



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



REISILA SIMONE MIGLIORINI MENDES

**ESTUDO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO
PARA RECUPERAÇÃO DE NASCENTES EM REGIÃO DE
CERRADO MINEIRO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do Instituto
de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Biologia Vegetal.**

Área de Concentração Fisiologia Vegetal e Ecologia

BELO HORIZONTE – MG

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



UFMG

REISILA SIMONE MIGLIORINI MENDES

**ESTUDO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO
PARA RECUPERAÇÃO DE NASCENTES EM REGIÃO DE
CERRADO MINEIRO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do Instituto
de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Biologia Vegetal.**

Área de Concentração Fisiologia Vegetal e Ecologia

Orientador: Prof. Dr. Maria Rita Scotti Muzzi

Universidade Federal de Minas Gerais

BELO HORIZONTE – MG

2017

Dissertação defendida e aprovada, em 27 de abril de 2017, pela banca examinadora constituída pelos professores:


Dra. Maria Rita Scotti Muzzi (UFMG) – orientadora


Dr. Márcio Benedito Baptista (UFMG)


Dr. Luis Alberto Sáenz Isla (Laboratório de Recuperação de áreas degradadas e Interação microrganismo-planta)

043 Mendes, Reisila Simone Migliorini.
Estudo dos indicadores de qualidade do solo para recuperação de nascentes em região de cerrado mineiro [manuscrito] / Reisila Simone Migliorini Mendes. - 2017.

64 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientadora: Profa. Dr. Maria Rita Scotti Muzzi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas.

1. Fisiologia vegetal. 2. Nascentes. 3. Vegetação. 4. Qualidade do solo. I. Muzzi, Maria Rita Scotti. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 581

Ao Ricardo, pela inigualável atenção, pelo carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Ricardo, meu marido. Dois anos nos “bastidores” auxiliando no trabalho de campo e, principalmente, dando equilíbrio ao meu emocional. Me deu colo quando eu precisava. Meu maior ídolo. Obrigada!

A minha orientadora, Maria Rita, que acreditou, investiu e confiou esta pesquisa em minhas mãos.

Aos meus alunos Kelvin, Sabrina, Jaqueline, Márcio e Ana Paula que, perseverantes e dedicados, trabalharam com afinco na coleta de sementes, na produção e no plantio das mudas.

Aos alunos da escola integrada que participaram do projeto “Produção de mudas para recuperação de áreas degradadas” e contribuíram para aumentar o número de mudas para o plantio.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, pelo aprendizado que me foi proporcionado, por meio da convivência, da leitura, do estudo e da reflexão.

Aos meus colegas de mestrado, pela amizade que construímos durante nossa convivência nesses dois anos de curso, com ajudas mútuas e recíprocas.

Sou grata a cada amigo e a cada colega, que me disse a palavra certa na hora adequada, incentivando-me e em mim confiando, para que eu sentisse mais segurança e atingisse, com determinação, a meta desejada.

A Deus, em especial.

“Crescemos pensando que éramos seus proprietários e dominadores, portanto, autorizados a saqueá-la. Esquecemos que somos terra.”
Papa Francisco

“O que observamos não é a natureza em si, mas a natureza exposta ao nosso método de questionamento.”
Heisenberg

RESUMO

A crise hídrica que vivemos nos últimos anos se configura como uma grande ameaça que paira sobre a humanidade. Essa crise vem sendo atribuída ao déficit pluviométrico no sudeste brasileiro que comprometeria os aquíferos e as nascentes. Porém, a vitalidade dos aquíferos e das nascentes não depende somente das chuvas, mas também do uso do solo. O principal impacto gerador de problemas como perda de nascentes, comprometimento dos aquíferos e a circulação atmosférica está relacionado à perda das florestas nas zonas ripárias e nas áreas de recarga hídrica. A vegetação, através da evapotranspiração, estabelece os elos entre a água subterrânea e a água atmosférica. Devido à evapotranspiração da vegetação, temos as chuvas que abastecem as nascentes, ocorre a ascensão capilar da água do solo que abastece os rios e disponibiliza a água do solo para os seres vivos. Dessa forma, a avaliação da recuperação de nascentes deve considerar a presença da vegetação funcional capaz de promover a estruturação do solo (macro e microporos) capaz de criar um *continuum* entre água superficial e subterrânea. A efetividade desse sistema garantirá a disponibilidade da água em todas as estações de forma equitativa. Neste trabalho foi proposta a recuperação de uma nascente degradada pela pastagem com plantio de espécies nativas do cerrado através do sistema de zoneamento tampão. A recuperação foi avaliada após um ano de sua implantação por meio de indicadores de qualidade de solo para nascentes, tais como estabelecimento da vegetação, vazão, teor de água do solo, macro e microporosidade de amostras indeformadas e fertilidade do solo de amostras deformadas. Os resultados foram comparados com uma área de nascente recuperada há 10 anos, mostrando que o principal impacto sobre a nascente em estudo foi a perda da macroporosidade do solo, o que comprometeu a drenagem. Esse impacto foi causado pelo baixo conteúdo de matéria orgânica do solo decorrente da ausência da vegetação. Ao contrário, a nascente recuperada apresentou elevado conteúdo de matéria orgânica no solo, a qual foi correlacionada com porosidade, conteúdo de água no solo e vazão estimada em 0,5 L/s. Conclui-se que o manejo correto da área de nascente associado ao monitoramento dos indicadores de qualidade do solo é imprescindível para o sucesso da recuperação. Os estudos apresentados apontam como meta principal para recuperação da nascente em estudo, a redução da microporosidade do solo pelo plantio de espécies produtoras de biomassa.

Palavras-chave: Recuperação de nascentes; Indicadores de impacto na nascente; Estrutura do solo; Zoneamento da vegetação.

ABSTRACT

The water crisis that we are experiencing in recent years is currently a great threat posed over the humanity. This crisis has been attributed to the rainfall deficit, what would compromise the aquifers and springs. Although, the vitality of the aquifers and springs does not depend only on rainfall, but also of the soil use. The main impact problems generator, such as loss of springs, aquifer impairment and rainfall deficit are related to the loss of forests in riparian zones and in areas of water recharge. The vegetation, through the evapotranspiration, establishes the links between a groundwater and the atmospheric water. Due to evapotranspiration, we have rainfall that supplies the springs, rise the soil water level that supplies the rivers and water available to living things. Thus, the restoration of water springs depends on the correct establishment of vegetation to fulfill the mentioned functions. The suitable vegetation not only develop hydrological cycle through evaporation, but also allows drainage and infiltration of surface water to the and groundwater and the inverse, capillarity of groundwater to the surface. The effectiveness of this system ensure the water availability in all seasons, in an equitable manner. In the present work, have been proposed the recovery of a spring degraded by pasture with the planting of native plantings from the Cerrado through the system of zoning buffer riparian vegetation. The recovery was evaluated after one year through soil quality indicators to water springs, such as establishment of the vegetation, water flow, soil water content, macro and microporosity of deformed samples and soil fertility of deformed samples. These results were compared with a spring area recovered ten years ago. The results revealed that the mains impact on the water spring under study was the loss of soil macroporosity, which has compromised the drainage. This impact was caused by the low organic content of the soil generated by the vegetable absence. To the contrary, the recovered spring showed a lot of organic matter content which it was correlated to the porosity, soil water content and water flow estimated in 0,5 L/s. It concludes that correct handling of the water spring area, established by the monitoring of quality soil indicators, essential for the success of this recuperation. The recovery target in study is the soil microporosity reduction by planting biomass producers species.

Keywords: Water spring recovery; Soil structure; Vegetation zoning; Indicators of spring impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação água do solo e vegetação.....	22
Figura 2 – Padrão de fluxo de água através do sistema radicular durante dia e noite de acordo com a hipótese de elevador hidráulico	23
Figura 3 – Padrão de fluxo de água através do sistema radicular durante dia e noite de acordo com a hipótese de elevador hidráulico	25
Figura 4 – Sistema tampão da mata ciliar.....	28
Figura 5 – Zoneamento nas nascentes	33
Figura 6 – Vista aérea da TM.....	34
Figura 7 – Mapa da Bacia do rio Taquaraçu.....	35
Figura 8 – Área Experimental TM: Evolução da recuperação (1ª parte)	36
Figura 8 – Área Experimental TM: Evolução da recuperação (2ª parte)	38
Figura 9 – Bacia do rio Pará.....	39
Figura 10 – Vista aérea da área das nascentes – CP	40
Figura 11 – Início da recuperação	41
Figura 12 – Produção de mudas na casa e vegetação UFMG e UEMG	42
Figura 13 – Visão geral CP – Pré-plantio.....	43
Figura 14 – Plantio das espécies arbóreas	44
Figura 15 – Pós-plantio	45
Figura 16 – Análise de macroporosidade, microporosidade e porosidade total estimada pela ANOVA. Intervalo de 95% de confiança para as médias das respectivas variáveis nas áreas TM e CP	52

Figura 17 – Análise de densidade aparente (BulkD), água gravitacional (GravWat), água no solo (SoilWatPor) e umidade total (TotMoi), estimada pela ANOVA. Intervalo de 95% de confiança para as médias das respectivas variáveis nas áreas TM e CP.....53

Figura 18 – Análise de água superficial (SufMoi) e teor de água no solo (SoilWatg), estimada pela ANOVA. Intervalo de 95% de confiança para as médias das respectivas variáveis nas áreas TM e CP54

Figura 19 – PCA 1 Análise de componentes principais (PCA 2) e gráfico de dispersão com base na média das variáveis estudadas de TM e CP. Poro: Porosidade total, Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, Umi: umidade total, AguaGrav: água gravitacional, ConteAgua: conteúdo de água no solo, Umidsuper: Umidade superficial, BS: soma de bases, CEC: capacidade de troca catiônica.55

Figura 20 – Análise de componentes principais (PCA 2) e gráfico de dispersão com base na média das variáveis estudadas em cada zona de TM (ES1) e CP (ES2). Poro: Porosidade total, Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, Umi: umidade total, AguaGrav: água gravitacional, ConteAgua: conteúdo de água no solo, Umidsuper: Umidade superficial, BS: soma de bases, CEC: capacidade de troca catiônica.56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Espécies plantadas em TM	37
Quadro 2 – Espécies plantadas na CP por zoneamento.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vazão da nascente nas áreas de estudo no tempo inicial e pós-plantio. TM aos 12 meses e 10 anos pós-plantio e CP 12 meses pós-plantio inverno e verão.....50

**Tabela 2 – Análises físico-químicas do solo e comparação entre as duas áreas CP e TM
64**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	O bioma Cerrado.....	18
2.2	O ciclo hidrológico.....	19
2.3	Influência da vegetação na formação de macroporos e microporos do solo.....	24
2.4	O papel da floresta sobre as águas: mata ciliar e serviços ecossistêmicos	26
2.5	Bacia hidrográfica e nascentes	28
2.6	Análises estatísticas	30
3	OBJETIVOS	32
3.1	Geral	32
3.2	Específicos	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Proposta de zoneamento na nascente	33
4.2	Localização da área experimental 1 (TM) – Taquaraçu de Minas.....	34
4.2.1	<i>Bacia hidrográfica de TM.....</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Descrições do impacto de TM.....</i>	<i>36</i>
4.3	Localização da área experimental 2 (CP): Conceição do Pará	38
4.3.1	<i>Ações de recuperação em CP</i>	<i>40</i>
4.3.2	<i>Seleção de espécies e produção de mudas para CP</i>	<i>41</i>
4.3.3	<i>Produção das mudas para recuperação da área CP.....</i>	<i>41</i>
4.3.4	<i>Delineamento experimental do plantio na CP.....</i>	<i>42</i>
4.3.5	<i>Registro fotográfico das ações implementadas em CP pré-plantio e plantio.....</i>	<i>43</i>
4.4	Estudo dos indicadores de degradação da nascente na CP	46
4.4.1	<i>Análise física em amostras indeformadas de solo</i>	<i>46</i>
4.5	Análises em amostra deformada de solo	47

4.6 Análise textural / Granulometria	49
<i>4.6.1 Análises químicas</i>	49
<i>4.6.2 Volume de vazão</i>	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58
ANEXOS	64

1 INTRODUÇÃO

Estamos no início do século XXI, de posse de uma ampla documentação a respeito da importância e da extensão da problemática ambiental. Muitos são os problemas globais que estão destruindo o planeta e a vida humana de forma assustadora, entre eles a falta d'água. Quais as possíveis causas da atual deficiência dos recursos hídricos? Esse déficit pode ser provocado por desequilíbrios climáticos naturais, tais como a falta de chuva, os desequilíbrios promovidos por ação antrópica ou, ainda, pela má gestão dos recursos hídricos.

A crise hídrica que estamos vivendo nos últimos quatro anos traz sérias consequências econômicas e sociais. A falta de chuvas tem conduzido o Brasil e, em particular, a região Sudeste a uma situação difícil em vários campos, como na geração de energia elétrica, no abastecimento de água das cidades e na agricultura. Quanto mais estudamos os principais problemas ambientais atuais, mais somos levados a perceber que são problemas sistêmicos, isto é, não podem ser entendidos isoladamente, o que significa que estão interligados e são interdependentes.

As condições e os processos que fornecem real suporte à vida e através dos quais ecossistemas naturais e espécies que os compõem, sustentam e atendem à vida humana são chamados de Serviços Ecossistêmicos (SE) (DAILY, 1997; COSTANZA et al., 1997; DE GROOT et al., 2002; MMA, 2003). Segundo De Groot et al. (2002), os SE podem ser agrupados em quatro categorias primárias, quais sejam: i) serviços de regulação; ii) serviços de suporte; iii) serviços de abastecimento; e iv) serviços culturais. A água, que é um dos elementos abióticos mais importantes na composição da paisagem terrestre, faz parte de dois desses serviços – serviços de regulação: ciclo hidrológico e serviços de abastecimento: oferta de água doce.

Podemos aumentar a disponibilidade de água doce na superfície terrestre através do manejo correto da vegetação das áreas de recarga hídrica (topo de morro), do entorno das nascentes e das matas ciliares (AN et al., 2010; BARRELA et al., 2001; DAVID et al., 2013; LOWRENCE et al., 1997; SMITH et al., 1998). Esta última, também chamada de floresta ripária (RF), tem como função, entre outras, a preservação da biodiversidade e da qualidade da água no solo e no rio, o controle da erosão das margens de rios e lagos, a produção de biomassa, além da manutenção da temperatura da água pelo sombreamento, o que assegura a vida aquática (NAIMAN; DECAMPS, 1997; TRISKA, 1993; VIDON et al., 2010; WELCH, 1991). A cobertura vegetal através da interceptação da água da chuva pelas copas influencia a

redistribuição e o direcionamento das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração.

Os ecossistemas ripários são conectados ao ecossistema aquático tanto pelo fluxo superficial como pelo subterrâneo (TRISKA, 1993). Esse fluxo é regulado pela floresta ripária através do *continuum* solo-planta-atmosfera. A vegetação arbórea modifica o conteúdo de água armazenada no solo alterando o lençol freático em profundidade através do processo de ascensão hidráulica. As interações entre vegetação freatófita e lençol freático controlam a distribuição e a flutuação da elevação da água nos solos úmidos e inundáveis (FRITZSONS, 2003). A maioria das espécies arbóreas que compõem a RF são freatófitas, isto é, elas contam com o lençol freático para sobreviver e crescer (SMITH et al., 1998). No entanto, as espécies freatófitas diferem-se amplamente em sua tolerância à seca, ao excesso de água e às flutuações no nível da água, dependendo do habitat, da fase do ciclo de vida e da época do ano (NAUMBURG et al., 2005; SMITH et al., 1998).

Baseado nas diversas funções das RFs, foi possível perceber e entender a presença de zonas funcionais naturais na mata ciliar, as quais são prerrogativas para sua recuperação e seu manejo adequado (Best Management Practice – BMP). Assim, a escolha da vegetação, bem como das intervenções numa área de RF, pode ser decisiva para o sucesso da recuperação e da qualidade dos afloramentos hídricos. A compreensão das atividades funcionais envolvidas nas regiões ripárias é condição para a eficácia da recuperação, pois os elementos envolvidos nesses processos são indicadores de excelência do sistema de floresta ripária tampão (RFBS) e da qualidade da água, assim como da proteção do corpo hídrico (QUIA; DOSSKEY, 2012).

Independentemente das causas do déficit hídrico, esse problema pode ser minimizado com o manejo correto da água do subsolo através da revegetação adequada das matas ciliares, das áreas de recargas hídricas e das nascentes. Este trabalho visa estudar os indicadores de impacto de uma nascente na fazenda São João, localizada no município de Conceição do Pará – MG, que se encontra em fase inicial através do plantio de diferentes espécies arbóreas em zonas funcionais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O bioma Cerrado

O termo “cerrado” é comumente utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria) que ocorrem no Brasil Central (EITEN, 1977; RIBEIRO et al., 1981) e que tem como característica climática predominante uma estação seca e outra chuvosa, cuja pluviosidade média anual está na faixa de 800-1.800 mm, temperatura média anual entre 22°C e 27°C e médias anuais de umidade relativa do ar de, aproximadamente, 60% (NIMER; BRANDÃO, 1989). O relevo é formado por planaltos, depressões e planícies intercalados. As depressões, região de interesse neste trabalho, compreendem os compartimentos formados pelos processos erosivos, que levaram à formação das linhas de drenagem e das bacias hidrográficas (AB’SÁBER, 1981).

O bioma cerrado ocupa 22% do território nacional, concentra oito das 12 bacias hidrográficas do país (67%), além de possuir alta concentração de nascentes de rios que abastecem outras regiões brasileiras, o que faz dele uma região essencial para que o recurso natural água continue sendo oferecido (HOGAN et al., 2002; MMA, 1999; OLIVEIRA-FILHO; LIMA, 2002; SHIKI, 1997). Minas Gerais abriga em seu território as nascentes de importantes rios brasileiros (IEF, 2016).

É considerado a savana mais biologicamente diversificada do mundo (MMA, 1999; HOGAN et al., 2002) com número superior a 7000 espécies animais e vegetais e alto nível de endemismo que, em caso de destruição, seriam levadas à extinção (HOGAN et al., 2002; KLINK; MACHADO, 2005; MMA, 1999; SAWYER, 2002). Outra característica do cerrado brasileiro é a sua capacidade de armazenamento de carbono. A ausência de florestas densas é compensada pela grande extensão e pela vegetação com raízes profundas. Essas raízes formam uma imensa “floresta subterrânea”, que torna significativa a contribuição do cerrado em termos de absorção de carbono na atmosfera terrestre (HOGAN et al., 2002).

Apesar da sua importância, apenas 2,2% da área do cerrado se encontra legalmente protegida. Ele é o segundo bioma mais ameaçado do país e sofre com as pressões da agricultura e, principalmente, da pecuária e das queimadas não naturais. Essa degradação impõe custos elevados à sociedade, lembrando que toda intervenção no cerrado é, também, uma intervenção na disponibilidade de água (MMA, 2016).

Entre as estratégias utilizadas pelo Ministério da Agricultura para se atingir esse objetivo, está o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas e Conservação de Solos na

Agricultura (PNMH), cujas ações prioritárias são recomposição das matas ciliares e proteção das nascentes e dos cursos d'água, práticas de preservação e uso sustentável dos recursos hídricos, implantação de viveiros de plantas, recuperação de áreas degradadas, entre outras. Porém, é imprescindível analisar os atributos do solo de cada região à procura dos indicadores de impacto, e, com esses dados analisados, decidir quais espécies plantar e onde plantar cada uma delas é fundamental para o sucesso de todas as ações propostas no PNMH.

Sabemos que agricultura e pecuária são atividades econômicas essenciais na produção de alimentos, que têm em comum a necessidade de espaço físico e o suprimento de água. O desmatamento de extensas áreas de Cerrado, para suprir a falta de espaço nessas atividades, diminui drasticamente a quantidade de água infiltrada, retida e percolada no solo. A substituição da cobertura vegetal por pastagens rompe o elo entre a água do subsolo e a atmosfera, exercido pelas raízes da vegetação freatófita comprometendo a disponibilidade desse recurso. O desmatamento também favorece o escoamento superficial e, com ele, a lixiviação e a erosão do solo, fenômenos que também ameaçam os recursos hídricos da região, já que promove o assoreamento dos cursos d'água (HOGAN et al., 2002; KLINK; MACHADO, 2005; LOWRANCE et al., 1997).

Assim, a degradação do solo e o assoreamento das nascentes são resultantes de ruptura da estrutura do solo, e os principais indicadores de impacto se relacionam com a estrutura do solo. Para avaliar o efeito que teria quaisquer dessas interferências ambientais – agricultura, pecuária, desmatamento, entre outros – numa bacia hidrográfica, são necessários uma análise do solo – umidade e dinâmica da água no solo, um estudo das espécies vegetais responsáveis pela manutenção das águas subterrânea e superficial, isto é, de que maneira ela interfere na dinâmica das bacias hidrográficas e qual é a sua importância para a manutenção destas, via evapotranspiração, elevador hidráulico, formação de agregados no solo e porosidade do solo.

2.2 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico movimenta um volume de água de aproximadamente 577 mil km³/ano-1, oriundos da precipitação, os quais retornam à atmosfera através da evaporação e/ou da evapotranspiração. A maior parte da água precipitada atinge os oceanos, e somente 119 mil km³ por ano atingem os continentes. Destes, 72 mil km³/ano-1 retornam à atmosfera por evaporação/evapotranspiração, sendo que 44,7 mil km³/ano-1 atingem os

oceanos através dos rios, e somente 2,2 mil km³/ano-1 abastecem os cursos subterrâneos constituindo a água de armazenamento (COLLISCHONN; DORNELLAS, 2013).

O ciclo hidrológico é composto por dois grandes movimentos hídricos (BRADY; WEIL, 2013; COLLISCHONN; DORNELLAS, 2013) – o gravitacional e o antigravitacional. A etapa gravitacional se inicia quando a água da precipitação chega à superfície terrestre e pode ser conduzida por três outros processos:

1 – Intercepção

Parte da água de precipitação líquida ou sólida (neve) é interceptada pela vegetação, podendo retornar à atmosfera por evaporação ou sublimação.

2 – Escoamento

Superficial: é a água que vai percorrer o solo superficialmente e atingir rios e oceanos.

Subterrâneo: é a água que escoar no solo e nas rochas, através das suas fissuras e fraturas.

3 – Infiltração e percolação

A água que se infiltra e/ou percola no solo pode ser encontrada nos seus poros (macro e microporos) ou atingir a zona saturada, entrando na circulação subterrânea e contribuindo para um aumento da água armazenada nos aquíferos. A taxa de infiltração (m/s ou cm/h) é a quantidade de água que penetra no solo, dada por:

$$i = Q/A.t$$

Onde Q é o volume de água que se infiltra, A é a área da superfície do solo e t, o tempo.

A percolação se refere à taxa de movimento da água do solo estando diretamente relacionada com a condutividade hidráulica.

A etapa antigravitacional se refere ao movimento de perda de água do solo para a atmosfera. É composta pelos processos de evaporação, transpiração e ascensão capilar, como segue:

1 – Evaporação

Através da radiação solar, a água líquida pode ser evaporada diretamente do solo ou indiretamente através das plantas pela evapotranspiração. Esse vapor de água é o responsável pela formação de nuvens que, uma vez condensado, volta à superfície da Terra na forma de precipitação.

2 – Ascensão capilar

A água do solo se movimenta através dos seus poros (macro e microporos) permitindo seu fluxo bidirecional. As forças responsáveis por esse fluxo se relacionam com a atração entre as moléculas de água (coesão) e entre moléculas de água e superfícies sólidas (adesão). A força de coesão é especialmente significativa na interface ar/água, gerando uma força dirigida da superfície da água para seu interior, que é a tensão superficial, favorecendo a retenção da água no solo.

A porosidade do solo cria um sistema de tubos capilares responsáveis pela movimentação da água através das forças de adesão ou adsorção e tensão superficial dada pela coesão.

A altura de ascensão da água depende do diâmetro dos poros ($h=0,15/r$).

O movimento da água do solo depende da diferença do nível de energia potencial da água, migrando da zona com alto potencial para a zona com baixo potencial. O potencial de água do solo é composto por diferentes tipos de forças ou energias denominadas potencial gravitacional, potencial matricial, potencial hidrostático e potencial osmótico.

O potencial gravitacional é o produto da aceleração da gravidade e da altura da água acima do plano de referência, que controla o excesso de água nos horizontes superiores do solo.

A pressão hidrostática é a pressão da água em zonas saturadas abaixo do lençol freático.

O potencial matricial é gerado pela atração da água para as superfícies sólidas e é sempre negativo. Opera acima do lençol freático e resulta das forças de adesão e capilares, controlando o movimento da água no solo. Esse movimento é normalmente lento e pode ser alterado pela presença da vegetação.

O potencial osmótico é atribuído à presença dos solutos orgânicos e inorgânicos no solo, e a água no estado líquido tende a migrar pela diferença de potencial osmótico.

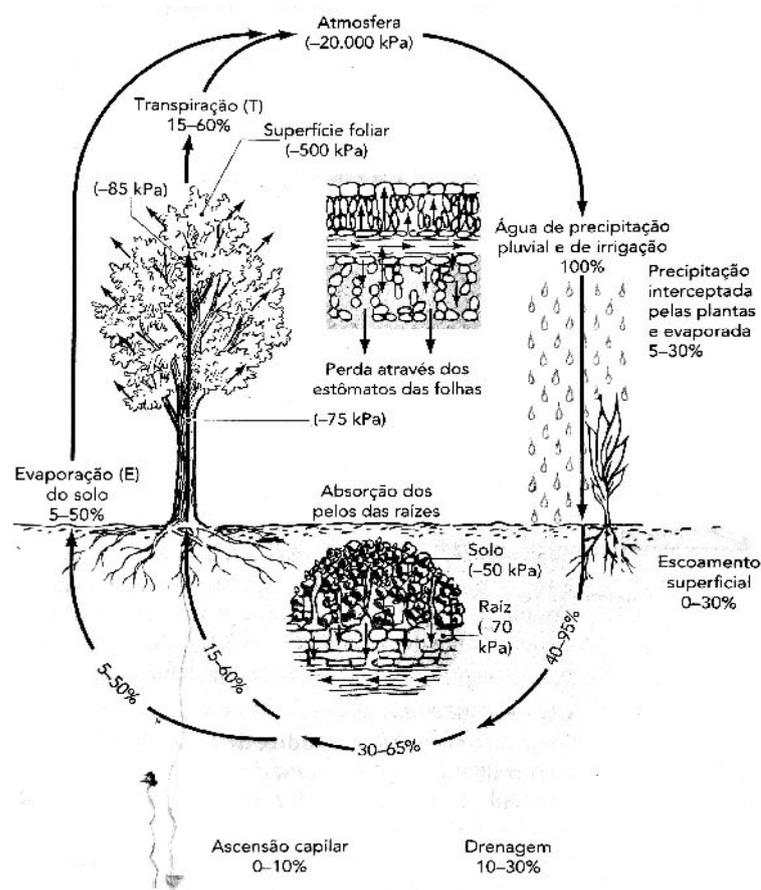
A ascensão capilar é resultante da influência de todas essas forças ou energias potenciais no solo.

3 – Evapotranspiração

Este processo se refere à perda da água do solo para a atmosfera através das plantas, estabelecendo um *continuum* solo-planta-atmosfera (Figura 1). Esse *continuum* está sujeito às mesmas energias relacionadas à água no solo. Estima-se que a ascensão capilar contribua com apenas 10% da elevação da água proveniente da precipitação e, cerca de 50% dessa água

entrará no sistema solo-planta-atmosfera. A movimentação desse contingente de água pelo *continuum* dependerá da diferença de potencial hídrico encontrado na região da raiz (-70 kPa) e atmosfera (-20.000 kPa). Esse gradiente energético permite a distribuição da água para todo o corpo vegetal e, através dos estômatos foliares (-500 kPa), ocorre a perda dessa água para a atmosfera. Através da evapotranspiração (Figura 2a), estabelece-se uma ampliação do processo de ascensão capilar, conhecido como “elevador hidráulico” já que esse movimento assegura a umidade do solo e a disponibilidade de água para as plantas (BRADY; WEIL, 2013).

Figura 1 – Relação água do solo e vegetação



O fluxo de água através do *continuum* solo-planta-atmosfera é definido pela diferença de potencial de água. Para ilustrar o movimento da água em direção aos locais de menor potencial, a figura mostra que o potencial de água diminui de -50 kPa no solo para -70 kPa na raiz, para -500 kPa nas folhas e para -20.000 kPa na atmosfera.

Fonte: BRADY; WEIL, 2013.

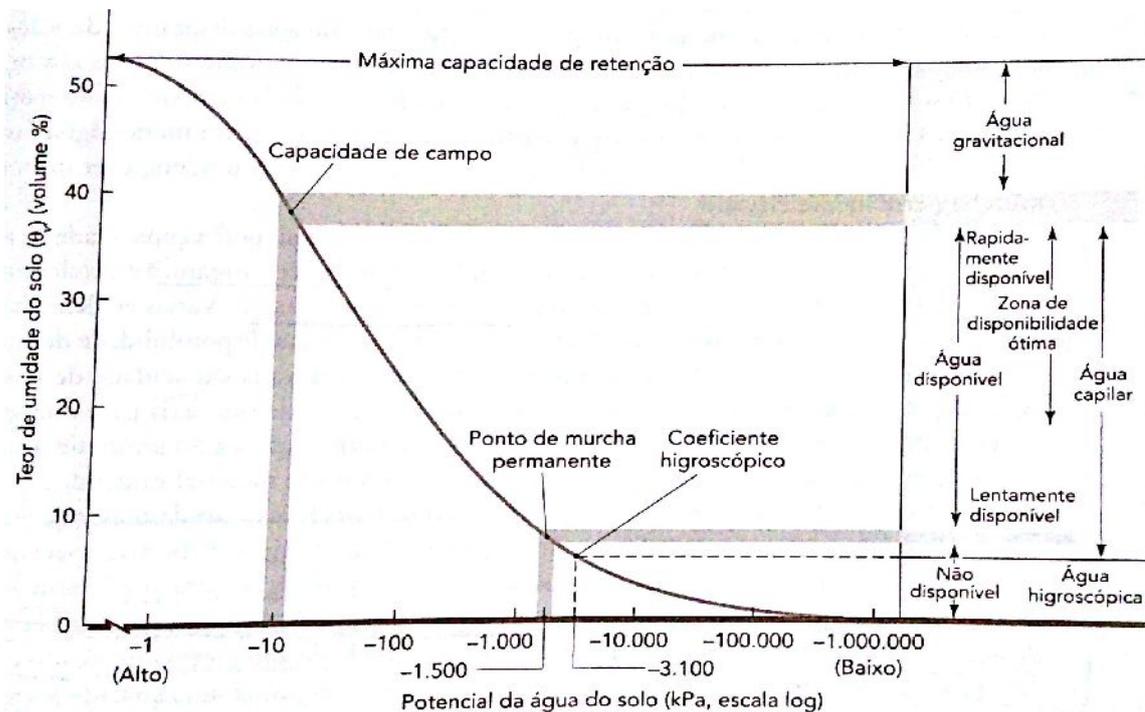
Portanto, o balanço hídrico em uma bacia hidrográfica é regulado pelo volume de entrada de água via precipitação e sua saída, via infiltração, percolação, evapotranspiração e escoamento, dada pela equação do balanço hídrico proposta por Brady e Weil (2013).

$$P = ET + AS + Q \quad (2.1)$$

Onde P é a precipitação, ET é a evapotranspiração, AS é o armazenamento do solo e Q, a vazão. Considerando armazenamento do solo, a variação do volume de água armazenado na bacia no intervalo de tempo.

Quando o lençol freático (zona de saturação) se encontra superficial no solo, ocorre seu afloramento dando origem às nascentes, superando a capacidade de retenção do solo (Figura 2).

Figura 2 – Padrão de fluxo de água através do sistema radicular durante dia e noite de acordo com a hipótese de elevador hidráulico



As mudanças graduais dos potenciais acontecem à medida que os estados de umidade do solo mudam

Fonte: COLLISCHONN; DORNELLAS, 2013.

Essa ressurgência é dirigida pelas mesmas condições que influenciam o balanço hídrico. E, nessa equação, a precipitação é uma constante. O armazenamento do solo vai

dependem da porosidade do solo e da ascensão capilar, e a vazão da água vai depender da evapotranspiração através do *continuum* solo-planta-atmosfera. As variáveis em que podemos intervir ou alterar são a evapotranspiração, que através do elevador hidráulico assegurará a disponibilidade da água na superfície, e o armazenamento do solo através do favorecimento da formação de macro e microporos.

Essas variáveis tornam-se extremamente importantes onde as nascentes não são funcionais.

2.3 Influência da vegetação na formação de macroporos e microporos do solo

A formação de agregados resulta da decomposição das plantas lenhosas ricas em lignina (teoria da lignina), tal como descrita por Stevenson (1994).

A principal base do processo de agregação é a capacidade dos polímeros formados com ácido húmico de se ligarem a diferentes partículas, sendo o complexo argila-húmico a unidade primária de agregação (PICCOLO; MBAGWU, 1994).

Em particular, a formação de macroagregados de solos modifica a quantidade e o tamanho dos poros do solo (macro e microporosidade), o que garante a aeração e a drenagem do solo (STEVENSON, 1994).

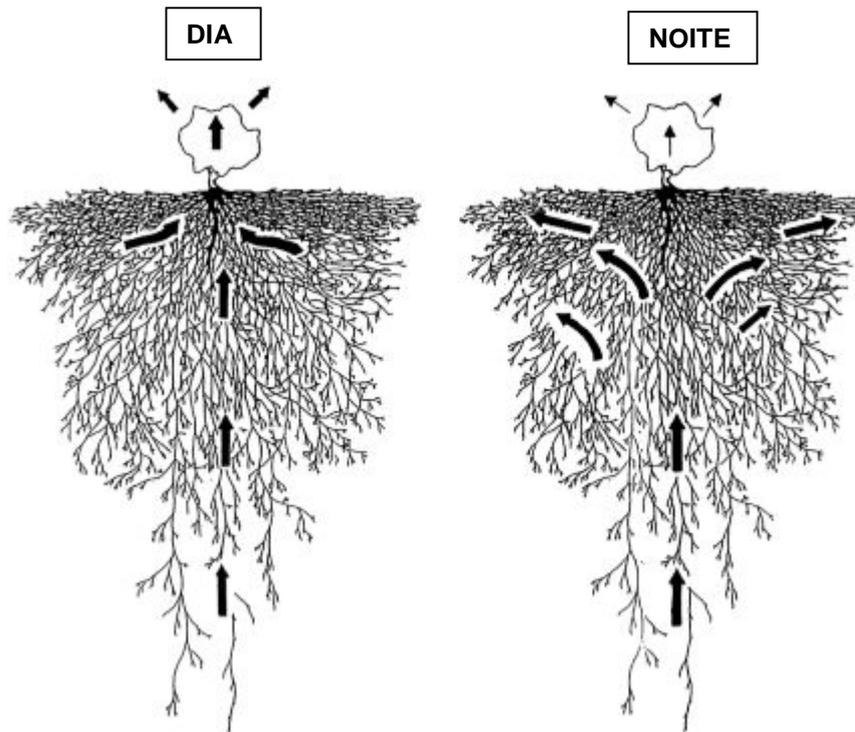
A capacidade de percolação de um solo depende do estabelecimento da porosidade e do equilíbrio na formação de macro e microporos. Os índices de agregação de solos, particularmente macroagregação (GUPTA; GERMIDA, 2015), também podem ser afetados por impactos ambientais como perda de vegetação, cultivo a longo prazo e manejo do solo (TIVET et al., 2013).

A quantidade de água e a velocidade com que ela circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico são influenciadas pela vegetação (VIESSMAN et al., 1972). A densidade de plantas, o comportamento fisiológico da planta, a estrutura e a arquitetura do dossel, o tipo e a profundidade das raízes e a quantidade de biomassa vegetal gerada, entre outros, são responsáveis direta e indiretamente pela quantidade de água drenada para o lençol freático.

As árvores têm a propriedade de alterar fatores ambientais locais; suas raízes penetram no solo em profundidade e, entre as forças que movimentam a água para a superfície, se destacam a ascensão capilar (Figura 1) e a evapotranspiração que funciona como um elevador hidráulico (Figura 3). Esse efeito propicia o movimento da água em direção às camadas de solo mais secas e rasas durante o dia e, após cessar a evapotranspiração

no período noturno, ocorre liberação da água do sistema radicular para o solo mais seco (RICHARDS; CALDWELL, 1987).

Figura 3 – Padrão de fluxo de água através do sistema radicular durante dia e noite de acordo com a hipótese de elevador hidráulico



Fonte: CALDWELL, 1988.

Sendo assim, as árvores capturam, redirecionam, estocam e liberam água em resposta aos estímulos ambientais e fisiológicos. As raízes, atravessando o solo com diferentes potenciais hídricos, atuam como condutores que transferem água do solo úmido para o seco, processo conhecido como elevador hidráulico (CALDWELL et al., 1988; BURGESS et al., 2001; DAVID et al., 2013). As raízes que alcançam o lençol freático exercem uma força a favor da gravidade, devolvendo essa água para as camadas superficiais do solo.

A vegetação arbórea modifica o conteúdo de água armazenado no solo alterando o lençol freático em profundidade através do processo de evapotranspiração e ascensão capilar. As interações entre vegetação freatófita e lençol freático controlam a distribuição e a flutuação da elevação da água nos solos úmidos e inundáveis (DUBE´ et al., 1995).

Portanto, independentemente das causas desse déficit hídrico, a revitalização das matas ciliares com o replantio de florestas junto às nascentes e às áreas de recarga é um dos caminhos mais promissores para assegurar nossa água no futuro.

A elevação hidráulica promovida pela vegetação através da evapotranspiração e da ascensão capilar depende da formação de poros no solo. A formação de macroporos e microporos do solo depende do seu estado de agregação, que resulta na interação das características texturais do solo e do aporte de matéria orgânica (SIX et al., 2000). A drenagem de um solo pode ser alterada pela presença da vegetação. A vegetação arbórea, através do aporte de *litter*, é a principal fonte de matéria orgânica húmica derivada da decomposição da matéria orgânica rica em lignina.

Assim, a formação de agregados resulta da decomposição das plantas lenhosas ricas em lignina (teoria da lignina), tal como descrita por Stevenson (1994). A principal base do processo de agregação é a capacidade dos polímeros formados com ácido húmico de se ligarem a diferentes partículas, sendo o complexo argila-húmico a unidade primária de agregação (PICCOLO; MBAGWU, 1994). Em particular, a formação de macroagregados de solos modifica a quantidade e o tamanho dos poros do solo (macro e microporosidade), o que garante a aeração e a drenagem do solo (STEVENSON, 1994).

A capacidade de percolação de um solo depende do estabelecimento da porosidade e do equilíbrio na formação de macro e microporos. Os índices de agregação de solos, particularmente macroagregação (GUPTA; GERMIDA, 2015), também podem ser afetados por impactos ambientais como perda de vegetação, cultivo a longo prazo e manejo do solo (TIVET et al., 2013).

2.4 O papel da floresta sobre as águas: mata ciliar e serviços ecossistêmicos

A Floresta Ripária (FR) é conhecida como floresta tampão ou “Riparian Forest Buffer Systems (RFBS)” porque tampona ou protege os cursos d’água através do controle de poluentes difusos – “Nonpoint Source Pollution (NPS)”, propiciando a melhoria da qualidade da água (LOWRANCE et al., 1997) no entorno das nascentes, ao longo de rios e riachos ou cursos d’água visando assegurar o fornecimento de vários serviços ecossistêmicos como o controle da umidade do solo e do afloramento da nascente e do controle da erosão que, através do seu sistema radicular, assegura a percolação e a infiltração da água, assim como a estabilização das margens, a fertilidade do solo e a biodiversidade (WELSCH, 1991;

LOWRANCE, 1997; NAIMAN; DECAMPS, 1997; SHERIDAN et al., 1999; SHULTZ et al., 2004).

O livro “Riparian Forest Buffers: Function and Design for Protection and Enhancement of Water Resources” (WELSCH, 1991) explica o sistema ripário como um sistema tampão, constituído de três zonas funcionais que removem ou controlam a movimentação de nutrientes, sedimentos, matéria orgânica, pesticidas, metais pesados e demais poluentes antes de acessar o corpo d’água, além de promover a drenagem e a percolação da água, descritas a seguir (Figura 4).

Zona 1 – Tem a função de criar um ecossistema estável na interface dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Desempenha um papel de contenção física e química das margens, tamponando e filtrando sedimentos e moléculas químicas. Essa zona deve ter grande estabilidade física e capacidade de drenagem para receber tanto o fluxo superficial como profundo oriundo da zona 2, assim como aquele oriundo da água de inundação;

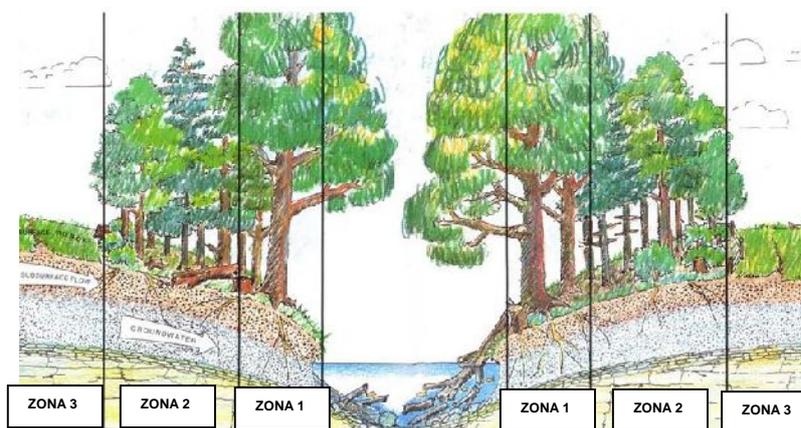
Zona 2 – É, também, local do tamponamento ou contenção dos sedimentos, das erosões laminares e profundas e onde ocorre o maior sequestro de carbono e de poluentes. Nutrientes responsáveis pela eutrofização de lagos e rios tais como nitratos, metais pesados e poluentes químicos são especialmente tratados nessa zona, em que ocorre a formação de matéria orgânica húmica (WEISSTEINER et al., 2013). O serviço ambiental de percolação da água ocorre também nessa zona em função da modificação da porosidade do solo promovida pela agregação do solo. Por isso, a principal característica das espécies dominantes deve ser a habilidade em produzir biomassa vegetal, substrato para a formação da matéria orgânica do solo ou matéria orgânica húmica;

Zona 3 – É a faixa mais distante da margem e constitui a primeira barreira de proteção para o corpo hídrico, fazendo interface com outros tipos de uso do solo como agrícola, pastagem, urbano, etc. Assim, terá o papel de reduzir a velocidade do fluxo de águas superficiais e o arraste de sedimentos.

O material originado de áreas altas que chega à zona riparia é filtrado através dos agregados formados nas diferentes zonas da mata ciliar, protegendo o ecossistema aquático do excesso de nutrientes e poluentes, assim como dos sedimentos (KREUTZWEISER; CAPELL, 2001; VIDON et al., 2010) que podem alterar a estrutura alimentar do sistema aquático. Esse

papel das RFs se faz não só através da regulação dos ciclos biogeoquímicos e da capacidade de troca catiônica dos ácidos húmicos (KUGLEROVA et al., 2014), mas também pelo significativo sequestro de carbono no solo ripário (PAN et al., 2011).

Figura 4 – Sistema tampão da mata ciliar



Fonte: Adaptado de LOWRENCE et al., 1997.

O movimento de água através do *continuum* solo-planta-atmosfera está diretamente relacionado aos processos citados até aqui – percolação, drenagem, formação de agregados, absorção de água pela planta, transpiração e precipitação.

A escolha das espécies corretas para cada uma das zonas descritas é fundamental para o sucesso da recuperação das matas ciliares e da elevação da profundidade do lençol freático, com conseqüente afloramento das nascentes, propiciando a oferta de água.

2.5 Bacia hidrográfica e nascentes

Bacia é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, delimitada pelas regiões mais altas do relevo – os divisores de água – que direcionam o fluxo das águas provenientes das chuvas, por meios dos escoamentos superficiais e subterrâneos, formando nascentes (BARRELA et al., 2001).

Assim, as nascentes são ambientes singulares e heterogêneos importantes geomorfológica, hidrológica, ecológica e socialmente. Caracterizam-se pela passagem da água do meio subterrâneo para o superficial e configuram ecossistemas específicos de importância ímpar para o equilíbrio dinâmico do sistema ambiental. Alguns autores reconhecem as nascentes como mananciais de água para a sociedade (MONTGOMERY,

1988; DIETRICH, 1989), porém a escassez de material científico sobre nascentes que, de fato, contribua para o conhecimento e o comportamento delas dificulta a compreensão do tema, inclusive em seu conceito.

Entende-se por nascentes os afloramentos do nível freático na superfície do terreno; pontos iniciais de cursos de água. Davis e De Wiest (1966) definem “nascente” (*spring*) como “qualquer descarga superficial natural de água suficientemente grande para fluir em um pequeno curso de água”. Posteriormente, Kresic (2007) define “nascente” (*spring*) como “o local na superfície da terra onde há descarga de água subterrânea do aquífero, criando um fluxo visível. Esse fluxo visível, geralmente, é marcado por uma abundante vegetação e ocorre comumente em vales que cortam a jusante da zona de saturação de um depósito de camada aquífera uniforme.

Por outro lado, o CONAMA, através da Resolução 303 de 20 de março de 2002, dá a definição de “nascente” e sua área de proteção:

Art. 2º - Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:
 [...] II - nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;
 Art. 3º - Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte [...].

As nascentes ainda são definidas como “fontes por fraturas (ou fissuras) referentes às descargas de água ao longo de planos de acamamentos, juntas, clivagens, falhas e outras quebras nas rochas consolidadas”. Segundo Davis e De Wiest (1966), existem várias propostas de classificação das fontes, baseadas em características diversas, sendo as mais comuns: a vazão de descarga; as características da carga hidráulica (pressão), que cria a descarga; a estrutura geológica que controla a descarga, e a qualidade e a temperatura da água.

Ainda segundo esses autores, as nascentes podem ser classificadas como:

- Nascente ou olho d'água – pode ser o tipo de nascente sem acúmulo d'água inicial, comum quando o afloramento ocorre em um terreno declivoso, surgindo em um único ponto em decorrência de a inclinação da camada impermeável ser menor que a da encosta. São exemplos desse tipo as nascentes de encosta e de contato;
- Veredas – são formadas por várias nascentes espalhadas de modo difuso, numa área de afloramento;
- Nascentes com acúmulo inicial – quando a camada impermeável fica paralela à parte mais baixa do terreno e, estando próxima à superfície, acaba por formar um lago.

Na atualidade, Calheiros et al. (2004) apresentam as seguintes definições:

- Fonte difusa: nascente que emana de um meio permeável para uma área relativamente extensa;
- Nascente: local de onde a água emerge naturalmente, de uma rocha ou do solo, para a superfície do solo ou para uma massa de água superficial;
- Nascente artesiana: nascente cuja água provém de um aquífero artesiano, geralmente através de uma fissura ou outro tipo de abertura da formação impermeável que delimita o aquífero;
- Nascente de contato: nascente em que a água flui de uma formação permeável subjacente a uma formação relativamente impermeável;
- Nascente de depressão (sin. Nascente de gravidade): nascente que emerge para uma superfície, devido apenas ao fato de essa superfície interceptar o nível do aquífero;
- Nascente intermitente (sin. Nascente periódica): nascente cuja vazão se produz apenas em certos períodos cessando em outros;
- Nascente de falha geológica: nascente alimentada por água subterrânea profunda que emerge de uma falha de grande dimensão;
- Nascente de fissura: nascente que surge de uma fissura;
- Nascente de fratura: nascente que flui da fratura de uma rocha;
- Nascente mineral: nascente cuja água contém quantidades significativas de sais minerais;
- Nascente termal (sin. Nascente termomineral): nascente cuja água tem uma temperatura superior à temperatura anual média do local onde ela emerge;
- Nascente vaclusiana: ressurgência em regiões cársticas que é controlada por um sifão natural e com funcionamento intermitente.

Enfim, inerente à confusão conceitual, para uma efetiva proteção e recuperação das nascentes, é necessário conhecê-las; entender suas características, seu comportamento (sazonal e a longo prazo) e sua gênese. Por isso, os estudos sobre nascentes são complexos, mas, acima de tudo, de grande importância para a ciência e também para a sociedade e imprescindível para subsidiar a recuperação de nascentes degradadas.

2.6 Análises estatísticas

Os resultados das amostras com distribuição normal foram submetidos a ANOVA unidirecional utilizando o software Minitab (Versão 13.2), enquanto que, para as variáveis

com distribuição não normal, foi usado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (nível de 5% de probabilidade) e, para comparação das médias das variáveis com distribuição normais, o teste de Tukey ao nível de confiança de 5% ($P = 0.05$). A comparação entre as variáveis não normal foi feita pelo teste de Nemenyi. A análise de componentes principais (PCA), baseada em análise de variância, foi utilizada para selecionar as variáveis mais significativas: microporosidade, macroporosidade, porosidade total, matéria orgânica. A análise expressa variáveis em termos dos dois componentes que explicam a variabilidade total entre as áreas. Cada componente foi acompanhado de informações sobre a intensidade e a direção das correlações variáveis.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a recuperação de uma nascente degradada em comparação com uma nascente recuperada através dos indicadores biótico e abióticos do solo.

3.2 Específicos

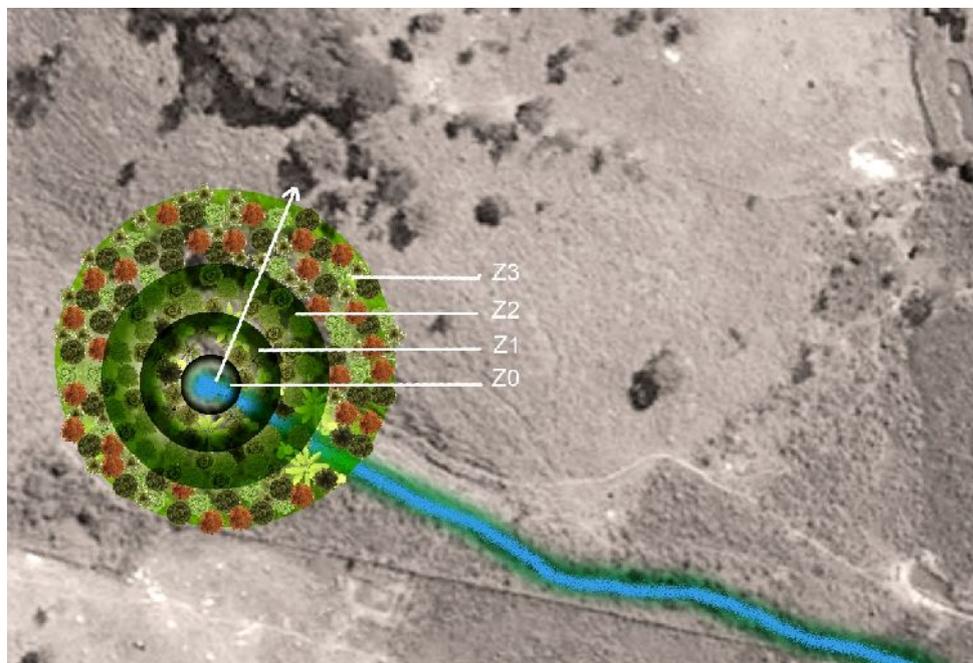
- 1 – Avaliar o efeito do plantio em zoneamento na alteração dos parâmetros físico-químicos do solo;
- 2 – Avaliar os indicadores de armazenamento de água solo, através da umidade do solo, água superficial do solo, macro e microporosidade;
- 3 – Avaliar a descarga hídrica através do volume aparente de vazão;
- 4 – Avaliar os fatores de fertilidade e de estrutura do solo relacionados com a drenagem e infiltração.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Proposta de zoneamento na nascente

No presente estudo foi proposta uma adaptação do zoneamento para a área de nascente tendo como base a recuperação bem-sucedida de uma nascente em Taquaraçu de Minas, onde nossa equipe utilizou o zoneamento esquematizado na figura 5. Nesta proposta, estabelecemos uma nova zona, Z0, em torno da nascente.

Figura 5 – Zoneamento nas nascentes



Fonte: Dados da pesquisa.

Onde,

Zona 0 – Zona hiporréica: área ao redor da nascente, intocável, onde existe um fluxo bidirecional entre o corpo hídrico e a água subterrânea (TRISKA, 1993);

Zona 1 – Tem a função de criar um ecossistema estável na interface dos ecossistemas terrestres e aquáticos. As interações entre vegetação freatófita e lençol freático controlam a distribuição e flutuação da elevação da água nos solos úmidos e inundáveis (DUBE´ et al., 1995);

Zona 2 – Local do tamponamento ou contenção dos sedimentos, das erosões laminares e profundas e onde ocorre o maior sequestro de carbono e de poluentes (WEISSTEINER et al., 2013);

Zona 3 – Faz interface com outros tipos de uso do solo como agrícola, pastagem, urbano, etc. Assim terá o papel de reduzir a velocidade do fluxo de águas superficiais e o arraste de sedimentos.

4.2 Localização da área experimental 1 (TM) – Taquaraçu de Minas

O município se estende por 329,2 km² e contava com 3 792 habitantes no último censo. A densidade demográfica é de 11,5 habitantes por km² no território do município (PROJETO MANUELZÃO).

Situada a 728 metros de altitude, Taquaraçu de Minas apresenta as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 19° 39' 49'' Sul Longitude: 43° 41' 29'' Oeste (Figura 6).

Figura 6 – Vista aérea da TM



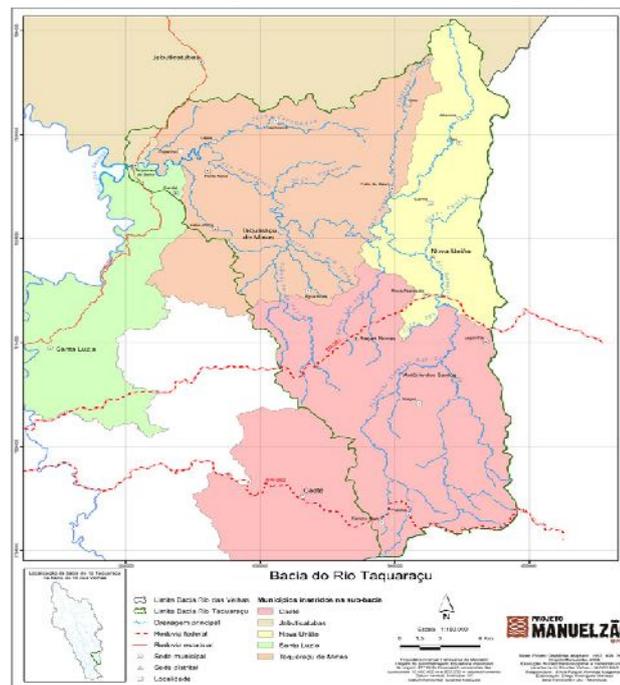
Fonte: <https://www.google.com.br/maps/place/Taquara%C3%A7u+de+Minas+-+MG/@-19.670343,-43.6614126,744m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xa5d08b5780643f:0x9d830d75d0c01277!8m2!3d-19.6519566!4d-43.6759049?hl=pt-BR>.

4.2.1 Bacia hidrográfica de TM

O rio Taquaraçu é um afluente da margem direita do médio rio das Velhas, que, por sua vez, faz parte da bacia do rio São Francisco. Localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, a bacia hidrográfica do rio Taquaraçu (Figura 7) é formada pelas sub-bacias do rio Vermelho e ribeirão Ribeirão Bonito, no município de Caeté, rio Preto, em Nova União, e ribeirão do Peixe, em Taquaraçu de Minas, pequenas drenagens da zona rural de Jaboticatubas e se encontra com o rio das Velhas em Taquaraçu de Baixo, distrito de Santa Luzia.

Apesar de sua proximidade com a capital, seu território apresenta características pouco urbanizadas e sua população mantém um modo de vida rural.

Figura 7 – Mapa da Bacia do rio Taquaraçu



Fonte: Projeto Manuelzão

4.2.2 Descrições do impacto de TM

A área de estudo TM apresentava duas nascentes degradadas e sem água que estavam submetidas a forte efeito erosivo devido ao uso da área com pastagem intensiva (Figura 8A). Através de um projeto desenvolvido pelo laboratório de interação microrganismo planta e recuperação de áreas degradadas, foi feita a recuperação das nascentes utilizando modelo de plantio por zoneamento após contenção do processo erosivo com enrocamento (Figura 8B). Na recuperação da nascente (Figura 8C) foram utilizadas as espécies descritas no quadro 1.

Figura 8 – Área Experimental TM: Evolução da recuperação (1ª parte)



Em A, uma das nascentes sob forte processo erosivo, em B a contenção da erosão pelo enrocamento e, em C, o início da recuperação.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 1 – Espécies plantadas em TM

Z1		Z2		Z3	
<i>Bixaceae</i>	<i>Bixa orellana</i>	<i>Bignoniaceae</i>	<i>H. avellanadea</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Anadenanthera falcata</i>
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Croton urucurana</i>		<i>H. ochraceus</i>		<i>Anadenanthera peregrina</i>
<i>Fabaceae</i>	<i>Inga edulis</i>		<i>H. impetiginosus</i>		<i>C. tomentosum</i>
	<i>Inga vera</i>		<i>Jacaranda spp</i>		<i>Dalbergia micolobium</i>
	<i>Myrocarpus frondosus</i>	<i>Ziehyria tuberculosa</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>		
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eugenia uniflora</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Anadenanthera peregrina</i>		<i>Lonchocarpus sp</i>
	<i>Psidium guajava</i>		<i>Dalbergia micolobium</i>		<i>Myrocarpus froundous</i>
	<i>Psidium rufus</i>		<i>Eriotheca pubescens</i>		<i>Mimosa bimucronata</i>
<i>Rosaceae</i>	<i>Rubus sp</i>		<i>Erythrina mulungu</i>		<i>Pelthoforum dubium</i>
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia spp</i>		<i>Machaerium nyctitans</i>		<i>Malvaceae</i>
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Rapanea ferruginea</i>		<i>Mimosa bimucronata</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Joannesia princeps</i>
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper sp</i>		<i>Piptadenia gonoacantha</i>	<i>Bombacaceae</i>	<i>Pachira aquática</i>
	<i>Piper umbellatum</i>		<i>Platymenia reticulata</i>	<i>Anacardiaceae</i>	<i>Astronium fraxinifolium</i>
			<i>Centrolobium tomentosum</i>		
			<i>Malvaceae</i>	<i>Luehea divaricata</i>	<i>Apocynaceae</i>
		<i>Polygonaceae</i>	<i>Triplaris americana</i>	<i>Bombacaceae</i>	<i>Chorisia speciosa</i>
				<i>Lythraceae</i>	<i>Lafoensia paesri</i>
				<i>Meliaceae</i>	<i>Melia azedarach</i>
				<i>Cecropiaceae</i>	<i>Cecropia sp</i>
				<i>Palmae</i>	<i>Acrocomia aculeata</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas figuras 8D a 8F está apresentada a evolução da floresta aos 4 anos de idade, e nas figuras 8G a 8I estão apresentados os registros da floresta aos 10 anos pós-plantio e a captação da água oriunda da nascente.

Figura 8 – Área Experimental TM: Evolução da recuperação (2ª parte)



Em D, E e F o estabelecimento da vegetação ao longo dos anos. Em G, a vegetação estabelecida naturalmente em Z0 e o afloramento da água, em H a floresta depois de 10 anos do plantio e, em I, a captação da água para os diversos usos.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.3 Localização da área experimental 2 (CP): Conceição do Pará

A bacia do rio Pará (Figura 9) é uma das mais importantes da bacia do Rio São Francisco, de regime tropical austral, abrangendo 38 municípios, com uma área de 234.347 km².

A principal cidade da região é Divinópolis, com mais de 200 mil habitantes, seguida de Itaúna e Pará de Minas. Quase a metade dos municípios da bacia tem uma população menor que 10 mil habitantes, dos quais apenas nove apresentam uma taxa de urbanidade inferior a 50% (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ¹).

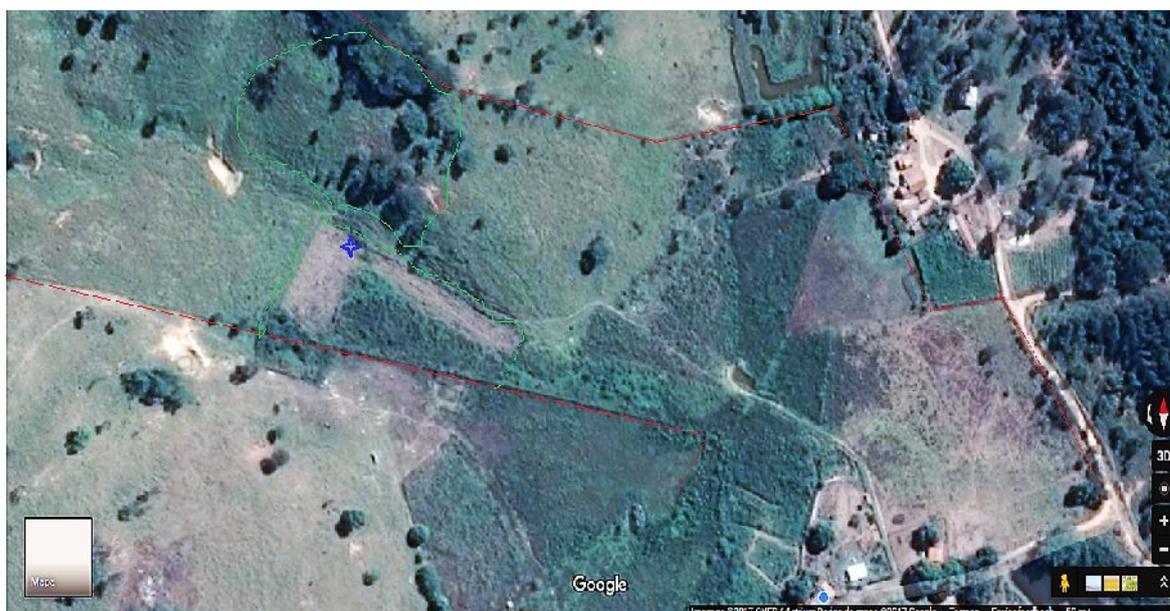
O rio Pará corta os municípios de Desterro de Entre Rios, Passa Tempo, Piracema, Carmópolis de Minas, Itaguara, Cláudio e Carmo do Cajuru, onde forma uma represa denominada Barragem do Cajuru. Logo após, corta o município de Divinópolis, São Gonçalo

¹ Disponível em: <<http://www.cbhpara.org.br/>>. Acesso em: 25 maio 2015.

argilosa, horizonte A moderado, relevo ondulado sob vegetação de cerrado e floresta subperenifólia.

O experimento foi desenvolvido em área de pastagem, composta por vegetação de *Brachiaria sp* de aproximadamente 1,5 hectare. A área (Figura 10) abrange um topo de morro, uma nascente difusa e um brejo, onde se registrou um declínio na produção de água ao longo dos últimos anos.

Figura 10 – Vista aérea da área das nascentes – CP



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/@-19.7513331,-44.834287,372m/data=!3m1!1e3!4m2!10m1!1e1?hl=pt-BR>

4.3.1 Ações de recuperação em CP

Visando à recuperação da nascente, foi feito o cercamento da área (Figura 11A) com o objetivo de impedir a entrada dos animais (bovinos e equinos) e, por conseguinte, o pisoteio e a compactação do solo. Cerca construída com quatro fios de arame liso e mourões a cada três metros, além de instalados dois balancins de aço 1,20 m x 100 3,40 mm em cada espaçamento para aumentar a eficiência na contenção dos animais. Após o cercamento, foi feita uma roçada mecanizada, com o uso de roçadeira costal a gasolina e manual usando foice. Também foi feito o controle químico das formigas através de iscas granuladas nos buracos encontrados. Esses procedimentos visaram reduzir ao máximo a vegetação invasora e a herbivoria, preparando a área para o plantio das mudas (Figuras 11B e 11C). As espécies foram selecionadas de acordo com registros de levantamento florístico da região.

Figura 11 – Início da recuperação



Em A, está a área cercada para evitar a entrada de animais, em B, a área da nascente e, em C estão a encosta e o topo de morro.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.3.2 *Seleção de espécies e produção de mudas para CP*

O sucesso da restauração das matas ripárias e das nascentes dentro da visão holística está baseado no restabelecimento dos processos ecológicos responsáveis pela reconstrução gradual da floresta e depende da presença de elevada biodiversidade de espécies nativas e regionais, envolvendo não só a presença de árvores, mas também das demais formas de vida vegetal, bem como dos diferentes grupos da fauna e suas interações com a flora.

As espécies foram selecionadas de acordo com registros de levantamento florístico da região e suas funções ecossistêmicas, sua ocorrência naquela fitofisionomia e adaptação a cada condição de umidade do solo – característica do plantio em zoneamento, proposto por Lawrence et al. (1997). O mesmo sistema usado na área controle. Para tanto, foi feita uma produção de mudas especiais para se alcançar o objetivo.

4.3.3 *Produção das mudas para recuperação da área CP*

As mudas foram produzidas em parceria com o Museu de História Natural da UFMG e a Fundação Helena Antipoff, através do projeto de extensão proposto pelos alunos da UEMG – Unidade Ibirité e sob minha orientação com os alunos do programa Escola Integrada da prefeitura de Ibirité (Figura 12).

Figura 12 – Produção de mudas na casa de vegetação UFMG e UEMG



Em A, a produção de mudas na casa de vegetação do Museu de História Natural da UFMG. Em B, as mudas produzidas no viveiro temporário da UEMG – Unidade Ibirité e, em C, os alunos de escolas municipais e os bolsistas do projeto de extensão aprovado na UEMG – Unidade Ibirité.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 2 – Espécies plantadas na CP por zoneamento

Z1		Z2		Z3	
<i>Bixaceae</i>	<i>Bixa orellana</i> (48)	<i>Bignoniaceae</i>	<i>H. heptaphyllus</i> (20)	<i>Fabaceae</i>	<i>Anadenanthera peregrina</i> (50)
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Croton urucurana</i> (19)		<i>H. ochraceus</i> (50)		<i>Centrolobium tomentosum</i> (13)
<i>Fabaceae</i>	<i>Inga edulis</i> (12)	<i>Fabaceae</i>	<i>Dalbergia micolobium</i> (45)		<i>Pterogyne mitens</i> (50)
	<i>Inga vera</i> (18)		<i>Eriotheca pubescens</i> (50)		<i>Hymenaea courbaril</i> (50)
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eugenia uniflora</i> (89)		<i>Triplaris americana</i> (45)		<i>Copaifera langsdorffii</i> (50)
	<i>Psidium guajava</i> (48)		<i>Luehea divaricata</i> (10)		<i>Piptadenia gonoacantha</i> (20)
	<i>Psidium rufus</i> (50)		<i>Samanea tubulosa</i> (50)	<i>Malvaceae</i>	<i>Basiloxylon brasiliensis</i> (50)
<i>Rosaceae</i>	<i>Rubus sp</i> (103)		<i>Frythirina mulungu</i> (50)	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Joannesia princeps</i> (1)
<i>Melastomataceae</i>	<i>Prunus domestica</i> (42)	<i>Platymenia foliolosa</i> (45)	<i>Bombacaceae</i>	<i>Pachira aquatica</i> (28)	
		<i>Centrolobium tomentosum</i> (13)			

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em Z1 foram selecionadas nove espécies diferentes distribuídas em seis famílias botânicas; em Z2 foram plantadas dez espécies distribuídas em duas famílias botânicas e Z3 escolhemos nove espécies distribuídas em seis famílias botânicas.

4.3.4 Delineamento experimental do plantio na CP

A área foi dividida em três blocos em torno do ponto de afloramento da nascente principal. O delineamento foi de blocos ao acaso (3) com três parcelas/bloco/zona x 4 zonas (Z0 :10 m, Z1 :14 m, Z2 :13 m, Z3 :10 m), dividido em três parcelas de onde foram coletadas amostras de solo e realizadas medições do percentual de umidade superficial do solo.

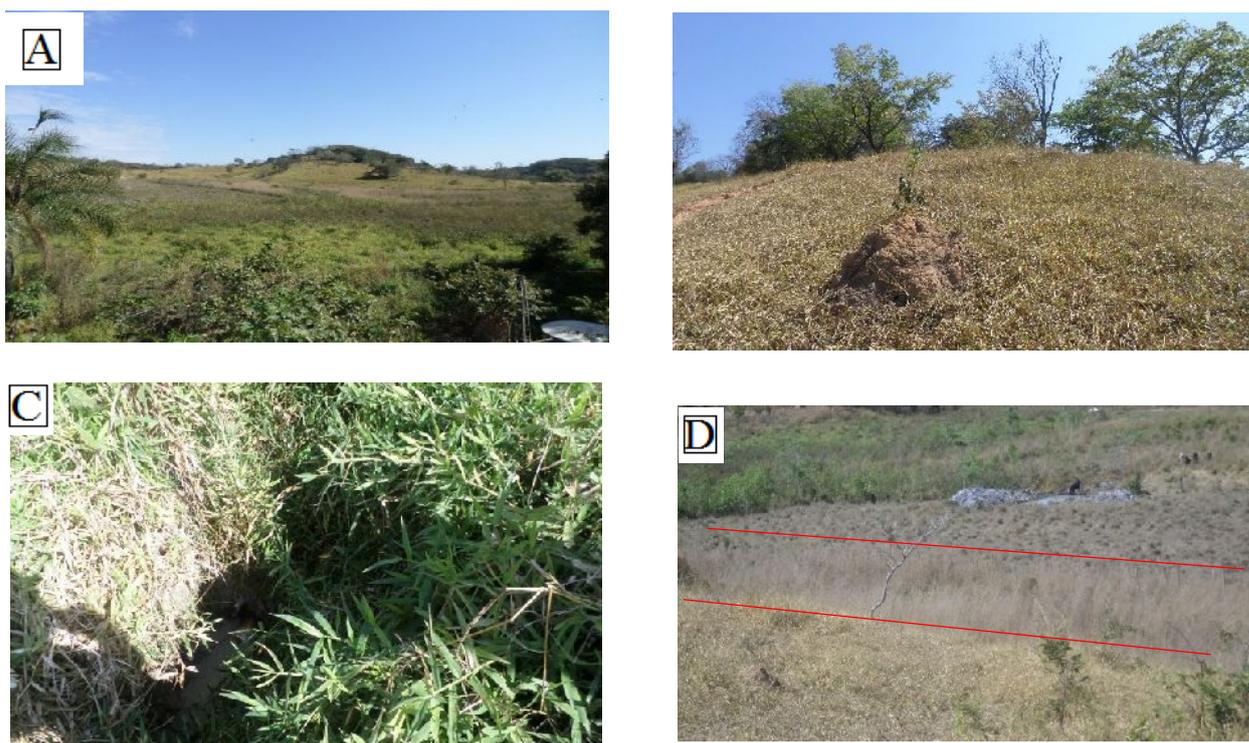
Assim, o delineamento experimental foi 2 blocos x 4 zonas/ bloco x 3 parcelas / zona / blocos ou 9 repetições / zona ou 36 amostras/ bloco.

- Bloco 1 – Lateral: 80 m x 37 m – 2960 m² – 0,3 ha – 450 mudas
- Bloco 2 – Cabeceira: 100 m x 35 m – 3500 m² – 0,35 ha – 525 mudas

4.3.5 Registro fotográfico das ações implementadas em CP pré-plantio e plantio

Pré-plantio: Após a demarcação do local de abertura das covas, obedecendo a um espaçamento de 3m x 2m, foi feita a remoção da vegetação invasora em um raio de 50 cm em torno de cada cova. As covas abertas tinham cerca de 20 cm de diâmetro e 30 cm de profundidade. No fundo de cada cova foram colocados esterco de boi e folhas secas (Fig.14).

Figura 13 – Visão geral CP – Pré-plantio



Em A, a visão geral da microbacia toda coberta por pastagem, em B o topo de morro sem vegetação arbórea. Em C a nascente seca e, em D, o limite da área de afloramento da nascente.

Fonte: Dados da pesquisa

Durante o plantio

As mudas foram levadas da casa de vegetação de da UEMG para a fazenda em caminhão baú para que não sofressem danos com o vento durante a viagem de 100 km. Na fazenda, elas ficaram expostas ao sol e recebiam irrigação duas vezes ao dia, sendo uma vez pela manhã e outra no fim da tarde. O transporte das mudas até o local de plantio, foi feito com carrinho de mão devido ao difícil acesso.

Figura 14 – Plantio das espécies arbóreas



Em A o local de armazenamento das mudas e o carrinho de mão usado no transporte das mudas até o local de plantio. Em B, o plantio e em C uma muda plantada.

Fonte: Dados da pesquisa.

Após o plantio

As mudas plantadas foram monitoradas mensalmente e, aos seis meses de plantio, foi feita uma capina e um novo coroamento para garantir a sobrevivência e o sucesso no estabelecimento das mudas (Figura 15).

Figura 15 – Pós-plantio



Em A, a vegetação invasora cresceu logo após o período chuvoso, fazendo necessários uma nova capina e o coroamento das mudas. Em B, C e D a marcação das mudas a serem coroadas.

Fonte: Dados da pesquisa

4.4 Estudo dos indicadores de degradação da nascente na CP

A avaliação da qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa devido à grande quantidade de definições de um solo com qualidade para determinado uso, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço, por isso, os critérios são funcionais.

Parâmetros analisados:

- Teor de umidade do solo – verão e inverno;
- Conteúdo de água no solo: Peso fresco/Peso seco x 100;
- Vazão da água;
- Fertilidade físico-química do solo pós-plantio;
- Porosidade total, microporosidade, macroporosidade;
- Densidade do pós-plantio.

4.4.1 Análise física em amostras indeformadas de solo

Nos locais estudados (TM e CP) foram coletadas três amostras indeformadas, com anel de Kopecky ou anel volumétrico com capacidade de 50 cm³, nas quatro zonas determinadas anteriormente (Zona 0, Zona 1, Zona 2 e Zona 3) de cada área de estudo e enviadas para análise dos atributos físicos, segundo o manual de métodos de análises de solo da Embrapa (1997). As amostras analisadas foram coletadas após o cercamento, a roçada e o primeiro plantio no mês julho de 2015.

A. Densidade aparente

As amostras de solo foram coletadas com estrutura indeformada através de anel de aço de bordas cortantes e volume interno de 50 cm³, de acordo com o manual de análises de solo da Embrapa (1997).

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = a/v$$

Onde **a** é o peso da amostra seca (g) a 105°C e **v**, o volume do anel volumétrico (cm³).

B. Porosidade total

Foram utilizadas as mesmas amostras indeformadas usadas na determinação da densidade aparente para determinar a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade do solo (MARCOS, 1980).

A porosidade total determina o volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar. O cálculo é feito seguindo a equação abaixo e expressa em cm^3/cm^3

$$\text{Porosidade total} = 100 (D_r - D_a) / a$$

Onde **D_r** representa a densidade real e **D_a**, a densidade aparente.

C. Microporosidade

As amostras indeformadas e saturadas foram analisadas em laboratório utilizando-se o método da mesa de tensão, de acordo com o manual de análise de solos Embrapa (1997). O cálculo é feito segundo a equação:

$$\text{Microporosidade} = (a - b) / v$$

Onde **a** representa o peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água (g); **b** representa o peso da amostra seca a 105°C e **v**, o volume do anel.

D. Macroporosidade

Esse atributo determina o volume de solo que corresponde aos poros com diâmetro > 0,05 mm e dado pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade em $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$ (EMBRAPA, 1997).

$$\text{Macroporosidade} = \text{Porosidade total} - \text{microporosidade}$$

4.5 Análises em amostra deformada de solo

Nos locais estudados (TM e CP) foram coletadas três amostras deformadas para análise dos atributos químicos, nas quatro zonas determinadas anteriormente (Z0, Z1, Z2 e Z3) de cada área de estudo. As amostras foram coletadas em embalagens impermeáveis, seladas com nó e fita adesiva a fim de evitar perdas de água por evaporação. No laboratório ocorreu a pesagem de uma massa úmida conhecida e, em seguida, o material foi colocado

para secar em estufa a 105°C, até o peso constante. O material então foi novamente pesado, obtendo-se a massa seca. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com Embrapa (1997).

A. Conteúdo de água no solo

A.1 *Umidade total*

É definida como a massa da água contida em uma amostra de solo dividido pela massa de solo seco, multiplicada por 100 e expressa em porcentagem. Para determinação do peso seco e da massa de água, o método tradicional é a secagem em estufa, na qual a amostra é mantida com temperatura entre 105°C e 110°C, até que apresente peso constante, o que significa que ela perdeu a sua água por evaporação. O peso da água é determinado pela equação:

$$\text{Umidade total (gravimétrica)} = 100 (a - b) / b$$

Onde a representa o peso da amostra úmida (g) e b, o peso da amostra seca (g).

A.2 *Umidade volumétrica*

É a mesma umidade que se obtém na avaliação com amostras indeformadas, retiradas com anéis de volume conhecido. A umidade volumétrica pode ser relacionada com a umidade gravimétrica. Para tanto, é necessário se conhecer a densidade do solo, já que a umidade gravimétrica diz respeito à porcentagem do peso da amostra correspondente à água.

Pode-se utilizar a seguinte fórmula para estabelecer-se uma relação:

- **Umidade gravimétrica**

$$U_g = \frac{\text{(massa de água (g))}}{\text{(massa de solo (g))}} \times 100$$

- **Umidade volumétrica**

$$U_v = (U_g \times D_s) \times 100$$

Onde D_s é a densidade do solo (g/cm^3), U_g , a umidade gravimétrica (%) e U_v , a umidade volumétrica (%).

Considera-se nas fórmulas citadas acima a densidade da água como sendo 1g/cm^3 .

B. Água superficial no solo

A medição da umidade superficial do solo foi feita utilizando um sensor de umidade por este ser um método de medição instantânea e confiável. O aparelho utilizado foi Medidor de Umidade do Solo analógico portátil, usado em vários tipos de solo, com um único ajuste de calibração, sensor capacitivo, sonda de medição em aço inox com ponta de penetração, comprimento de 600 mm, resultado instantâneo, faixa de medição de 0 (seco) a 10 (saturado), modelo MUS60-TR, marca Tracom.

4.6 Análise textural / Granulometria

Baseia-se na sedimentação das partículas que compõem o solo. Após a adição de um dispersante químico, fixa-se um tempo único para a determinação da densidade da suspensão que admite-se ser a concentração total de argila. As frações grosseiras (areias fina e grossa) são separadas por tamisação e pesadas. O silte é obtido por diferença (EMBRAPA, 1979).

4.6.1 Análises químicas

Foram coletadas três amostras de cada área nas quatro zonas (0, 1, 2 e 3) com uma cavadeira articulada (boca de lobo), abertura da boca de 16,5 cm e pás com 40 cm de comprimento na camada de 0 - 20 cm. Cada amostra foi composta por uma mistura de três sub-amostras colhidas em cada bloco/zona. As amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas impermeáveis, transportadas para o laboratório de recuperação de áreas degradadas ICB/UFMG, onde foram pesadas e separadas para serem enviadas para análise.

Os atributos químicos avaliados foram os teores dos principais minerais (Fósforo, Potássio, Magnésio, Cálcio, Alumínio) e a capacidade de troca de cátions a pH 7 e a saturação por bases. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com Embrapa (1997).

4.6.2 Volume de vazão

As vazões foram quantificadas a partir da coleta de água em recipiente com escala milimétrica e cronômetro e expressas em ml/s (Tabela 1).

Tabela 1– Vazão da nascente nas áreas de estudo no tempo inicial e pós-plantio. TM aos 12 meses e 10 anos pós-plantio e CP 12 meses pós-plantio inverno e verão.

	T0	T 12 meses	T inverno	T verão
ES1	0 ml/s	2,4 ml/s	66,66 ml/s	555 ml/s
ES2	0,081 ml/s	0,111 ml/s	0,111 ml/s	46,55 ml/s

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vegetação distribuída em zonas (Quadros 1 e 2) nas áreas TM e CP visa restaurar a ascensão capilar da água através do sistema de evapotranspiração via sistema radicular (RICHARDS; CALDWELL, 1987), assim como o favorecimento do aporte de Matéria Orgânica (MO), especialmente nas zonas 2 e 3, através da incorporação de biomassa ao solo (LOWRANCE et al., 1997; SCHULTZ et al., 2004; WELSCH, 1991).

Algumas das principais funções da mata ripária são a manutenção e a preservação do lençol freático, que permitem o afloramento da água (RICHARDS; CALDWELL, 1987). Assim, o estabelecimento de uma vegetação freatófita adequada com uma arquitetura radicular que permita o *continuum* do lençol freático (aquífero) com a superfície do solo é quesito para a recuperação de uma nascente. Sob esse ponto de vista, as plantas apresentadas nos quadros 1 e 2 foram selecionadas para atenderem a esse critério através das zonas 1, 2 e 3. Assim, na zona 1, as plantas apresentam um porte menor com sistema radicular menos profundo. Diferentemente, nas zonas 2 e 3, o sistema radicular das espécies selecionadas se caracteriza por apresentar raízes pivotantes mais profundas e abundância na produção de raízes laterais (HOGAN et al., 2002). A zona 2, especialmente, foi contemplada com espécies da família *Fabaceae* por estas apresentarem as características de crescimento rápido e abundante produção de biomassa radicular e biomassa aérea, assim como números de raízes laterais e raízes mais longas (REYNOLDS; D'ANTONIO, 1996).

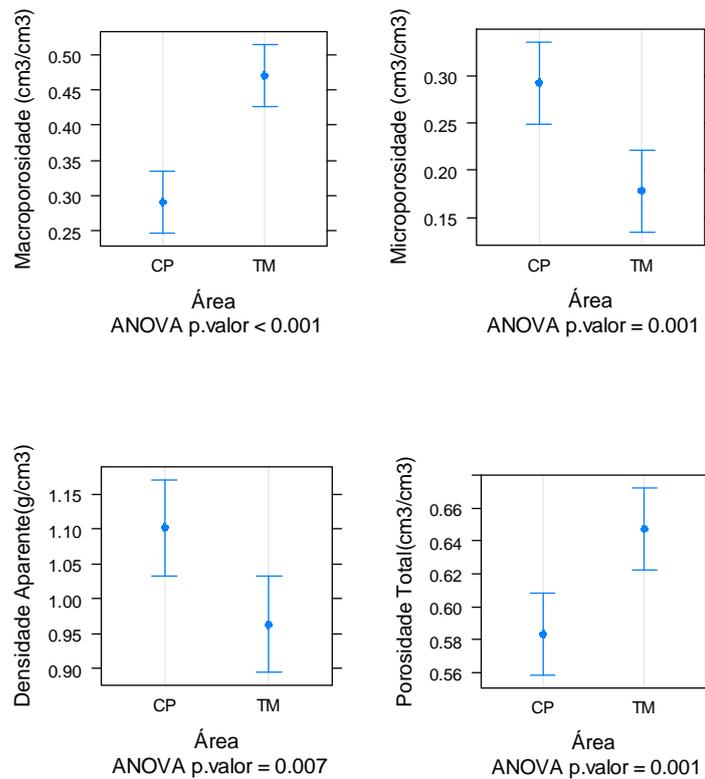
O efeito dessa vegetação na recuperação da área ES1 resultou no serviço ambiental denominado disponibilidade de água da nascente, estimada pela sua vazão (Tabela 1) após 10 anos de sua recuperação. Similarmente, o aumento da vazão na área CP após 12 meses do plantio (inverno e verão) evidencia a recuperação dessa área. Portanto, a degradação da área de estudo (CP) encontrada no tempo inicial (T0) está relacionada com a retirada da vegetação nativa aliada ao uso inadequado do solo com pastagens.

O índice de sobrevivência das plantas nas duas áreas (TM e CP) foi estimado em 85% a 90% (dados não mostrados). Na TM há evidências de um processo de sucessão com adensamento da floresta (Figura 7D). Na jovem floresta de CP ainda não se pode registrar a sucessão, mas o elevado índice de sobrevivência indica um prognóstico favorável para recuperação.

As amostras oriundas do solo indeformado retratam a condição exata do solo no momento da coleta. Analisando os parâmetros do solo relacionados com a dinâmica da água, observa-se que a área CP (solo indeformado) apresenta os mais baixos índices de porosidade

total e macroporosidade (Figura 16), assim como água gravitacional, conteúdo de água do solo e umidade total (Figura 17) em relação à TM. Isso indica que no solo indeformado de ES2 a água não se distribuiu adequadamente ao longo dos poros comprometendo a infiltração, resultando em níveis deficitários de infiltração da água gravitacional nos macroporos.

Figura 16 – Análise de macroporosidade, microporosidade e porosidade total estimada pela ANOVA. Intervalo de 95% de confiança para as médias das respectivas variáveis nas áreas TM e CP

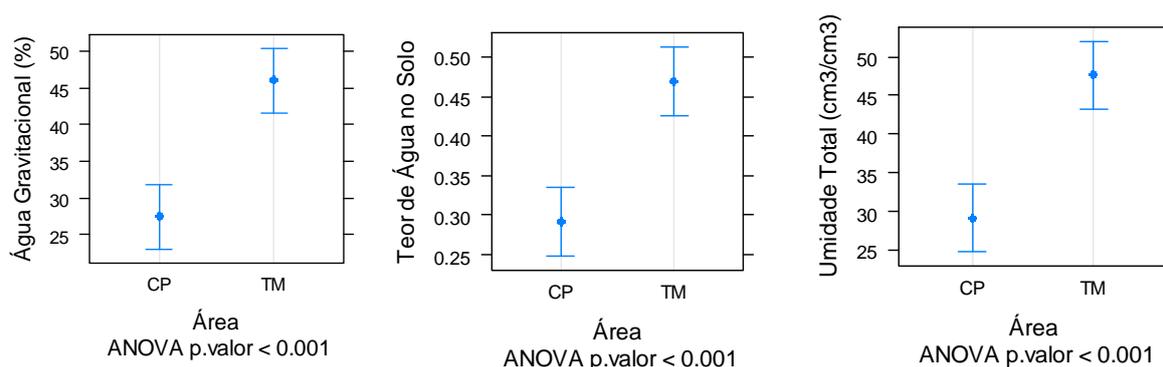


Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa baixa distribuição da água no solo da área CP está relacionada com a deficiência de macroporos e o elevado índice de microporos, o que favoreceu o aumento da densidade do solo (Figura 16), especialmente quando comparados com os resultados de TM, confirmando a drenagem deficitária do solo CP.

Este diagnóstico conduz à necessidade de melhorar os índices de macroporos através do plantio de espécies lenhosas com um sistema radicular profundo capaz de não só promover o *continuum* da água no solo, mas também de aumentar a porosidade do solo.

Figura 17 – Análise de densidade aparente (BulkD), água gravitacional (GravWat), água no solo (SoilWatPor) e umidade total (TotMoi), estimada pela ANOVA. Intervalo de 95% de confiança para as médias das respectivas variáveis nas áreas TM e CP



Fonte: Elaborado pelo autor.

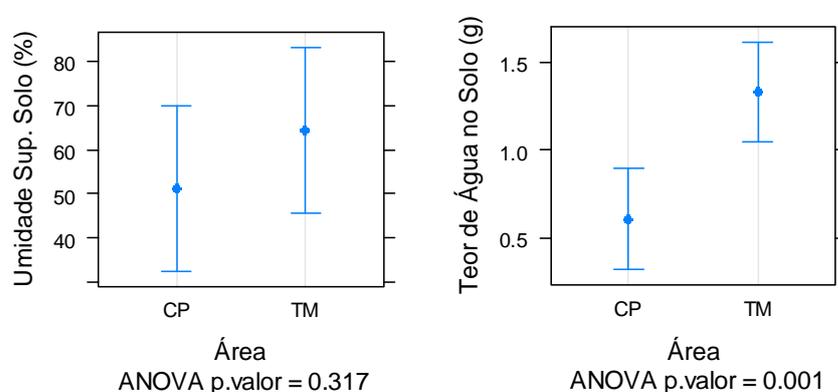
O conteúdo de MO do solo é fator essencial para a recuperação de uma nascente, pois é determinante para assegurar a formação de poros através da agregação do solo (BRONICK; LAL, 2005; KIMURA; SCOTTI, 2016; TIVET et al., 2013) resultante da incorporação ao solo de biomassa vegetal lignificada e formação de ácido húmico que estabelecem ligações com a argila (KIMURA; SCOTTI, 2016; LOWRANCE, 1997; NAIMAN; DECAMPS, 1997; SHERIDAN et al., 1999; SHULTZ et al., 2004; WELSCH, 1991).

A compactação do solo em CP confirmada pela alta densidade e pela elevada microporosidade (Figura 16) constitui impedimento mecânico para o crescimento de raízes e pode ser usada como indicadora de degradação da estrutura do solo. Em particular, a formação de agregados promovida pelo aporte de MO e, conseqüente, formação de ácidos húmicos poderiam modificar a quantidade e o tamanho dos poros (macro e microporosidade), garantindo a aeração e a drenagem do solo (STEVENSON, 1994).

Em relação aos resultados oriundos da amostra deformada (Figura 16), também o conteúdo de água do solo foi significativamente menor em CP, mas a umidade superficial foi similar em ambas as áreas, o que fala a favor do comprometimento da drenagem em CP prejudicando a percolação da água em profundidade. Esse excesso de microporosidade pode estar correlacionado com o baixo conteúdo de matéria orgânica da área. Realmente, a CP

apresenta uma menor fertilidade em relação à TM, estimada pelo conteúdo de MO, e saturação de bases (Tabela 2). A área CP apresentou também deficiência significativa de nutrientes (P, Ca, Mg e K), acompanhada por baixa CTC e baixa saturação de bases (Tabela 2). Considerando que o conteúdo de argila (Tabela 2) foi similar entre as áreas, o déficit nutricional da área CP pode ser atribuído ao baixo conteúdo de matéria orgânica desses solos. Da mesma forma, a elevada fertilidade do solo encontrada em TM pode ser atribuída à matéria orgânica proveniente do *litter* da vegetação estabelecida.

Figura 18 – Análise de água superficial (SufMoi) e teor de água no solo (SoilWatg), estimada pela ANOVA. Intervalo de 95% de confiança para as médias das respectivas variáveis nas áreas TM e CP



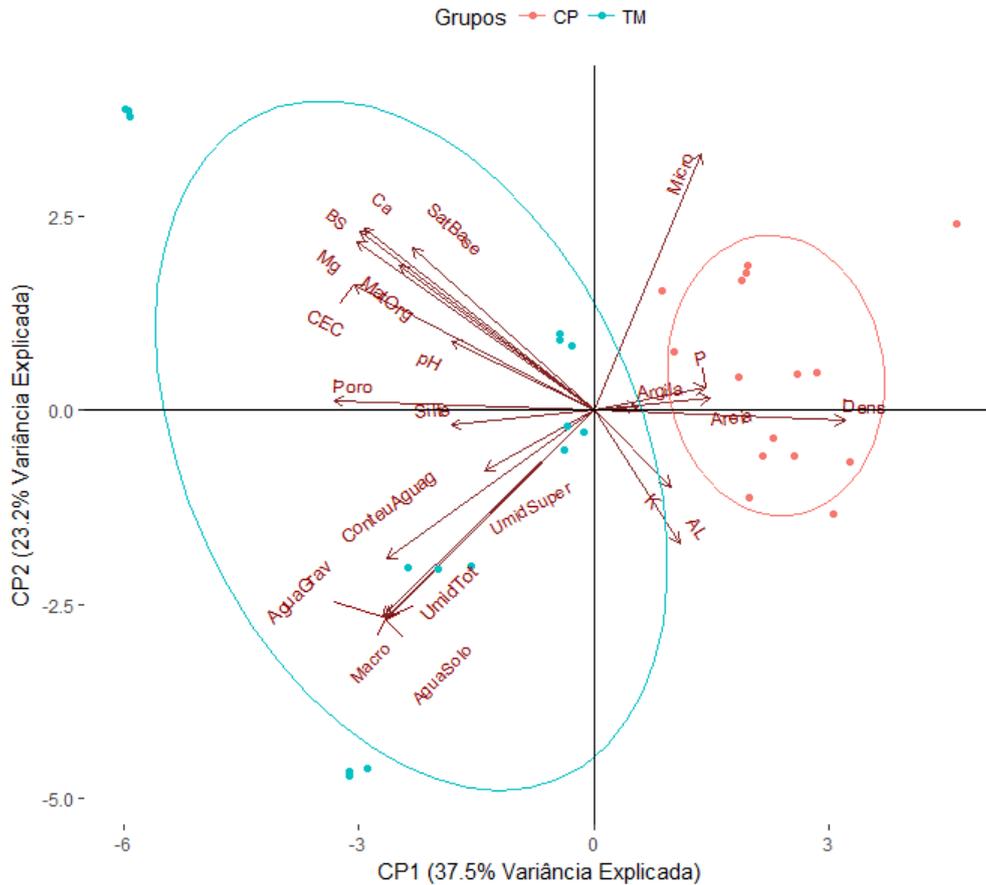
Fonte: Elaborado pelo autor.

O equilíbrio entre macro e microporos de um solo é condição para que aeração e drenagem ocorram (EYNARD et al., 2004; KIMURA; SCOTTI, 2016; SIX et al., 2000; TIVET et al., 2013). Essas características do solo são imutáveis, pois dependem de sua composição textural. Porém, esses atributos podem ser melhorados através de técnicas adequadas de recuperação de áreas degradadas. Através da incorporação ao solo de uma matéria orgânica qualitativa e quantitativamente adequada, é possível modificar o índice de agregação do solo e equilibrar sua porosidade contribuindo para aumentar a macroporosidade de um solo compactado e resultando em melhoria da drenagem, como na área TM.

Os resultados da análise de PCA (Figura 19) mostram que os parâmetros analisados explicam 84,22% dos resultados relacionados com a efetividade da nascente, sendo que PC1 (porosidade, macroporosidade, silte, argila, densidade do solo, água gravitacional, conteúdo de água do solo, umidade do solo total, umidade superficial do solo, conteúdo de água do

solo) explica 37,5% da variância e PC 2 (Matéria Orgânica, CEC, soma de bases, pH, cálcio e microporosidade) explica 23,2% dos resultados.

Figura 19 – PCA 1 Análise de componentes principais (PCA 2) e gráfico de dispersão com base na média das variáveis estudadas de TM e CP. Poro: Porosidade total, Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, Umi: umidade total, AguaGrav: água gravitacional, ConteAgua: conteúdo de água no solo, Umidsuper: Umidade superficial, BS: soma de bases, CEC: capacidade de troca catiônica.



Fonte: Dados da pesquisa

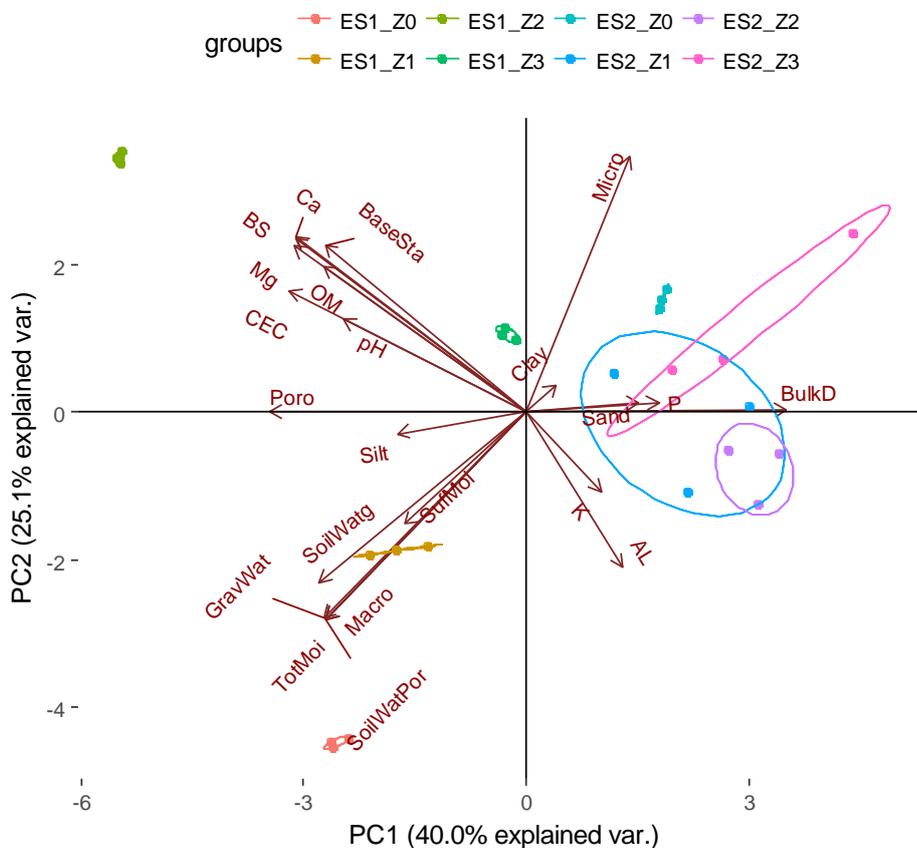
Os resultados do PCA mostram que os principais parâmetros relacionados com o conteúdo de água na área TM foram relacionados com água gravitacional, umidade total, conteúdo de água do solo e macroporosidade, constituindo os indicadores da efetividade da nascente. Na área CP, a deficiência em matéria orgânica e o excesso de microporos constituem os principais indicadores da deficiente disponibilidade de água (Figura 19).

Dessa forma, podemos considerar a matéria orgânica do solo e a micro e a macroporosidade como parâmetros determinantes para a drenagem da água da nascente TM, os quais estão limitantes na área CP conduzindo ao impacto da não insurgência da água.

Quando foram comparadas as áreas de estudo sob os efeitos das zonas tampão, as amostras TM Z0 e Z1 se agruparam sob a influência de todos os parâmetros relacionadas com a água solo (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, água gravitacional, silte, argila, densidade do solo, conteúdo de água do solo, umidade do solo total, umidade superficial do solo). Entretanto, as amostras TM Z2 e Z3 estão sob influência dos parâmetros de fertilidade e da MO. As amostras da área degradada DS1 e DS2 foram influenciadas por todos os parâmetros. As amostras de solo de CP Z0 foram especialmente afetadas pela microporosidade. As amostras TM Z1, Z2 e Z3 responderam mais fortemente à influência da densidade e da infertilidade relacionada com Al, P e K do solo (Figura 20).

Dessa forma, a microporosidade na Z0 confirma o impacto sobre a vazão dessa nascente.

Figura 20 – Análise de componentes principais (PCA 2) e gráfico de dispersão com base na média das variáveis estudadas em cada zona de TM (ES1) e CP (ES2). Poro: Porosidade total, Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, Umi: umidade total, AguaGrav: água gravitacional, ConteAgua: conteúdo de água no solo, Umidsuper: Umidade superficial, BS: soma de bases, CEC: capacidade de troca catiônica.



Fonte: Dados da pesquisa

6 CONCLUSÃO

O principal indicador de estresse de qualidade ambiental relacionado com a água no solo foi a grande microporosidade decorrente da falta da vegetação produtora de biomassa, leia-se matéria orgânica húmica. A microporosidade da CP resultou no comprometimento da drenagem e prejudicou a infiltração das águas da chuva e a insurgência da água do aquífero.

As espécies selecionadas para plantio em cada zona tampão em Taquaraçu de Minas se mostraram adequadas para o restabelecimento dos atributos do solo relacionados à dinâmica da água no solo, sendo que nas zonas Z0 e Z1, mais próximas do lençol freático, as espécies plantadas desempenharam um papel fundamental na recuperação dos serviços ecossistêmicos de equilíbrio entre macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade aparente, água gravitacional, conteúdo de água do solo, umidade total e umidade superficial do solo. Tudo isso garantiu o afloramento da água e seu escoamento superficial. Nas zonas Z2 e Z3, cujas funções são infiltração e percolação da água, as espécies plantadas favoreceram as características: fertilidade e matéria orgânica.

O plantio em zoneamento com espécies adequadas se define como estratégia indicada para recuperar os serviços ecossistêmicos de ressurgência e funcionalidade da nascente, como verificado em TM. Com base nos parâmetros estudados, podemos concluir que a restauração em Conceição do Pará (CP) parece estar evoluindo em direção à nascente recuperada TM e o processo de recuperação atingiu uma fase intermediária.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Notas sobre a geomorfologia do Jaraguá e vizinhanças**. Boletim da Faculdade de Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. p. 30-43. 232p.
- AN., S.; MENTLER; A., MAYER, H.; BLUM, W.E.H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau China. **Catena**, v. 81, p. 226-233, 2010.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 5, n. 6, p. 125-34, 1999.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; ROCHA, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, mar./abr., 2003.
- BARRELA, W.; PETRERE Jr., M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R. LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, FAPESP, 2001. p. 187-207.
- BARTHÈS B.; ROOSE E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. **Catena**, v. 47, p. 133-149, 2002.
- BRADY, N. C. **Elements of the nature and properties of soils**. 3. ed. Pearson, 2009.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002. BRASIL. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 16 maio 2015.
- BURGESS et al.; ADAMS, M.A.; TURNER, N. C.; WHITE, D. A.; ONG, C. K. Tree roots: conduits for deep recharge of soil water. *Oecologia*, v. 126, p. 58-165, 2001.
- CALDWELL, M. M. Plant root systems and competition. In: GREUTER, W.; ZIMMER, B. (Ed.) **Proceedings of the XIV international botanical congress**. Koeltz, Königstein/Taunus, 1988. p. 385-404.
- CALHEIROS et al. **Preservação e Recuperação das Nascentes**. Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios, 2004. XII40 p.
- CARDOSO, C. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan. Nova Friburgo, RJ – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, n. 387, p. 253-260. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.
- DAILY, G. C. (Ed.). **Nature's services**. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. 1997. 392 p.

DAVID, T.S.; PINTO, C. A.; NADEZHDINA, N.; BESSON, C.K; HENRIQUES, M.O.; QUILHÓ, T.; CERMAK, J.; PEREIRA, J.S.; CHAVES, M.M.; DAVID, J.S. Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution. In: _____. **Quercus suber trees: A modeling approach based on root sap flow**. Forest Ecology and Management, 2013.

DAVIS, S.N.; DEWIEST, R.J.M. **Hydrogeology**. John Wiley & Sons, 1966. 463 p.

DE GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, n. 41, p. 393-408, 2002.

DUBE´, S.; PLAMONDON, A. P.; ROTHWELL, R. L. Watering up after clear-cutting on forested wetlands of the St. Lawrence lowland. **Water Resources Research**, v. 31, n. 7, p.1741-1750, 1995.

EDWARDS, A.P.; BREMNER J.M. Dispersion of soil particles by sonic vibration. **Journals in Soil Science**, n. 18, p. 47-63, 1967.

EITEN, G. **Delimitação do conceito de Cerrado**. Arquivos do Jardim Botânico: Rio de Janeiro, n. 21, p. 125-134, 1977.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212 p. Documentos, 1.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Assessoria de Comunicação Social. Cerrado brasileiro é exemplo de produção agrícola tropical. **Jornal da Ciência**, n. 3061, 19 de julho de 2007. Disponível em: <<http://www.jornaldaciencia.org.br/Detahe.jsp?id=39256>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

EYNARD A.; SCHUMACHER T.E.; LINDSTROM, M.J.; MALO, D.D. Porosity and pore-size distribution in cultivated Ustolls and Usterts. **Soil Science Society of American Journal**, cidade, n. 68, p. 1927-1934, 2004.

FRITZSONS, E. **Avaliação temporal da qualidade de água como diagnóstico do uso e ocupação das terras na bacia do Alto Capivari, região cárstica curitibana, PR**. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GHOLAMI, V.; KHALEGHI, M.R. The impact of vegetation on the bank erosion (Case study: the Haraz river). **Soil Water Res.**, v. 8, p. 158-164. 2013.

GUPTA, V.V.S.R.; GERMIDA, J.J. Soil aggregation: influence on microbialbiomass and implications for biological processes. **Soil Biol, Biochem**, n. 80, p. A3–A9, 2015.

HARTMAN, D. M. **Global Physical Climatology**. New York. Department of Atmosphere Sciences, University Washington. 408 p.1994.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. C.; CARMO, R. L. Uso do solo e mudança de sua cobertura no Centro-Oeste do Brasil: consequências demográficas, sociais e ambientais. In: HOGAN, D. J.; HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. (Org.). **Migração e ambiente no Centro-Oeste**. Campinas, NEPO/UNICAMP: PRONEX, 2002. p. 149-174.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Copam. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/noticias/1/2235-sisema-divulga-acoes-de-controle-e-fiscalizacao-realizadas-em-2016%20Acesso%20em%2016/05/17>>. Acesso em: 16 maio 2017.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 499–509.

KIMURA, A.C.; SCOTTI, M.R. Soil aggregation and arbuscular mycorrhizal fungias indicators of slope rehabilitation in the São Francisco river basin (Brazil). **SoilWater Res.**, 2016.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, jul./2005, p. 148-155, 2005.

KRESIC, N. **Hydrogeology and Groundwater Modelling**. 2nd. ed. RC Press (Taylor and Francis Group), 2007. 807 p.

KREUTZWEISER, D. P.; CAPELL, S. S. Fine sediment deposition in streams after selective forest harvesting without riparian buffers. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 12, p. 2134-2142, 2001.

KUGLEROVA, L. et al. Groundwater discharge creates hotspots of riparian plant species richness in a boreal forest stream network. **Ecology**, n. 95, n. 3, p. 715-725, 2014.

LOWRANCE, R. et al. Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. **Environmental Management**, v. 21, n. 5, p. 687-712, 1997.

MARCOS, Z.Z. **Física de solo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, 1980. 41 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 1999. Agenda 21 Brasileira – Agricultura sustentável – Produto 3 / Versão final. Museu Emílio Goeldi / USP-PROCAM / ATECH. Disponível em: <www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/curso/docfinal.rtf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biomas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 16 maio 2017.

NAIMAN, R.J.; ANDERSON, E.C. Streams and rivers: their physical and biological variability. In: SCHOONMAKER, P.K.; VON HAGEN, B.; WOLF, E.C. (Ed). **The Rain Forests of Home: Profile of a North American Bioregion**. Washington (DC): Island Press, 1997.

NAUMBURG, E.; MATA-GONZALEZ, R.; HUNTER, R.G.; MCLENDON, T.; MARTIN, D.W. Phreatophytic vegetation and groundwater fluctuations: a review of current research and

application of ecosystem response modeling with an emphasis on Great Basin Vegetation. **Environmental Management**, v. 35, p. 726-740, 2005.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. **Impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do cerrado**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2002. 50 p.

PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. **Soil Science Society of American Journal**, n. 58, p. 950-955, 1994.

PINEDA, M.D.; SCHAFER, A. Adequação de critérios e métodos de avaliação da qualidade de águas superficiais baseada no estudo ecológico do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ciência e Cultura**, n. 39, v. 2, p. 198-206.

PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R. de; PRIMAVESI, A.C.; OLIVEIRA, H.T. de. Water quality of Canchim's creek watershed in São Paulo, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 2, p.209-17, 2002.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. **Fundamentos ecológicos para o manejo efetivo do ambiente rural nos trópicos: educação ambiental e produtividade com qualidade**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003.

QUIA, Z; DOSSKEY, M.G. Multiple function benefit: Cost comparison of conservation buffer placement strategies. **Landscape and Urban Planning**, v. 107, n. 2, p. 89-99, 2012.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

RESOLUÇÃO CONAMA. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Artigo 302, de 20 de março de 2002. Diário Oficial da União. Seção 1, p. 67-68.

REYNOLDS, H.L.; D'ANTONIO, C. The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen: opinion. **Plant and Soil**, n. 185, p. 75-97, 1996.

RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; DA SILVA, J.A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. p. 124-133. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32. **Anais...** Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Brasil, 1981.

RICHARDS, J.H; CALDWELL, M.M. Hydraulic lift: substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. **Oecologia**, n. 73, p. 486-489, 1987.

RIEKERK, H.; NEARY, D.G.; SWANK, W.T. The magnitude of upland silvicultural nonpoint source pollution in the South. In: **The Forested wetlands of the southern United States**. Symposium Proceedings. US Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Atlanta, GA, USA, 1989. p. 8-18.

SHIKI, S. Sistema agroalimentar no Cerrado brasileiro: caminhando para o caos? In: SILVA, J. G.; SHIKI, S.; ORTEGA, A. C. (Org.) **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado brasileiro**. Uberlândia, UFU, 372 p. 1997.

SHULTZ et al.; ISENHART, T.M.; SIMPKINS, W.W.; COLLETTI, J.P. Riparian forest buffers in agroecosystems—lessons learned from the Bear Creek Watershed, central Iowa, USA. **Agroforestry Systems**, New York, v. 61, n. 1-3. p. 35-50, 2004.

SILVA, E.M.; DA LIMA, J.E.F.W; RODRIGUES, L.N; AZEVEDO, J.A. de. Comparison of mathematical models for fitting particle-size distribution curves. **Pesq. agropec. Bras**, Brasília, v. 39, n. 4, apr./2004.

ŠIMANSKÝ, V.; BAJ AN, D. Stability of soil aggregates and their ability of carbon sequestration. **Soil and Water Research**, v. 9, p. 111–118, 2014.

SIX, J. et al. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 681-689, 2000.

SMITH, S.D.; DEVITT, D.A. Sala A, Cleverly JR, Busch DE. Water relations of riparian plants from warm desert regions. **Wetlands**, n. 18, p. 687–696, 1998.

SOUZA, A.D.G. de; TUNDISI, J.G. Hidrogeochemical comparative study of the Jaú and Jacaré-Guaçu river watersheds, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 4, p. 563-70, 2000.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

TAO, Z.Y.; ZHANG, J.; ZHAI, J.J. Characterization and differentiation of humic acids and fulvic acids in soils from various regions of China by nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Anal. Chim. Acta**, n. 395, p. 199–203, 1999.

TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BORSZOWSKI, P.R.; SANTOS, S.J.B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D.C.; NADOLNY Junior, M.S.; SEGUY, L. **Aggregate C depletion by lowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in subtropical and tropical regions of Brazil**. Soil Tillage, 2013.

TRISKA, F.J.; DUFF, J.H.; AVANZINO, R.J. Patterns of hydrological exchange and nutrient transformation in the hyporheic zone of a gravel-bottom stream: examining terrestrial aquatic linkages. **Freshwater Biology**, n. 29, p. 259-274, 1993.

TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L.F. Infiltração e armazenamento no solo: In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2. ed. Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, 2000. p. 335-372.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. R.; LIMA, J. C. C. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VIDON, P. et al. **Hot spots and hot moments in riparian zones: Potential for improved water quality management**, 2010.

VISSMAN Jr., W.; HARBAUGH, T. E.; KNAPP, J. W. **Introduction to hydrology**. New York: Intext Educational, 1972.

WEIGAND Jr, R.; DA SILVA, D. C.; OLIVEIRA E SILVA, D. **Metas de Aichi**: Situação atual no Brasil. Brasília, DF: UICN, WWF-Brasi e IPÊ, 2011.

WEISSTEINER, C.J.; BOURAOUI, F.; ALOE, A. Reduction of nitrogen and phosphorus loads to European rivers by riparian buffer zones. **Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems**, v. 408, n. 8, p. 1-15, 2013.

WELSCH, D. J. **Riparian forest buffers**: function and design for protection and enhancement of water resources. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area, State & Private Forestry, Forest Resources Management, 1991.

ANEXO

Tabela 2 – Análises físico-químicas do solo e comparação entre as duas áreas CP e TM

Variáveis	Médias	Comparação p
Sand (g/kg)	CP 526,25	0,014
	TM 416,50	
Clay (g/kg)	CP 228,67	0,82
	TM 234,33	
Silt (g/kg)	CP 245,17	0,82
	TM 348,50	
pH (H2O)	CP 5,18	0,011
	TM 5,76	
OM (g/dm ³)	CP 33,84	0,026
	TM 44,39	
P (mg/dm ³)	CP 6,63	0,003
	TM 2,24	
K (cmol/dm ³)	CP 49,00	0,65
	TM 46,75	
Ca (cmol/dm ³)	CP 0,98	0,006
	TM 3,96	
Mg (cmol/dm ³)	CP 0,56	0,003
	TM 2,93	
AL (cmol/dm ³)	CP 0,83	0,284
	TM 0,46	
BS (cmol/dm ³)	CP 1,63	0,002
	TM 6,89	
CEC (cmol/dm ³)	CP 8,97	0,008
	TM 14,68	
Base saturation (%)	CP 18,15	0,005
	TM 42,23	

Fonte: Elaborado pelo autor