilheira (MC Donald e Healey, 2000), mas também a baixa perda de nutrientes devido ao menor escoamento de água e menor erosão do solo.

O elevado teor de matéria orgânica, graças aos resíduos orgânicos advindos da floresta, complexa o alumínio da solução do solo (Mokolobate e Haynes, 2003) e com isto o teor de Al^{3+} é baixo, como observado Tabela 2. Já nas áreas de pastagens a elevada acidez é proveniente do alto teor de Al^{3+} no complexo de troca (Tabela 1) que se relaciona com os

baixos teores de C no solo. Os ecossistemas tropicais abrigam os solos mais antigos, a exemplo dos Latossolos deste estudo, com baixa concentração de nutrientes (Camenzind et al., 2018) e alta concentração de alumínio fitotóxico (Kochian et al., 2005). Tais solos exigem aportes de matéria orgânica constante, como advinda das florestas, para manter a vida no solo, aumentar a ciclagem dos nutrientes e complexar o alumínio (Cardoso et al., 2018), pois é a matéria orgânica e os organismos do solo que garantem sua fertilidade (Craswell e Lefroy, 2000; kamau et al., 2019).

A baixa concentração de P encontrada em todas as áreas (Tabela 2) é comum nos Latossolos e nos ecossistemas tropicais. O P nestes solos é adsorvido e fixado pelos óxidos de Fe e Al, que transformam o P total em forma não facilmente disponível para as plantas cultivadas (Fontes e Weed, 1996), mas não necessariamente para as plantas nativas que desenvolvem estratégias para lidar com esta aparente indisponibilidade de P no solo (Beck e Sanchez, 1994). De acordo com estes autores em sistemas onde não há adição de fertilizantes, como neste estudo as plantas podem ter acesso a “pools” de P menos disponível, mediado em grande parte pelos microrganismos do solo, que não é contabilizado nas análises tradicionais de P no solo.

Assim, em áreas de floresta, com bons e médios teores de matéria orgânica (Tabela 1), as transformações e disponibilidade do P no solo, não dependem apenas das características químicas do solo, mas também das interações com plantas e associações de plantas com microrganismos (Cardoso e Kuyper, 2006; Sheibe et al., 2015; Roth e Paszkowski, 2017). Além destas interações, nestes solos as raízes das árvores podem ciclar o P presente em maiores profundidades do solo (Makumba, 2006). Por isto, os sistemas agroflorestais nos trópicos são apontados como tecnologia de manejo sustentável dos solos, pois aliam árvores com os cultivos (Cardoso, 2002), portanto, em pastagens deve-se priorizar o uso de sistemas silvipastoris (uma modalidade de sistema agroflorestal).

4.2 Carbono nos diferentes usos e face de exposição

As árvores sequestram e retêm mais C atmosférico em sua biomassa e no solo, do que as culturas ou pastagens (Pan et al., 2011) e isto implica em maiores estoques de carbono nas áreas de floresta, com impacto na melhoria da qualidade física química e hidráulica do solo, conforme observado neste estudo (Tabela 1, Figura 3a). O sequestro de C no solo depende do equilíbrio entre o acúmulo de biomassa e de serrapilheira e as perdas por respiração e

decomposição da serrapilheira e do C do solo (Cunningham et al., 2015). Os maiores estoques de C nas áreas de floresta-leste, em relação à floresta-oeste (Figura 3), podem estar relacionados à menor radiação solar nestas áreas (Figura 2), o que implica em maior umidade e maior desenvolvimento das plantas. O mesmo pode ter ocorrido com a pastagem leste (maior teor de C) em relação à pastagem oeste (Figura 3a).

As taxas de mudança de C no solo observadas neste estudo (Figura 3b) foram bem maiores que às encontradas em todos os ecossistemas florestais, onde as taxas médias de mudança de C no solo foram de $2,4 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (Schlesinger, 1990). Neste estudo os resultados foram maiores em 12 anos (Figura 3a), o que indica que os teores de C do solo nestas florestas tropicais podem ser rapidamente recuperado após a reconversão das pastagens em florestas (Martin et al., 2013), nas diferentes faces de exposição solar (Figura 3b e c), ao contrário do que foi apontado por alguns autores (Poorter et al., 2016; Paul et al., 2002; Li et al., 2012) que consideram que as florestas tropicais precisam de mais tempo para acumular C no solo, que os encontrado neste estudo. A recuperação rápida do C do solo indica o potencial que estas florestas secundárias têm em mitigar o efeito de mudanças climáticas (Cunningham et al., 2015; Stocker et al., 2013).

4.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat) nos diferentes usos do solo e face de exposição solar

A elevada variação dos valores de Ksat (Figura 4) é observado também por outros autores (Hassler et al., 2011; Zimmermann e Elsenbeer, 2009), segundo eles a Ksat é afetada por várias propriedades de superfície, mesmo quando as medições são feitas a curtas distâncias (Leite et al., 2017). Apesar da variabilidade espacial, os valores de Ksat diferiu de acordo com o uso do solo (Figura 4).

A floresta secundária leste, com maior teor de C orgânico no solo (Tabela 1), promoveu uma recuperação gradual das propriedades hidráulicas do solo e aumentou a Ksat e a infiltração de água no solo (Figura 4 e 5), conforme observado também por Agnese et al., (2011). Segundo Fischer et al. (2015) a riqueza de espécies de plantas (na floresta) melhora as propriedades hidráulicas do solo, como a capacidade de infiltração, porque aumentam a biomassa radicular e o C orgânico do solo e estes têm efeito na estrutura e, portanto, na porosidade do solo.

Contudo, os valores de Ksats das pastagens e floresta oeste não diferiram (Figura 4). Apesar do maior teor de matéria orgânica nesta área em relação às áreas de pastagens (Tabela

1), a macroporosidade dos solos da floresta oeste e pastagens (especialmente P_L) se aproximaram (Tabela 1) e com isto, os valores da condutividade hidráulica (Figura 4) e infiltração de água no solo (Figura 5), não diferiram.

A infiltração média determinada na floresta-leste (114 mm/h) é similar aos valores encontrados por Ziegler et al. (2004) e Hassler et al. (2011). Estes autores ao estudarem a transformação de pastos ou roças nos trópicos em florestas secundárias entre (12-20 anos) encontraram valores de infiltração que variam de aproximadamente 65 mm h⁻¹ (Ziegler et al., 2004) a 160 mm h⁻¹ (Hassler et al., 2011). Estes valores são bem maiores que aqueles encontrados por Hassler et al. (2011) (variando de 32-38 mm h⁻¹) em floresta com menor idade (10 anos) de regeneração, mas esses dados foram similares aos da floresta-oeste (37 mm⁻¹). A floresta-oeste está demorando mais para se recuperar, o que evidencia, a influência da face de exposição no tempo de recuperação das florestas.

4.4 Taxa de infiltração constante nos diferentes usos e face de exposição solar

A maior infiltração constante observada na pressão de -0.5 hPa (Figura 5), sugere que extensas redes de macroporos existem e desempenham um papel significativo no movimento da água no solo (Holden, 2009), apesar de compreender uma menor fração da porosidade total (Moret e Arrué, 2007). Esta rede de macroporos é maior em áreas com presença de árvores (Vetaas, 1992), devido aos sistemas radiculares extensos e profundos das árvores que criam bioporos com a decomposição das raízes (Archer et al., 2016; Fisher et al., 2015; Zaibon et al., 2017), além do aumento da matéria orgânica nestas áreas (Tabela 1), que resulta em mudanças na estrutura (Pan et al., 2017) e no aumento da porosidade do solo (Zaibon et al., 2017). Portanto, a maior porosidade, em especial em F_L (Tabela 1), levou a maior infiltração, também em F_L (Figura 5).

Como o C orgânico total se correlaciona fortemente com a repelência do solo a água (Goebel et al., 2011; Borja et al., 2018), a medição da infiltração nas áreas foi feita com o solo úmido, no período da chuva (Figura 1). Alguns estudos mostram que, quanto mais tempo o solo estiver seco, maior será a sua resistência ao molhamento nas primeiras chuvas (Goebel et al., 2011), quando se tem elevado teor de matéria orgânica, como as áreas de floresta deste estudo (Tabela 1). Isto foi observado nas primeiras tentativas de medição da infiltração na área de floresta-leste (dados não mostrados). A resistência inicial ao molhamento é causada por compostos orgânicos hidrofóbicos derivados da vegetação, principalmente pela exsudação

das raízes (Mao et al., 2014). Segundo Garg e Ng, (2015), à medida que aumenta o tempo de molhamento a ocorrência da repelência do solo diminui.

Nas sucções de -2hpa e -6hpa o fluxo gravitacional (dos macroporos), predominante na floresta, influenciam menos o fluxo de água, que passa a ser determinado por fluxo matricial, predominante nas pastagens, devido ao aumento de microporos (Zwartendijk et al., 2017), conforme observado neste estudo (Figura 5). A sucção de -6hpa faz com que a água se move através dos poros de diâmetros menores que 0.5 mm (Zhang et al., 2016) (microporos), o que explica a menor taxa de infiltração constante de água no solo nas áreas de floresta (menor microporosidade) e maior nas áreas de pastagens (maior microporosidade) (Tabela, 1; Figura 5). O desmatamento das florestas para implantação da agricultura e pecuária leva a reduções de longo prazo na infiltração da água devido ao aumento da compactação do solo (Bruijnzeel, 2004) e conseqüentemente redução da macroporosidade, transformando as em microporos (Tabela 1).

De acordo com Tang et al. (2018), a melhora na capacidade de infiltração de água no solo está diretamente relacionada ao aumento da porosidade não capilar do solo, o que evidencia a importância das florestas para a redução do escoamento superficial e abastecimento dos mananciais hídricos.

5. CONCLUSÃO

Em relação às pastagens, os solos das florestas secundárias apresentaram qualidades físicas e químicas melhores. A macroporosidade, o estoque de carbono, a infiltração de água no solo e as bases trocáveis foram maiores e o alumínio trocável menor nos solos das florestas. Houve efeito da localização das áreas, pois tais efeitos foram ainda maiores no solo da floresta localizada na face-leste.

O solo da floresta secundária-leste apresentou ainda maiores valores de condutividade hidráulica saturada. Nas florestas secundárias, os macroporos contribuíram mais para os fluxos de água que os mesoporos e microporos, o inverso das pastagens.

Estes resultados indicam que para aumentar o fluxo e a qualidade de água dos mananciais, as políticas públicas devem incentivar o uso de práticas vegetativas como o uso de sistemas silvipastoris nas pastagens e a revegetação do terço superior dos morros.

Avaliações adicionais são necessárias para quantificar a magnitude desse efeito em maiores profundidades, combinando escoamento superficial com infiltração de água no solo nas diferentes faces de exposição solar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNESE, C. et al. Comparing physical quality of forest and pasture soils in a Sicilian watershed. *Soil Science Society of America Journal*, v. 75, n. 5, p. 1958-1970, 2011.
- ARCHER, N. AL. et al. Rainfall infiltration and soil hydrological characteristics below ancient forest, planted forest and grassland in a temperate northern climate. *Ecohydrology*, v. 9, n. 4, p. 585-600, 2016.
- ASNER, G. P. et al. A contemporary assessment of change in humid tropical forests. *Conservation Biology*, v. 23, n. 6, p. 1386-1395, 2009.
- BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1424-1431, 1994.
- BORJA- LUCAS, M. E. et al. Short-term changes in infiltration between straw mulched and non-mulched soils after wildfire in Mediterranean forest ecosystems. *Ecological Engineering*, v. 122, p. 27-31, 2018.
- BRIGHT, R. M. et al. Local temperature response to land cover and management change driven by non-radiative processes. *Nature Climate Change*, v. 7, n. 4, p. 296, 2017.
- BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 104, n. 1, p. 185-228, 2004.
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Engagement of scientific community and transparency in C accounting: the Brazilian case for anthropogenic greenhouse gas emissions from land use, land-use change and forestry. *Environmental Research Letters*, v. 13, n. 5, p. 055005, 2018.
- CAMENZIND, T. et al. Nutrient limitation of soil microbial processes in tropical forests. *Ecological Monographs*, v. 88, n. 1, p. 4-21, 2018.
- CARDOSO, I. M. Phosphorus in agroforestry systems: a contribution to sustainable agriculture in the Zona da Mata of Minas Gerais, Brazil. sn], 2002.
- CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 116, n. 1-2, p. 72-84, 2006.

CARSEL, R. F.; PARRISH, R. S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research*, v. 24, n. 5, p. 755-769, 1988.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *science*, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CHAZDON, R. L. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances*, v. 2, n. 5, p. e1501639, 2016.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. In: *Managing Organic Matter in Tropical Soils: Scope and Limitations*. Springer, Dordrecht, 2001. p. 7-18.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, 2.ed., 230 p. 2011.

FISCHER, C. et al. Plant species diversity affects infiltration capacity in an experimental grassland through changes in soil properties. *Plant and soil*, v. 397, n. 1-2, p. 1-16, 2015.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. *Geoderma*, v. 72, n. 1-2, p. 37-51, 1996.

GARG, A.; NG, C. W. W. Investigation of soil density effect on suction induced due to root water uptake by *Schefflera heptaphylla*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 178, n. 4, p. 586-591, 2015.

GODSEY, S.; ELSENBEER, H. The soil hydrologic response to forest regrowth: a case study from southwestern Amazonia. *Hydrological Processes*, v. 16, n. 7, p. 1519-1522, 2002.

GOEBEL, MARC-O. et al. Soil water repellency and its implications for organic matter decomposition—is there a link to extreme climatic events?. *Global Change Biology*, v. 17, n. 8, p. 2640-2656, 2011.

GOMES, L. C. et al. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and forest meteorology*, v. 224, p. 30-39, 2016.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest ecology and management*, v. 148, n. 1-3, p. 185-206, 2001.

GUO, L.B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, v. 8, n. 4, p. 345-360, 2002.

HARDEN, C. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, v. 79, n. 3-4, p. 249-263, 2006.

HASSLER, S. K. et al. Recovery of saturated hydraulic conductivity under secondary succession on former pasture in the humid tropics. *Forest Ecology and Management*, v. 261, n. 10, p. 1634-1642, 2011.

HOLDEN, J. Flow through macropores of different size classes in blanket peat. *Journal of Hydrology*, v. 364, n. 3-4, p. 342-348, 2009.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems?. *Forest Ecology and Management*, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HOUGHTON, R. A.; NASSIKAS, A. A. Negative emissions from stopping deforestation and forest degradation, globally. *Global change biology*, v. 24, n. 1, p. 350-359, 2018.

KAMAU, J. W. et al. Fertilidade do solo e biodiversidade em fazendas de pequenos agricultores orgânicos e convencionais no Quênia. *Applied Soil Ecology*, v. 134, p. 85-97, 2019.

KOCHIAN, L. V.; PINEROS, M. A.; HOEKENGA, O. A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. In: *Root Physiology: From Gene to Function*. Springer, Dordrecht, 2005. p. 175-195.

LEITE, P. AM et al. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. *Ecohydrology*, v. 11, n. 3, p. e1910, 2018.

LI, D.; NIU, S.; LUO, Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. *New Phytologist*, v. 195, n. 1, p. 172-181, 2012.

LI, XIAO-YAN; GONZÁLEZ, A.; SOLÉ-BENET, A. Laboratory methods for the estimation of infiltration rate of soil crusts in the Tabernas Desert badlands. *Catena*, v. 60, n. 3, p. 255-266, 2005.

LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 150, n. 4, p. 510-518, 2010.

LIU, Y. et al. Variation in soil respiration under the tree canopy in a temperate mixed forest, central China, under different soil water conditions. *Ecological research*, v. 29, n. 2, p. 133-142, 2014.

LIU, Z. et al. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. *Soil and Tillage Research*, v. 178, p. 139-149, 2018.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V, V. H. Interpretação dos resultados das análises de solos. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, v. 5, p. 21-24, 1999.

MAO, J. et al. Roots induce stronger soil water repellency than leaf waxes. *Geoderma*, v. 232, p. 328-340, 2014.

MAPA, 2014. Embrapa mapeia degradação das pastagens do Cerrado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, Brasil.

MAPA, 2015. Estado da arte das pastagens de Minas Gerais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, Brasil.

MARTIN, P. A.; NEWTON, A.C.; BULLOCK, J. M. Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests. *Proc. R. Soc. B*, v. 280, n. 1773, p. 20132236, 2013.

MCDONALD, M. A.; HEALEY, J. R. Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica. *Forest Ecology and Management*, v. 139, n. 1-3, p. 257-278, 2000.

MOKOLOBATE, M. S.; HAYNES, R. J. A glasshouse evaluation of the comparative effects of organic amendments, lime and phosphate on alleviation of Al toxicity and P deficiency in an Oxisol. *The Journal of Agricultural Science*, v. 140, n. 4, p. 409-417, 2003.

MORET, D.; ARRÚE, J. L. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil and Tillage Research*, v. 96, n. 1-2, p. 103-113, 2007.

OUYANG, W. et al. Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of The Total Environment*, v. 613, p. 798-809, 2018.

OWUOR, S. O. et al. Conversion of natural forest results in a significant degradation of soil hydraulic properties in the highlands of Kenya. *Soil and Tillage Research*, v. 176, p. 36-44, 2018.

PAN, T. et al. Variation of soil hydraulic properties with alpine grassland degradation in the eastern Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, n. 4, p. 2249-2261, 2017.

PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, p. 1201609, 2011.

PARENTE, L. et al. Monitoring the Brazilian pasturelands: A new mapping approach based on the Landsat 8 spectral and temporal domains. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 62, p. 135-143, 2017.

PASSOS, R. R. et al. Least limiting water range of Udox soil under degraded pastures on different sun-exposed faces. *International Agrophysics*, v. 31, n. 3, p. 393-400, 2017.

PAUL, K. I. et al. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, v. 168, n. 1-3, p. 241-257, 2002.

PENG, S. et al. Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 5, p. 1008-1014, 2009.

POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, v. 30, n. 7589, p. 211, 2016.

PRICE, K.; JACKSON, C. R.; PARKER, A.J. Variation of surficial soil hydraulic properties across land uses in the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina, USA. *Journal of Hydrology*, v. 383, n. 3-4, p. 256-268, 2010.

ROTH, R.; PASZKOWSKI, U. Plant carbon nourishment of arbuscular mycorrhizal fungi. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 39, p. 50-56, 2017.

SAVADOGO, P.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 118, n. 1, p. 80-92, 2007.

SCHEIBE, A. et al. Effects of tree identity dominate over tree diversity on the soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 81, p. 219-227, 2015.

SCHLESINGER, W. H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature*, v. 348, n. 6298, p. 232, 1990.

SHANG, Z. H. et al. The sustainable development of grassland-livestock systems on the Tibetan plateau: problems, strategies and prospects. *The Rangeland Journal*, v. 36, n. 3, p. 267-296, 2014.

SOUZA, H. N. et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 146, n. 1, p. 179-196, 2012.

STOCKER, T. F. et al. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). New York, 2013.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & WOLKWEISS, S.J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,. 174p. (Boletim Técnico, 5).

UDAWATTA, R. P.; ANDERSON, S. H. CT-measured pore characteristics of surface and subsurface soils influenced by agroforestry and grass buffers. *Geoderma*, v. 145, n. 3-4, p. 381-389, 2008.

VAN DER WERF, G. R. et al. CO₂ emissions from forest loss. *Nature geoscience*, v. 2, n. 11, p. 737, 2009.

VETAAS, O. R. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of vegetation science*, v. 3, n. 3, p. 337-344, 1992.

WANG, L. et al. Soil desiccation for Loess soils on natural and regrown areas. *Forest Ecology and Management*, v. 255, n. 7, p. 2467-2477, 2008.

WRIGHT, S. J. MULLER-LANDAU, H. C. The future of tropical forest species. *Biotropica*, v. 38, n. 3, p. 287-301, 2006.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZACHARIAS, S.; WESSOLEK, G. Excluding organic matter content from pedotransfer predictors of soil water retention. *Soil Science Society of America Journal*, v. 71, n. 1, p. 43-50, 2007.

ZAIBON, S. et al. Soil water infiltration affected by topsoil thickness in row crop and switchgrass production systems. *Geoderma*, v. 286, p. 46-53, 2017.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, n. 4, p. 1024-1030, 1997.

ZHANG, Y. et al. Interaction of soil water storage dynamics and long-term natural vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena*, v. 137, p. 52-60, 2016.

ZHAO, S.; ZHAO, Y.; WU, J. Quantitative analysis of soil pores under natural vegetation successions on the Loess Plateau. *Science China Earth Sciences*, v. 53, n. 4, p. 617-625, 2010.

ZIEGLER, A. D. et al. Hydrological consequences of landscape fragmentation in mountainous northern Vietnam: evidence of accelerated overland flow generation. *Journal of Hydrology*, v. 287, n. 1-4, p. 124-146, 2004.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.. The near-surface hydrological consequences of disturbance and recovery: a simulation study. *Journal of Hydrology*, v. 364, n. 1-2, p. 115-127, 2009.

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

Capítulo 3

PERCEPÇÃO DOS AGRICULTORES SOBRE AS PRÁTICAS DE MANEJO DE ÁGUA E SOLO NA MICROBACIA DO RIO TURVO SUJO

RESUMO: O crescimento da população humana, o aumento do consumo e a rápida globalização causaram degradação generalizada e perturbação dos ambientes naturais, especialmente de água doce, o que tem comprometido a provisão de serviços ambientais, como aqueles relacionados aos bens hídricos. Procurando solucionar os problemas de abastecimento de água da região de Viçosa, MG, Brasil, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa-MG (SAAE-Viçosa), em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA) e a Caixa Econômica Federal, implementou na propriedade de agricultores, algumas práticas de manejo e conservação do solo e da água para a recuperação da bacia do rio Turvo Sujo, importante manancial de água que abastece municípios da microrregião de Viçosa, na Zona da Mata mineira. Dentre as principais práticas de manejo implantadas estavam à construção de terraços e caixas de contenção e barraginhas para captação de enxurradas nas estradas e pastagens, o reflorestamento e cercamento das Áreas de Preservação Permanentes (APPs), como os cursos d'água e os terço superiores dos morros. O SAAE, entretanto, não conduziu nenhum processo de avaliação sobre a efetividade das práticas implementadas, o que com esta pesquisa foi feito, considerando a opinião dos agricultores. Este artigo teve como objetivo identificar a percepção dos agricultores em relação as práticas de manejo de solo e água que implementadas na Bacia do Turvo Sujo e a pesquisa utilizou entrevistas semiestruturadas com os agricultores que participaram do projeto. Concluiu-se que a maioria dos agricultores tem consciência da importância das práticas de manejo do solo para reduzir a erosão e aumentar o volume de água nas nascentes e, em geral, avaliam de forma positiva as práticas implementadas pelo SAAE, em especial e os terraços e barraginhas, entretanto, tais práticas parecem não ter sido suficientes, pois os apontaram que não observaram efeito das mesmas durante o período de escassez de chuva. Houve críticas à falta de acompanhamento e de manutenção das técnicas implementadas e sugeriram a arborização das pastagens e a proteção do terço superior dos morros, com árvores nativas, como práticas importantes para melhor a dinâmica da água na bacia. A inclusão dos agricultores em todas as etapas, desde o planejamento e mesmo após o encerramento do projeto é importante nos projetos de conservação e restauração ambiental. O pagamento por serviços ecossistêmicos e

metodologias adequadas podem ser úteis no engajamento dos agricultores na adoção de práticas voltadas para a conservação e aumento da água no solo.

Palavras chaves: Recursos hídricos; Métodos participativos; Políticas públicas.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população humana, o aumento do consumo e a rápida globalização causaram degradação dos sistemas naturais, especialmente aqueles de água doce (Abell et al., 2008). A degradação provocou perda de qualidade das águas e da biodiversidade dos mananciais e ocorreu principalmente pelo assoreamento de reservatórios por sedimentos associados à contaminantes depositados nos sistemas fluviais (Yan et al., 2015).

O uso das terras para fins agrícola e pecuária estão entre as causas da degradação (Tilman et al., 2001; Foley et al., 2005). No Brasil, a pecuária é uma das principais causas de desmatamento (Latawiec et al., 2017) e é um dos principais fatores que aceleram a erosão do solo (Gomes et al., 2012), uma das causas do assoreamento dos habitats aquáticos. Em Minas Gerais, grande parte das pastagens se encontra em áreas íngremes, altamente suscetíveis à erosão, principalmente quando localizadas no terço superior das encostas.

Para reverter essa situação, políticas públicas têm sido direcionadas para a gestão de bacias hidrográficas e implementação de medidas de conservação do solo e da água (Vörösmarty et al., 2005; Yan et al., 2015), o que inclui práticas vegetativas e mecânicas.

Dentre estas práticas, encontram-se o manejo da vegetação que aumenta a cobertura do solo e a rugosidade superficial do terreno (Yan et al., 2015; Galdino et al., 2015) e fornece uma série de funções eco-hidrológicas, que influencia diretamente os parâmetros físico-químicos e biológicos dos corpos d'água (Tundisi e Tundisi, 2010; Tambosi et al., 2015); a construção de terraços que reduzem a velocidade da água e com isto diminuem o escoamento superficial (Arnáez et al., 2015) e favorece o aumento da umidade do solo em profundidade (Querejeta et al., 2000; Huo e Zhu, 2013; Zhang et al., 2017); as barragens de contenção, mais conhecidas no Brasil como “barraginhas” e; as caixas de contenção de água nas estradas que também reduzem a velocidade do fluxo de água e permitem a deposição de sedimentos e a redução da erosão (Vasconcelos, 2017).

Todas estas práticas favorecem os serviços ecossistêmicos, pois aumentam a infiltração de água no solo, o que beneficia o crescimento da vegetação e o abastecimento do lençol freático (Querejeta et al., 2000; Yan et al., 2015; Zhang et al., 2017). Estas práticas precisam ser avaliadas constantemente para corrigir os rumos, identificar resultados e os problemas e para promover a disseminação das mesmas.

A proteção das bacias hidrográficas reduz os custos do tratamento de água potável, evita inundações, melhora as condições de produção no meio rural (Vörösmarty et al., 2005) e evita os altos custos que os sistemas de desenvolvimento de água com alta tecnologia produziram (Gleick, 2003).

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa-MG (SAAE-Viçosa), em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA) e a Caixa Econômica Federal (CAIXA), implantou algumas técnicas de manejo e conservação do solo e da água em propriedades de agricultores familiares localizadas na Bacia do rio Turvo Sujo, importante manancial de água que abastece a cidade de Viçosa/MG e região. O SAAE e parceiros não avaliaram os resultados advindos da implantação de tais técnicas, o que deve ser feito com a participação dos agricultores.

As percepções e opinião dos agricultores precisam ser consideradas em processos de avaliação, pois permitem identificar melhor os problemas e potencialidades oriundos das técnicas, o que pode contribuir para desenhar melhor as estratégias para a implantação das mesmas em novas propriedades agrícolas (Tarrasón et al., 2016).

Além das práticas implementadas com o apoio de instituições públicas, os agricultores, por iniciativa própria, normalmente implantam práticas inovadoras úteis na resolução de seus problemas (Tarrasón et al., 2016), incluindo aqueles relacionados à água.

Este artigo teve como objetivo identificar a percepção dos agricultores em relação as práticas de manejo de solo e água que foram desenvolvidas nas Bacias do Turvo Sujo.

2. METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada no município de Coimbra/MG, pertencente à Zona da Mata de Minas Gerais, no domínio da Mata Atlântica. Coimbra está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, que possui área total de 406 km² (Nunes et al., 2011) (Figura 1) e é um dos rios que abastece o município de Viçosa. O Rio Turvo Sujo é afluente do Rio Piranga, que por

sua vez é afluente do Rio Doce, um dos principais rios brasileiros e que recentemente sofreu um crime ambiental relacionado à mineração de ferro.

A região encontra-se no embasamento cristalino, como rochas gnáissicas do pré-cambriano. As pedopaisagens íngremes e convexas correspondem 75 % da área da Zona da Mata (Gomes, 1986). A Floresta Estacional Semidecidual é a formação florestal predominante, que deu lugar após o intenso desmatamento à lavoura cafeeira. O ciclo do café proporcionou o empobrecimento do solo e em grande parte foi substituído pela pastagem (Fontes et al., 2006). O setor agropecuário é uma das principais atividades econômica do município.

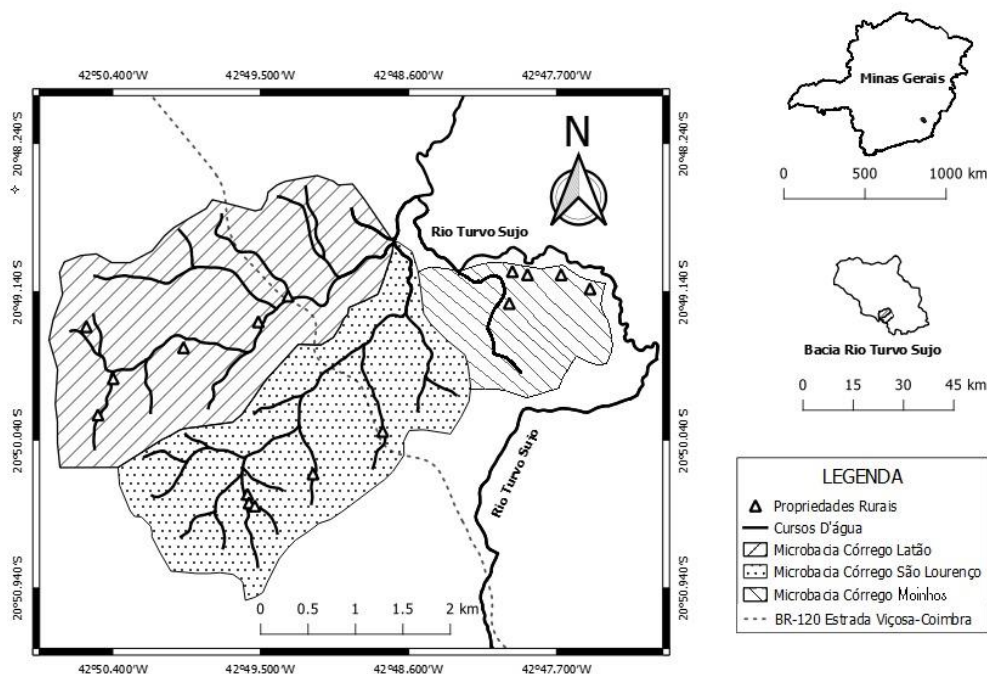


Figura 1. Microbacias do Córrego Latão, São Lourenço e Moinhos, pertencentes à Bacia do Rio Turvo Sujo, Minas Gerais.

O tipo de solo dominante são os Latossolos Vermelho-Amarelo, que são profundos e bem drenados, mas ácidos e lixiviados. A temperatura média anual da região é de 20°C e a precipitação média anual é de 1283 mm, concentrada principalmente nos meses de novembro a março. A precipitação nos anos de 2012-2016 e a soma da precipitação nos meses durante a execução da pesquisa (2016) encontram-se na Figura 2.

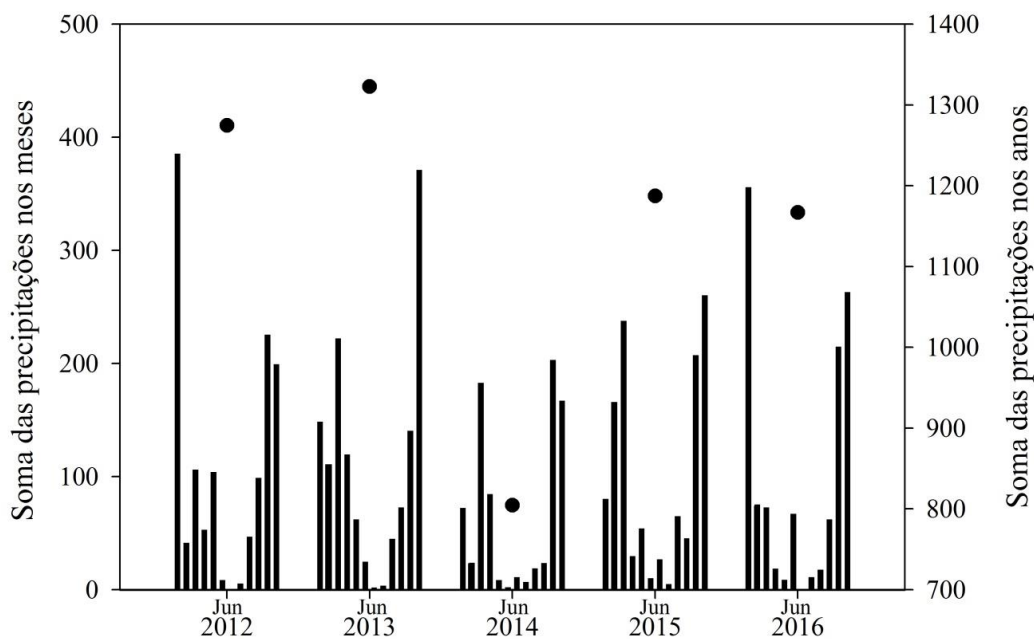


Figura 2. Precipitação nos últimos anos e soma das precipitações (ponto cheio) nos anos referentes à execução do Projeto e da Pesquisa, em Coimbra-MG, Brasil.

2.2. Projeto do SAAE

De 2012 a 2015, o SAAE, em parceria com a Prefeitura Municipal de Viçosa/MG, com a Agência Nacional das Águas (ANA) e com o apoio financeiro da Caixa Econômica Federal, executou o Projeto de Recuperação de Matas Ciliares e Nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo - Cabeceira do Rio Doce, MG, Brasil.

O Projeto implantou técnicas de conservação dos solos e das águas em propriedades dos agricultores familiares da Bacia. A seleção das propriedades beneficiadas foi feita com base no tamanho da área (propriedades da agricultura familiar), na importância que ela tem para os mananciais hídricos e com a permissão do agricultor. O objetivo do projeto foi implementar como piloto, práticas que, se amplamente utilizadas, podem contribuir para solucionar os problemas decorrentes da escassez e qualidade de água, e ampliar os serviços ecossistêmicos relacionados ao manejo do solo e da água.

Objetivou ainda sensibilizar os agricultores sobre a relação entre a implementação de práticas de manejo do solo e benefícios relacionados à água, com a compreensão de que estes agricultores sensibilizados poderiam se transformar multiplicadores e replicadores das

práticas para outros agricultores da região. O projeto não previu atividades de avaliações, mas apenas de implementação das ações.

O projeto contemplou práticas de reflorestamento com espécies nativas e de proteção através do cercamento das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) que incluíram o terço superior dos morros, as nascentes e margens dos córregos; construção de terraços e barraginhas nas pastagens, caixas de contenção em áreas de acúmulo de enxurradas e implantação de bebedouros para o gado nas pastagens (Figura 3). Houve também a aquisição de equipamentos meteorológicos como pluviógrafos e chapas metálicas para o monitoramento de infiltrações e vazões em três propriedades, porém, no momento da realização da pesquisa aqui apresentada, os equipamentos não estavam mais em funcionamento.

Além da implantação das práticas no campo, o Projeto também desenvolveu eventos voltados para a capacitação sobre as práticas de manejo e sobre educação ambiental, utilizando para isto cursos, oficinas, palestras, dentre outros.

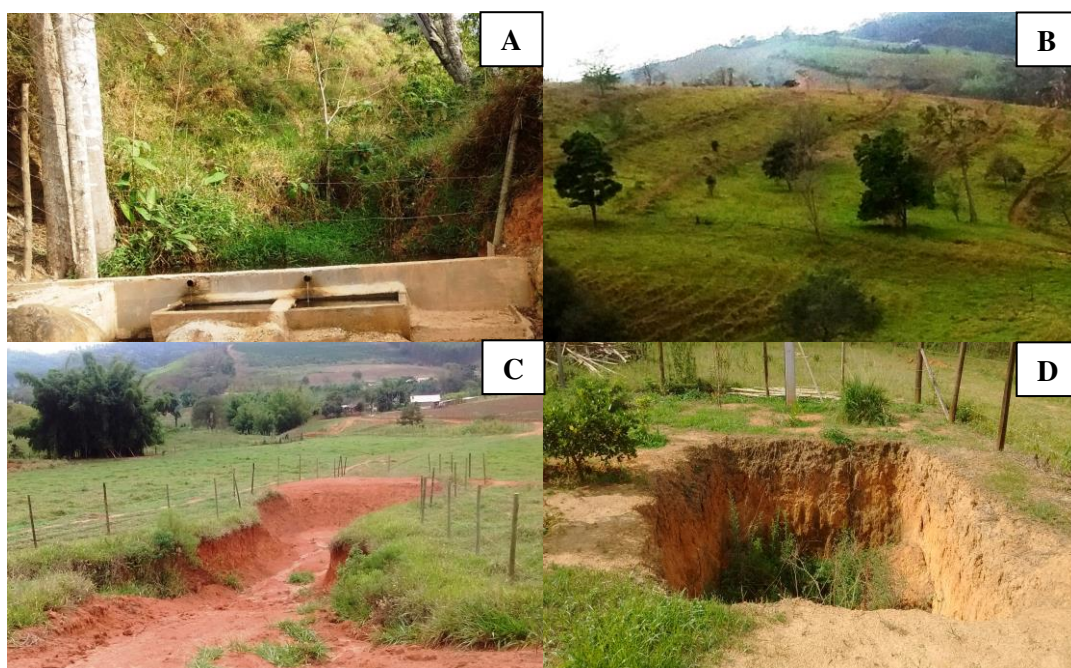


Figura 3. A. Bebedouro construído pelo agricultor aproveitando o aumento da vazão de água das nascentes, após o cercamento das APPs. B. Terraços construído com intuito de aumentar a infiltração de água no solo. C. Barraginha construída no canal de drenagem da água. D. Caixa de contenção de enxurradas no quintal do agricultor. Todas as imagens pertencem à propriedade de agricultores inseridos no projeto do SAAE, no município de Coimbra-MG, Brasil.

2.3. Entrevistas semi-estruturadas

O estudo foi realizado através de entrevistas semiestruturadas com os agricultores que participaram do projeto do SAAE. Esta entrevista não utilizou questionário, mas um roteiro que contém a relação de temas que direcionaram o diálogo entre as/os agricultoras/es e a pesquisadora. A entrevista ocorreu em um clima de confiança e de interação entre os envolvidos conforme Bardin, (2011). O uso do roteiro requer do entrevistador habilidade na aplicação, estimulando o entrevistado(a) aprofundar suas respostas, mas sem induzi-las (Alencar e Gomes, 1998).

As perguntas selecionadas fornecem a base para uma caracterização quantitativa das percepções dos agricultores sobre as práticas de manejo adotadas. A seguir seguem as perguntas do roteiro.

- 1) Porque aceitou entrar no projeto?
- 2) Quais foram às práticas implementadas?
- 3) Quais os benefícios das técnicas utilizadas?
- 4) Qual a prática que foi mais eficiente?
- 5) Quais os problemas?
- 6) Qual a importância do projeto?
- 7) Houve acompanhamento? Era necessário? Por quê?
- 8) O que foi feito a partir do projeto? E o que pretende fazer no futuro?
- 9) O que faria diferente?
- 10) O que já fazia ou faz independente do apoio do projeto?

O SAAE implantou as técnicas em 57 propriedades. Destas, 25 propriedades foram localizadas. Inicialmente a proposta era entrevistar agricultores de todas as propriedades identificadas, no entanto um agricultor não estava presente em seu domicílio, dois não moravam nas propriedades e três agricultores não quiseram ser entrevistados. Desta forma, 19 propriedades foram visitadas e um de seus proprietários entrevistado. Dos entrevistados 15 eram do sexo masculino e quatro do sexo feminino, todos adultos.

A pesquisa aqui apresentada foi aprovada pelo comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos da Universidade Federal de Viçosa sob aprovação do parecer N°: 2.050.799. Em anexo, o parecer consubstanciado.

3. RESULTADOS

3.1 Percepção dos agricultores

A maioria dos agricultores (68%) aceitaram participar do projeto por se preocuparem com a falta de água, outros (28%) citaram ter participado porque o projeto melhoraria a propriedade e um pequeno número (5%) não souberam opinar. Segundo os que opinaram, as técnicas contribuiriam para a manutenção da água no solo, para recuperar as nascentes e para melhorar as pastagens. Segundo os/as agricultores/as:

“Porque é um projeto bom, viável. Cada vez que passa, a água está mais escassa. Nós temos que preservar a água e a natureza.”

D.L.P, M (masculino). 59

“A proposta do SAAE era boa eles iam fazer o plantio de árvores, terraços, tudo por conta deles, eles deram sementes de braquiária, adubo, estacas para cerca, arame e os tanques [barraginhas] para contenção da enxurrada.

O.A. L, M. 84

Mais da metade (58%) dos agricultores observaram algum resultado positivo (benefício) com as práticas implantadas, desta porcentagem 12% afirmaram que os benefícios não foram maiores devido a pouca chuva. Outros (24%) não viram nenhum benefício e também relacionaram com a falta de chuva. Outros (11%) tinham consciência do benefício das práticas, mas não indicaram quais. Segundo os/as agricultores/as:

“As barraginhas reduziram a erosão e a lavagem do terreno junto com os terraços. Este ano a água aumentou um pouquinho, mas tem chovido pouco”.

J.B.S, M. 47

“A expectativa é o aumento de água, mas ainda não vi resposta porque não choveu, o clima não colaborou”

E.L.S.N, M. 59

Quando perguntado sobre o que eles fariam de diferente, 39% dos entrevistados disseram que não fariam nada diferente, já 61% dos entrevistados disseram que sim. Desses, 27% dos entrevistados citaram que trocariam os moirões das cercas, os deixariam mais

próximos e usariam arames de qualidade. Outros 18% dos entrevistados citaram que fariam mais terraços e profundos e 18% alegaram que fariam mais barraginhas e plantariam mais árvores.

Um agricultor disse que direcionaria a água para a barraginha e que devolveria o cascalho retido na caixa de contenção, para a própria estrada. A fala a seguir exemplifique a opinião dos os/as agricultores/as:

“Usaria moirões melhores. Os moirões das cercas estavam muito ruins. Foi um trabalho perdido. Eles estavam muito finos, foram colocados longe demais”.

G.P.A, M. 76

“Colocaria o cascalho na propria estrada. Eles tiraram o cascalho e levaram para outro lugar”.

M.A.S.S, F (feminino). 47

3.2 Práticas de manejo

A Figura 4 mostra a porcentagem de propriedades onde cada prática foi realizada. O plantio de árvores e as barraginhas foram às práticas mais efetuadas nas propriedades (65%). No entanto, a maioria dos agricultores (67%) listaram os terraços como a prática mais eficiente, seguido das barraginhas (61.5%) e caixas de contenção nas estradas (50%) (Figura 5). Um pequeno número de entrevistados reconheceu o plantio de árvores (15%) e o cercamento de APPs (11%) como as práticas mais eficientes (Figura 5). Apenas um agricultor mencionou o uso de bebedouros.

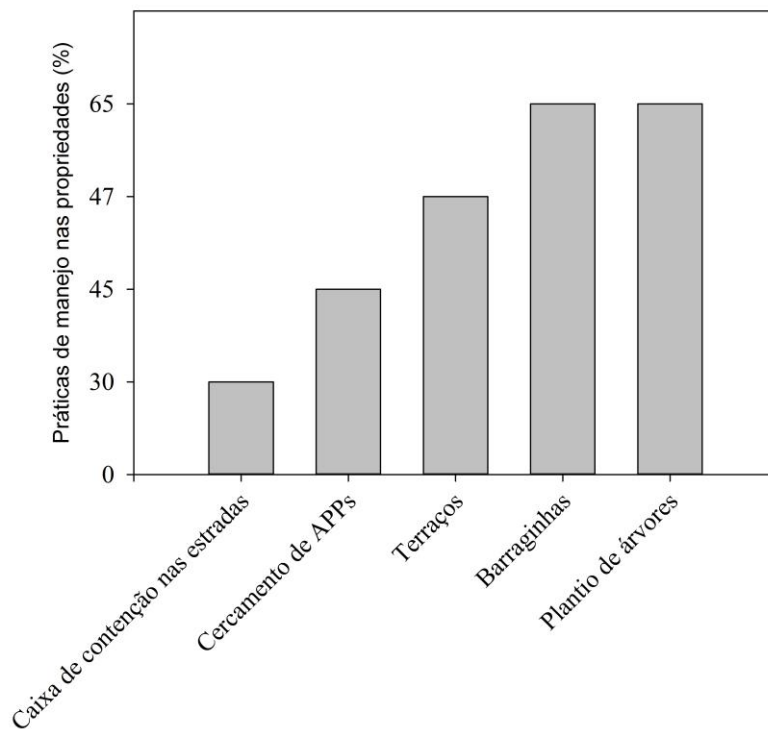


Figura 4. Práticas efetuadas em propriedades de agricultores rurais, Coimbra, MG e a % de agricultores que se referiram a elas durante as entrevistas (n=19).

3.3 Os Problemas

De acordo com 55% dos agricultores, o plantio das árvores foi a prática mais problemática. Dentre os problemas, listaram as formigas (20%) e apontaram a falta de assistência no acompanhamento das mudas (60%). Outros (20%) relataram que as mudas eram velhas e que não estavam sadias.

Os terraços rasos também foram apontados por 22% dos agricultores como problema e a falta de manutenção das barraginhas por 28%. Segundo eles, algumas barraginhas tiveram que ser refeitas, o encaminhamento da água para as barraginhas não foi feito, o serviço de máquinas para a construção das barraginhas foi lento e algumas barraginhas foram pequenas, com o risco da água transbordar. Houve assoreamento e rompimento de duas barraginhas.

Segundo 28% dos entrevistados também houve problemas com o cercamento das APPs. Eles citaram a má qualidade do arame (50%) e dos moirões (50%).

Outro problema apontado pelos agricultores (17%), sem relação com as práticas de manejo, foi a falta de chuva. Destes, 67% relacionaram a falta de água com o baixo

pegamento das mudas. Somente um pequeno número de entrevistados (11%) não encontraram problemas. Segundo os/as agricultores/as:

“Não cercaram as mudas, eu tive muito problema com as formigas”.

D.S.O, F.62

“O arame é fraco, as caixas de contenção no pasto são pequenas, muita chuva passa a água”

J.A.D, M. 57

3.4 Sobre a importância do projeto

A maioria dos entrevistados (82%) afirmou que o projeto foi importante para aumentar a vazão dos mananciais hídricos, tanto em quantidade quanto em qualidade de água. Outros mencionaram a diminuição da erosão (18%) e a conscientização da população (18%) para os cuidados com o solo e a água como resultados positivos. Outros (6%) reconheceram que o projeto teve grande importância, mas que o SAAE deveria ter continuado com o projeto. No entanto, (6%) dos entrevistados alegou que o projeto não teve importância e outros 6% disseram que saberão avaliar quando as chuvas se normalizarem. Segundo os/as agricultores/as:

“O projeto é importante para aumentar a quantidade e qualidade da água nas nascentes”

C.A.S, M. 52

“Ajudar o terreno na captação de água”

G.R.P, M. 76

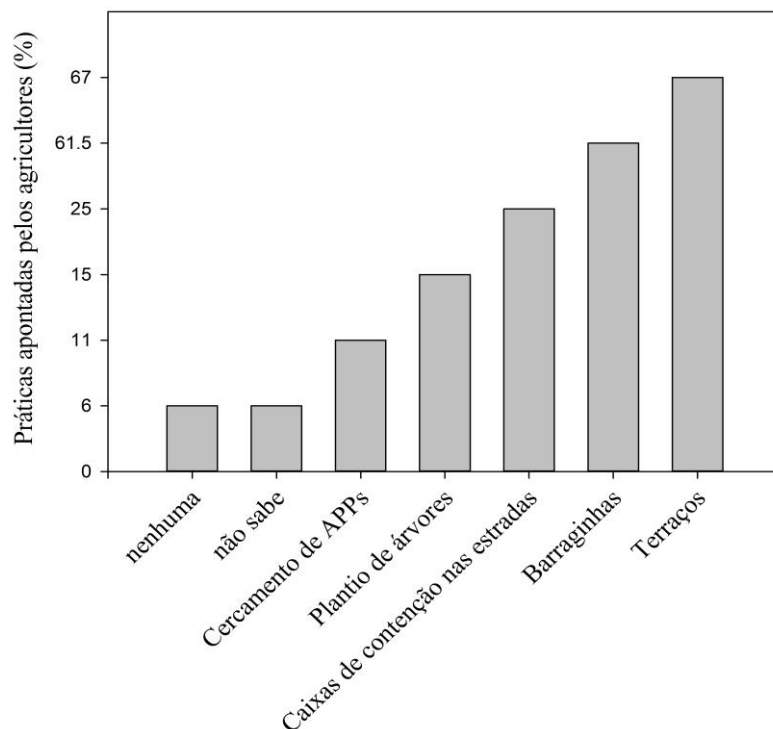


Figura 5. Práticas de manejo segundo os agricultores do projeto SAAE, Coimbra, MG e a % de agricultores que as consideram benéficas (n=19).

3.5 Acompanhamento na execução do projeto

A maioria dos entrevistados (72%) informou que houve acompanhamento necessário para a execução do projeto, no entanto, desta porcentagem, 45% afirmaram que o acompanhamento foi somente no início da execução do projeto. Outros (28%) afirmaram que não houve acompanhamento. Segundo os/as agricultores/as:

“Sim, eles davam palestras, visitavam a propriedade muito no início do projeto. Eles orientavam muito bem no início. Fizeram reunião em Coimbra/MG. Mas a participação dos agricultores era pequena. Era necessário para a conscientização das pessoas para cuidar da água, das nascentes”.

G.P.A, M. 76

“Houve pouco acompanhamento, falta construir junto, era necessário, é um projeto para gerações”

M.A.A, F. 54

3.6. Perspectivas futuras

A maioria dos entrevistados (69%) fez ou pretende realizar alguma prática de manejo, já 31% não fez ou não pretende realizar. As práticas realizadas por eles a partir do projeto do SAAE foram: plantio de árvores e frutíferas no quintal, produção de mudas de árvores para plantio na época das chuvas; bebedouro para o gado, plantio de gramíneas nas pastagens, plantio de eucalipto nos terraços, plantio de SAFs sem utilização de adubo químico sintético e com aproveitamento do dejetos suíno do vizinho, plantio de braquiárias e piqueteamento com cerca elétrica.

Para o futuro, além de manter que o projeto já fez, os entrevistados citaram que planejam construir mais barraginhas e desassoreá-las, desviar a água dos terraços para elas; construir mais terraços; plantar mais árvore nas pastagens e nos terço superior dos morros, plantar mais frutíferas no quintal, retirar o eucalipto para a madeira e outro agricultor citou não replantar mais eucalipto devido ao elevado consumo de água.

Independente do projeto do SAAE, 33% dos agricultores executavam alguma prática de manejo, dentre elas, plantio de árvores, cercamento de nascentes, construção de barraginhas, terraceamento e até a implantação do Instituto Alba Quercus, voltado para a construção do saber e do desenvolvimento sustentável. Alguns citaram não ter feito alguma prática por falta de recursos financeiros. Segundo os/as agricultores/as:

“Antes do projeto eu já tinha feito algumas barraginhas, o projeto completou”

H.C.T, M. 52

“Eu já plantava árvores. Eu gosto do verde”

D.S.O, F. 62

4. DISCUSSÃO

Os agricultores sabem da importância da água e tem consciência de que práticas de manejo do solo afetam a sua qualidade e quantidade, embora haja controvérsias sobre quais práticas devem ser adotadas (Teixeira et al., 2018). Teixeira et al. (2018) mostraram que enquanto agricultores familiares consideraram que o uso de agrotóxicos impacta negativamente a qualidade da água, os fazendeiros relativizaram tal efeito. Portanto, projetos

como o desenvolvido pelo SAAE permitem criar ambientes de diálogos para que os agricultores possam conhecer, ou melhor, compreender as técnicas que podem ser utilizadas na conservação do solo e a relação das mesmas com a qualidade e quantidade da água.

Os agricultores também reconhecem as implicações de longo prazo do manejo de solo na dinâmica da água e os riscos potenciais de sua degradação para a agricultura (Mertz et al., 2008), base do seu modo de vida. Talvez este, seja um dos motivos para o grande interesse dos agricultores em trabalhar com as práticas de manejo propostas pelo SAAE.

A assertividade das práticas implementadas pelo projeto do SAAE pode ser aferida pelo reconhecimento dos benefícios advindos delas por mais da metade dos agricultores. Algumas práticas, especialmente as mecânicas como a construção de barraginhas e terraços, foram apontadas como as que promoveram maiores benefícios (Figura 5). Tais práticas já eram conhecidas por alguns agricultores, mas não eram implementadas por falta de recursos financeiros e por isto o projeto também foi considerado importante por alguns.

A não observação de benefícios por quase 50% dos agricultores foi atribuída principalmente à escassez de chuva, atípica na região. Em 2014 foi o ano mais seco dos últimos anos (MAPA, 2015). Em 2014 choveu apenas 800 mm (Figura 2), bem abaixo da precipitação média anual (aproximadamente 1200 mm).

A não observação de benefícios em anos de pouca chuva pode estar apontando, apesar da assertividade, a insuficiência das práticas propostas pelo SAAE para mitigar o problema da escassez de água. Que outras práticas podem ser empregadas? O caminho parece ser implementar mais e outras práticas vegetativas, embora a maioria dos agricultores não tenham observado benefícios relacionados ao plantio de árvores (Figura 5) e a maioria tenham indicado como a prática mais problemática para ser implementada. Sabe-se, entretanto, que as práticas vegetativas são mais difíceis de serem implementadas e demoram mais a dar retorno, mas de acordo com Tundisi e Tundisi (2010) e Tambosi et al. (2015) são elas que garantem benefícios mais persistentes e mais diversos.

Das seis práticas que os agricultores manifestaram desejo de realizar no futuro e que consideram beneficiar a dinâmica de água, quatro referem-se a práticas vegetativas (plantar mais árvores nas pastagens, plantar árvores frutíferas, retirar o eucalipto e revegetar os topos de morro com árvores nativas).

A relação entre plantio de eucalipto e uso da água foi controverso. Neste estudo alguns agricultores plantaram eucaliptos em suas propriedades enquanto outros pretendiam retirá-los,

devido ao seu elevado consumo de água, observado também por alguns autores (Moris et al., 2004; Dzikiti et al., 2016). O efeito negativo do eucalipto ocorre em função das altas taxas de evapotranspiração quando comparadas com outras espécies (Le Maitre et al. 2000; Trabucco et al., 2008, Ruwanza et al., 2013).

Quanto à revegetação dos topos de morros, sabe-se que os morros são a área de recarga dos rios e córregos (Cunningham et al., 2015). O novo código florestal, em uma jogada política, mudou a definição de morro das áreas de preservação permanente (APPs). Assim, o critério de altura (100 m ao invés de 50 m) associado ao critério de declividade para defini-los, exclui o terço superior de muitos morros das APPs o que pode interferir no ciclo hidrológico, a partir dos processos como infiltração e escoamento superficial das águas (Tambosi et al., 2015). Esta interferência é devido a perda da cobertura arbórea que promove a degradação do solo, devido a redução do carbono orgânico e estrutura do solo (Zimmerman e Elsenbeer, 2008).

Os terraços e as barraginhas foram reconhecidos como práticas eficientes na contenção da erosão, no aumento da água no solo e na diminuição da perda de nutrientes e por isto devem ser considerados no planejamento do manejo ambiental e do uso da terra em bacias hidrográficas (Barros et al., 2006; Vancampenhout et al., 2006; Wei et al., 2016). No entanto, os benefícios de tais práticas não são duradouros, principalmente devido à rápida perda da capacidade de armazenamento de água por meio da sedimentação, caso não haja manutenção (Hooke e Sandercock, 2012; Arnáez et al., 2015).

A não manutenção das barraginhas e terraço e a qualidade e falta de cuidado com as mudas de árvores após o plantio (ataque de formigas, por exemplo) também apontadas pelos agricultores indicam que as responsabilidades com tais tarefas não foram claramente entendidas pelos participantes. As maiores críticas dos agricultores referem-se ao acompanhamento do projeto pelo SAAE após a implantação e à qualidade dos materiais utilizados. Parece que nem o SAAE e nem os agricultores se responsabilizaram por tais tarefas. O apoio institucional para fomentar o diálogo, mesmo após a implantação do projeto, é importante (Buytaert et al., 2014). A baixa qualidade dos materiais, como arames e moirões, está relacionada com os critérios de licitação para compras de materiais por órgãos públicos, que muitas vezes não permite avaliar com antecedência a qualidade dos materiais (Nunes et al., 2007).

A falta de incentivos e informações são os principais fatores não apenas para impedir que alguns agricultores invistam em medidas de conservação do solo (Tesfaye et al., 2016), mas também para que deem continuidade às práticas. A capacitação dos agricultores para que eles deem continuidade às ações desenvolvidas em suas propriedades por órgãos públicos é importante para o bom desempenho das mesmas (Parrota, 2010). Além da capacitação, como as medidas de conservação do solo são destinadas em longo prazo, a oferta de incentivos pode também ser importante não só para a adoção de tecnologias (Daba, 2003), mas também para ajudar na manutenção daquelas implantadas.

Uma forma de incentivo é o pagamento de serviços ecossistêmicos e tem sido implementada em diferentes partes do mundo, particularmente na América Latina, inclusive no Brasil, mas ainda em casos muito específicos (Grima et al., 2016; Canova et al., 2019). Entretanto, há uma variedade de maneiras pelas quais o pagamento ou o reconhecimento da prestação de serviços podem ser implementadas. A melhor forma precisa ser encontrada a partir dos diálogos com os agricultores e suas organizações e instituições públicas e ou privadas envolvidas com as ações de conservação e ou restauração ambiental (Grima et al., 2016).

A maioria dos agricultores perceberam falhas na implantação do projeto e alguns deles sugeriram práticas que não foram planejadas pelos órgãos responsáveis pelo projeto. Portanto, o reconhecimento dos agricultores como geradores de conhecimento e a participação desde a fase do planejamento do projeto, execução e acompanhamento são cruciais. Ao mesmo tempo é preciso incluir ações que permitam a constante troca de saberes, a aprendizagem conjunta e a geração de novas soluções mais integradas, cruciais para que a agricultura se torne sustentável e resiliente (Parrotta, 2010; Buytaert et al., 2014; Šūmane et al., 2018).

5. CONCLUSÃO

A maioria dos agricultores possuem consciência da importância das práticas de manejo do solo para reduzir a erosão e aumentar o volume de água nas nascentes.

Dentre as práticas implementadas pelo SAAE, os terraços e as barraginhas foram reconhecidas pelos agricultores como as práticas mais eficientes no controle da erosão do solo. No entanto, parece que as mesmas não foram suficientes já que muitos agricultores não observaram benefício das práticas durante período de escassez de chuva.

Houve críticas à falta de acompanhamento dos trabalhos e da manutenção de algumas técnicas utilizadas. Houve também sugestão por partes dos agricultores de práticas que seriam importantes para melhorar a dinâmica da água na bacia, dentre elas a arborização das pastagens e a proteção do terço superior dos morros, com árvores nativas.

Ações de construção e socialização constante do conhecimento e inclusão dos agricultores em todas as etapas, desde o planejamento e mesmo após o encerramento do projeto, precisam ser incluídas em projetos de conservação e restauração ambiental.

No futuro, o pagamento por serviços ecossistêmicos e o uso de metodologias adequadas podem ser úteis no engajamento dos agricultores na adoção e manutenção de práticas voltadas para a conservação e aumento dos recursos hídricos pelo SAAE.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELL, R. et al. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *AIBS Bulletin*, v. 58, n. 5, p. 403-414, 2008.

ALENCAR, E.; GOMES, M. A. O. Metodologia de pesquisa social e diagnóstico participativo. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

ARNÁEZ, J. et al. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena*, v. 128, p. 122-134, 2015.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2011. 278p.

BARROS, L. C. Amenização de veranicos através da captação de água de chuvas por barraginhas, garantindo safras na agricultura familiar: em Minas Novas, MG. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte. Inovação para sistemas integrados de produção: trabalhos apresentados. [Sete Lagoas]: ABMS, 2006, 2006.

BUYTAERT, W. et al. Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, v. 2, p. 26, 2014.

CANOVA, M. A. et al. Different ecosystem services, same (dis) satisfaction with compensation: A critical comparison between farmers' perception in Scotland and Brazil. *Ecosystem Services*, v. 35, p. 164-172, 2019.

CUNNINGHAM, S. C. et al. Balancing the environmental benefits of reforestation in agricultural regions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 17, n. 4, p. 301-317, 2015.

DABA, S.; RIEGER, W.; STRAUSS, P. Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques. *Catena*, v. 50, n. 2-4, p. 273-291, 2003.

DZIKITI, S. et al. Quantifying potential water savings from clearing invasive alien *Eucalyptus camaldulensis* using in situ and high resolution remote sensing data in the Berg River Catchment, Western Cape, South Africa. *Forest Ecology and Management*, v. 361, p. 69-80, 2016.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. *science*, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FONTES, L.E.F.; et al. Recursos Hídricos e uso do solo no município de Viçosa, MG. In: FONTES, L.E.F.; FERNANDES, R.B.A.; RODRIGUES, J.S (Eds). *Recursos Hídricos e Percepção Ambiental no Município de Viçosa MG*. p.1-21, 2006.

GALDINO, S. et al. Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for Conservationist Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures. *Land Degradation & Development*, 2015.

GLEICK, P. H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science*, v. 302, n. 5650, p. 1524-1528, 2003.

GOMES, M. A. et al. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa-MG. *Revista Árvore*, v. 36, n. 1, 2012.

GOMES, S. T. Condicionantes da modernização do pequeno agricultor. (Tese de Doutorado) Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, 1986. USP: São Paulo, 1986. 210p.

GRIMA, N. et al. Payment for Ecosystem Services (PES) in Latin America: Analysing the performance of 40 case studies. *Ecosystem Services*, v. 17, p. 24-32, 2016.

HOOKE, J.; SANDERCOCK, P. Use of vegetation to combat desertification and land degradation: Recommendations and guidelines for spatial strategies in Mediterranean lands. *Landscape and Urban Planning*, v. 107, n. 4, p. 389-400, 2012.

HUO, Y.; ZHU, B. Analysis on the benefits of level terrace on soil and water conservation in loess hilly areas. *Research of Soil and Water Conservation*, v. 20, n. 5, p. 24-28, 2013.

LATAWIEC, A. E. et al. Improving land management in Brazil: A perspective from producers. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 240, p. 276-286, 2017.

MAPA, 2015. Estado da arte das pastagens de Minas Gerais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, Brasil.

MERTZ, O. et al. Farmers' perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel. *Environmental management*, v. 43, n. 5, p. 804-816, 2009.

MORRIS, J. et al. Water use by fast-growing *Eucalyptus urophylla* plantations in southern China. *Tree physiology*, v. 24, n. 9, p. 1035-1044, 2004.

NUNES, D. G.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Índice de Qualidade da Água em trechos do rio Turvo Sujo, Viçosa–MG. *Revista Engenharia na Agricultura-Reveng*, v. 19, n. 5, p. 459-468, 2011.

NUNES, J.; LUCENA, R. L.; SILVA, O. G.. Vantagens e desvantagens do pregão na gestão de compras no setor público: o caso da Funasa/PB. 2007.

PARROTTA, J. A. Restoring biodiversity and forest ecosystem services in degraded tropical landscapes. In: Koizumi, Toru; Okabe, Kimiko; Thompson, Ian; Sugimura, Ken; Toma, Takeshi & Fujita, Kazuyuki. eds. *The role of forest biodiversity in the sustainable use of ecosystem goods and services in agro-forestry, fisheries, and forestry*, Proceedings of an international symposium for the Convention on Biological Diversity, Waseda University, Tokyo, April 26-28, 2010. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, Japan, 106 pp. 2010. p. 53-61.

QUEREJETA, J. et al. Soil physical properties and moisture content affected by sitepreparation in the afforestation of a semiarid rangeland. 2000.

ŠŪMANE, S. et al. Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies*, v. 59, p. 232-241, 2018.

TAMBOSI, L. R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estudos avançados*, v. 29, n. 84, p. 151-162, 2015.

TARRASÓN, D. et al. Land degradation assessment through an ecosystem services lens: Integrating knowledge and methods in pastoral semi-arid systems. *Journal of Arid Environments*, v. 124, p. 205-213, 2016.

TEIXEIRA, H. M. et al. Farmers show complex and contrasting perceptions on ecosystem services and their management. *Ecosystem Services*, v. 33, p. 44-58, 2018.

TESFAYE, A. et al. Assessing the costs and benefits of improved land management practices in three watershed areas in Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 4, n. 1, p. 20-29, 2016.

TRABUCCO, A. et al. Climate change mitigation through afforestation/reforestation: a global analysis of hydrologic impacts with four case studies. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 126, n. 1-2, p. 81-97, 2008.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, 2010.

VANCAMPENHOUT, K. et al. Stone bunds for soil conservation in the northern Ethiopian highlands: Impacts on soil fertility and crop yield. *Soil and Tillage Research*, v. 90, n. 1-2, p. 1-15, 2006.

VASCONCELOS, V. V. O que mantém as águas fluindo em nossos rios? *Applied water science*, v.7, p.1579-1593, 2017.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, v. 467, n. 7315, p. 555, 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.

YAN, Q. et al. Effects of watershed management practices on the relationships among rainfall, runoff, and sediment delivery in the hilly-gully region of the Loess Plateau in China. *Geomorphology*, v. 228, p. 735-745, 2015.

ZHANG, H. et al. Effects of terracing on soil water and canopy transpiration of *Pinustabulaeformis* in the Loess Plateau of China. *Ecological Engineering*, v. 102, p. 557-564, 2017.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradients of disturbance. *Journal of Hydrology*, v. 361, n. 1-2, p. 78-95, 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aproximadamente 50% das pastagens da Zona da Mata Mineira encontram-se em estágio fortemente degradado, o que impõe grandes desafios para a sustentabilidade da agricultura na região e para o abastecimento de água no meio urbano. Em períodos de forte estresse climático, como o observado em 2014, a maior parte das pastagens tem sua capacidade de suporte fortemente reduzida, como consequência, dentre outras coisas da redução da infiltração de água no solo, que também impacta os recursos hídricos e compromete o abastecimento de água tanto no meio rural quanto urbano.

Para reverter esta situação, políticas públicas têm sido direcionadas para a gestão de bacias hidrográficas e implementação de medidas de conservação da água e do solo, a exemplo do projeto do SAAE, implantado na Bacia do Rio Turvo Sujo (Zona da Mata mineira), onde a pesquisa aqui apresentada foi realizada. O projeto do SAAE objetivou ampliar os serviços ecossistêmicos relacionados ao manejo do solo e da água e, com isto, contribuir para solucionar os problemas decorrentes da escassez e qualidade de água, em especial na cidade de Viçosa.

A pesquisa aqui apresentada procurou contribuir para o aperfeiçoamento das políticas que tratam da conservação dos solos e das águas. Os resultados do Capítulo 1 indicaram que os terraços contribuem para aumentar o teor de água do solo em relação à área sem terraços e o armazenamento de água é maior e mais uniforme em profundidade nas áreas terraceadas em pastagens. No entanto, somente esta prática não garante o manejo sustentável das pastagens.

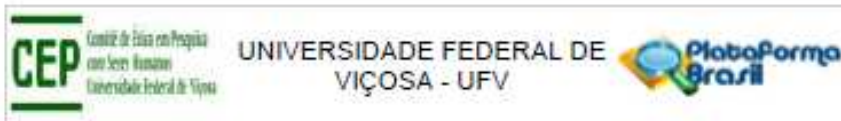
No capítulo 2 os resultados indicaram que a floresta com 14 anos foi capaz de recuperar a qualidade do solo com impactos positivos na dinâmica da água no solo. Entretanto, a face de exposição influencia nesta capacidade de recuperação. A recuperação da qualidade do solo na floresta situada na face oeste foi menor do que na floresta situada na face leste, que recebe menor radiação e mantém maior umidade do solo. Os solos da floresta situada na face-leste apresentaram maiores macroporosidade, estoque de carbono e infiltração de água no solo que a face que recebe maior radiação solar (face-oeste). E os solos de ambas as áreas de floresta apresentam maiores valores de macroporosidade, bases trocáveis, estoque de carbono e infiltração de água no solo que as áreas de pastagens.

Estes resultados têm implicações importantes para as políticas que visam à melhoria a conservação do solo e da água, que dependem da biodiversidade. Portanto, para além das práticas mecânicas, medidas vegetativas como a arborização das pastagens e a revegetação do

terço superior dos morros devem ter mais atenção, conforme foi apontado pelos agricultores no Capítulo 3.

Os resultados do Capítulo 3 mostraram que a maioria dos agricultores têm consciência da importância das práticas de manejo do solo para reduzir a erosão e aumentar o volume de água nas nascentes e avaliaram positivamente o trabalho do SAAE e seus parceiros, a ANA e a Caixa Econômica Federal. Apesar disto, os agricultores criticaram a falta de acompanhamento dos trabalhos por parte dos técnicos, após implementação das práticas. Além de maior acompanhamento pelos órgãos públicos, alguns agricultores sugeriram também que o plantio das árvores nativas nas pastagens e no terço superior dos topos dos morros para melhorar a dinâmica da água na bacia. A opinião dos agricultores é importante para a efetividade das ações públicas e por isto, os órgãos públicos devem incluir ações que permitam a constante troca de saberes, a aprendizagem conjunta e a geração de novas soluções mais integradas para que a agricultura se torne sustentável e resiliente e não apenas práticas de formação dos agricultores.

ANEXO 1



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA EM PASTAGENS

Pesquisador: Irene Maria Cardoso

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 62047416.5.0000.5153

Instituição Proponente: Departamento de Solos

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.050.799

Apresentação do Projeto:

Projeto de Pesquisa de doutorado da Universidade Federal de Viçosa, do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: sistematizar a experiência das práticas de manejo e conservação do solo realizado pelo SAAE para apontar as lições aprendidas com o processo e implementação de tais práticas. **Objetivo Secundário:** Redesenho das pastagens com os agricultores.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Inicialmente a pesquisa apresenta riscos de constranger o participante, pois as entrevistas podem implicar em incômodos. Porém a pesquisa tratará os temas em sigilo e em conformidade com os participantes, sendo vedada a liberação de informações não previamente consentidas pelos participantes, e devidamente explicado no termo de consentimento livre esclarecido.

Benefícios: Os benefícios diretos advindos da pesquisa está nos participantes se envolverem em intercâmbios e trocas de experiências. Outros benefícios incluem, zelo, respeito, compreensão com os agricultores.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Serão contatados os agricultores que implementaram as práticas de uso e manejo do solo

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário CEP: 36.570-900
UF: MG Município: VIÇOSA
Telefone: (31)3806-2492 E-mail: cep@ufv.br

Continuação do Parecer: 2.080.790

Incentivadas pelo SAAE para propor o trabalho. Dos agricultores que implementaram as práticas, 20 serão selecionados para serem visitados e entrevistados. Alguns técnicos e pesquisadores que participaram do trabalho também serão identificados e entrevistados. Para isto, serão utilizadas entrevistas semi-estruturadas que pressupõe a elaboração de um roteiro prévio, que servirá de guia da entrevista.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Apresentados conforme exigência da Resolução.

Conclusões ou Pendências e Lista de inadequações:

Aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Ao término da pesquisa é necessário apresentar, via notificação, o Relatório Final (modelo disponível no site www.cep.ufv.br). Após ser emitido o Parecer Consubstanciado de aprovação do Relatório Final, deve ser encaminhado, via notificação, o Comunicado de Término dos Estudos para encerramento de todo o protocolo na Plataforma Brasil.

Projeto aprovado autorizando o início da coleta de dados com os seres humanos a partir da data de emissão deste parecer.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB INFORMACOES BASICAS_DO_P ROJETO_783937.pdf	10/04/2017 15:09:09		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_modificado.pdf	10/04/2017 15:05:54	Irene Maria Cardoso	Aceito
Outros	Carta_Resposta_Pendencia.pdf	10/04/2017 11:14:19	Irene Maria Cardoso	Aceito
Outros	roteirodeentrevista.pdf	03/04/2017 10:55:58	Irene Maria Cardoso	Aceito
TCE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCE.pdf	03/04/2017 10:55:14	Irene Maria Cardoso	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	03/04/2017 10:13:58	Irene Maria Cardoso	Aceito

Situação do Parecer:

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário CEP: 36.570-000
UF: MG Município: VIÇOSA
Telefone: (31)3609-2462 E-mail: cep@ufv.br