



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Centro de Ciências da Matemática e da Natureza
Instituto de Geociências – Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

MARIA FERNANDA AFFONSO PENNA

**O EFEITO DA VEGETAÇÃO NA DINÂMICA HÍDRICA DO SOLO: o movimento
vertical da água em diferentes trechos florestais**

RIO DE JANEIRO

2018

**O EFEITO DA VEGETAÇÃO NA DINÂMICA HÍDRICA DO
SOLO: o movimento vertical da água em diferentes trechos
florestais**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como um dos requisitos à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Nelson Ferreira Fernandes

Rio de Janeiro

2018

A257e Affonso Penna, Maria Fernanda
O efeito da vegetação na dinâmica hídrica do solo: o movimento vertical da água em diferentes trechos florestais / Maria Fernanda Affonso Penna. -- Rio de Janeiro, 2018.
84f.

Orientador: Nelson Ferreira Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018.

1. Hidropedologia. 2. Ecohidrologia. 3. Potencial matricial. 4. Condutividade hidráulica. 5. Sucessão ecológica. I. Fernandes, Nelson Ferreira, orient. II. Título.

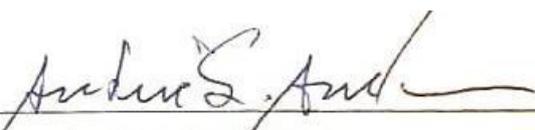
O efeito da vegetação na dinâmica hídrica do solo: o movimento vertical da água em diferentes trechos florestais

Maria Fernanda Affonso Penna

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências: Geografia.

Prof. Dr.  - Orientador

Nelson Ferreira Fernandes
Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. 

André Souza Avelar
Dep. De Geografia - UFRJ

Dr. 

Silvio Barge Bhering
EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

AGRADECIMENTOS

Inúmeras são as pessoas que me acompanharam e que de alguma forma possibilitaram que alcançasse essa etapa de minha vida acadêmica, profissional e pessoal. E peço desculpas por qualquer eventual esquecimento.

Agradeço especialmente ao Pedro Rajão, pelo cuidado, amor, aprendizado e carinho que trocamos durante nossa caminhada. Nada seria possível sem esse apoio, sem as melhores críticas e abraços.

Aos meus pais Antonio Augusto Affonso Penna e Regina Celi Moreira Affonso Penna pela presença, preocupação, zelo e o amor mais sincero.

As minhas irmãs Mariana Affonso Penna e Ana Beatriz Affonso Penna pela divisão de toda uma vida, pela cumplicidade e pelo abrigo.

A minha família postiça e não menos querida Medeiros Rajão, por toda ajuda durante o processo.

Ao professor Nelson Fernandes, por toda orientação, conversa, oportunidade de aprendizado, compreensão e paciência durante esse trajeto. Obrigada por permitir fazer parte do LAMPEGE. A todos colegas de LAMPEGE pela troca e crescimento acadêmico.

Ao Programa de Desenvolvimento Fiocruz Mata Atlântica, a coordenação executiva de Gilson Antunes e coordenação técnica de Andrea Vanini, por permitirem realizar a pesquisa e pela confiança em meu trabalho.

A EMBRAPA SOLOS, pela realização das análises do solo. Ao Nilson Rendeiro Pereira por todo auxílio na classificação dos solos e pela aula dada em campo.

A banca, Silvio Bhering e André Avelar, por aceitarem o convite de contribuir com o trabalho.

A todos que foram a campo nessa empreitada: Wagner, Breno, Jonathan, André, Rapha, Julia, Alisson, Luciana, Paulinho, Lousada e Salame.

Aos meus queridos amigos de graduação a quem eu devo muito do que sou hoje: Lara, Luciana, Salame, Bigode e Lousada (que não se viu livre de mim nem no mestrado)

As minhas amigas de vida, Joanna, Luísa e Melissa, por continuarem e acreditarem em nossa amizade.

As minhas amigas do trabalho: Andrea, Renata, Mayra, Kamila, Sheila pela convivência feliz.

E por último e mais importante, a minha filha Marieta, por fazer tudo ter sentido.

Affonso Penna, Maria Fernanda. O efeito da vegetação na dinâmica hídrica do solo: o movimento vertical da água em diferentes trechos florestais. Dissertação (Mestrado em Geografia)- PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

RESUMO

A cobertura do solo interfere diretamente nas propriedades hidropedológicas, mesmo com coberturas aparentemente similares. Dentro de um ambiente florestal, a hidrologia do solo tem como desafio relacionar solo-água-vegetação esmiuçando os processos e dinâmicas que ocorrem nesse ambiente. Muitos estudos trabalham a hidrologia dos solos voltado para culturas específicas, mas ainda são incipientes os que estudam esses processos dentro de florestas tropicais, principalmente considerando sua temporalidade. Dessa forma, o trabalho monitorou a dinâmica da água em trechos em diferentes estágios de sucessão buscando compreender o papel da idade de um fragmento florestal na influência das características físico-hídricas do solo. Foram instaladas parcelas na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, localizada no município do Rio de Janeiro na zona de amortecimento do Parque Estadual Pedra Branca, onde temos um mosaico de vegetação em diferentes estágios de sucessão. Realizando classificação da estrutura da vegetação arbórea, mensuração da condutividade hidráulica em campo e monitoramento do potencial matricial através de sensores, em diferentes profundidades, foram feitas correlações. As regressões entre as variáveis da vegetação (variável descritora) com os processos de movimentação e retenção de água no solo (variáveis resposta), apontaram alguns resultados relevantes. As análises indicaram valores significativos da relação potencial matricial com dominância ($R^2 = 0.9913$, valor-p < 0.001) e abertura de copa ($R^2 = 0.9634$, valor-p < 0.002), na profundidade de 60 cm. Os resultados permitem dizer que uma vez que o trecho florestal amadurece com o crescimento dos indivíduos arbóreos encontramos um padrão do comportamento da água no solo. Assim, sabendo que as florestas são importantes ambientes de proteção e produção de água, é de grande importância compreender os processos físicos de fluxo de água no solo nesses espaços.

Palavras-chave: Hidropedologia, Ecohidrologia, potencial matricial, condutividade hidráulica, estágio de sucessão, hidrologia do solo.

Affonso Penna, Maria Fernanda. O efeito da vegetação na dinâmica hídrica do solo: o movimento vertical da água em diferentes trechos florestais. Dissertação (Mestrado em Geografia)- PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

ABSTRACT

Soil cover interferes directly with hydro-pathological properties, even with apparently similar coverings. Within a forest environment, the soil's hydrology has the challenge of relating soil-water-vegetation to the processes and dynamics that occur in this environment. Many studies focus on soil hydrology of specific crops, but researches related to these processes within tropical forests are still incipient, especially considering their timing. Thus, the work monitored the water dynamics in stretches at different stages of succession, seeking to understand the role of the age of a forest fragment in the influence of soil physical-water characteristics. Allotments were installed in the Biological Station Fiocruz Mata Atlântica, located in the city of Rio de Janeiro in the buffer zone of Pedra Branca State Park, where there is a mosaic of vegetation in different stages of succession. Correlations were made in order to classify the structure of the tree vegetation, to measure the hydraulic conductivity in the field and to monitor the matrix potential through sensors, at different depths. The regressions between vegetation variables (descriptor variable) and soil water movement and retention processes (response variables), pointed out some relevant results. The analyzes indicated significant values of the matrix potential relationship with dominance ($R^2 = 0.9913$, p-value <0.001) and crown opening ($R^2 = 0.9634$, p-value <0.002), at depth of 60 cm. The results allow us to say that since the forest stretch matures with the growth of the arboreal individuals, we find a pattern of soil water behavior. Thus, as forests are important environments for water production and protection, it is of great importance to understand the physical processes of water flow in the soil in these spaces.

Keywords: Hydropedology, Ecohydrology, matrix potential, hydraulic conductivity, succession stage, soil hydrology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama conceitual das relações da hidropedologia com outras ciências. Fonte: Lin (2003).	20
Figura 2- Exemplo de curva de retenção de água no solo em classes de diferentes texturas. Fonte: Brady (2012).	21
Figura 3 - Diferentes níveis de retenção da água no solo, onde A) solo aturado; B) solo em capacidade de campo, as forças de capilaridade passam a atuar e C) solo em ponto de murcha, as plantas continuam retirando água dos poros enores. Fonte: Schaetzl &	22
Figura 4 - Perfil de infiltração apontado para as zonas de saturação, transição, umedecimento e frente de umedecimento. Adaptado Libardi (2005).	24
Figura 5- Mapa de localização das parcelas experimentais em relação ao CFMA, PEPB e a expansão urbana (adensamento urbano e obras de infraestrutura como transolímpica)	32
Figura 6 - Localização do Campus Fiocruz Mata Atlântica em relação ao maciço da Pedra Branca, ao PEPB e sua zona de amortecimento.	34
Figura 7 - Mapa do Plano Diretor do CFMA, onde define que a Estação é definida como as áreas: intangível, primitiva e recuperação. Fonte: Plano Diretor CFMA ano 2005	36
Figura 8 - Mapa de localização da área total da parcela AP (Área Pioneira) visto em imagem de satélite e área localizada no MDE (Modelo Digital de Elevação	38
Figura 9 Mapa de localização da área total da parcela AS (Área secundária) visto em imagem de satélite e área localizada no MDE (Modelo Digital de Elevação	39
Figura 10 - : A) Foto da área onde foram instaladas nossas parcelas AP (Área Pioneira), mostrando a ausência de um sub bosque; B) Área das parcelas AP e a forte presença de gramíneas; C) Topo do solo coberto por gramíneas; D) Serapilheira presente na AP; E) e F).....	40
Figura 11 - - Foto área de instalação da parcela na área pioneira (AP), com destaque para trincheira aberta para descrição dos horizontes e classificação.	41
Figura 12 - Foto área de instalação da parcela na área secundária (AS), com destaque para trincheira.....	41
Figura 13 - Esquematização do delineamento amostral	43

Figura 14 - Delineamento experimental da condutividade hidráulica. Fonte: Acervo Pessoal.....	45
Figura 15 - Foto A) Nivelamento realizado para os ensaios de condutividade hidráulica saturada em campo; Foto B) permeâmetro de GELPH-IAC montado em campo. Fonte: Acervo Pessoal.....	45
Figura 16 - A) Leitor manual dos sensores instalados em campo (Irrometer Watermark Soil Moisture); B) Capsulas levadas a campo previamente saturadas; C) Trado de rosca realizando abertura para instalação dos sensores; D) Coleta do solo retirado ao perfurar o solo	47
Figura 17 - Delineamento experimental executado em AP e AS no monitoramento do potencial matricial.....	48
Figura 18 - Pluviômetros instalados na área controle, sem nenhuma cobertura (A) e área secundária (AS – B).	48
Figura 19 - – A) Medição da altura (metros) do dossel e B) utilização do GLAMA em campo para mensurar a abertura de copa nos pontos onde foram monitorados o potencial matricial.....	50
Figura 20 - Trincheira para análise do Perfil do Solo da área AP, com os horizontes encontrados após classificação-	53
Figura 21 - Trincheira para Perfil do Solo da área AS, com os horizontes encontrados após classificação.....	53
Figura 22 - - Gráfico da textura nas diferentes profundidades de nossa AP	54
Figura 23 - Gráfico de textura nas diferentes profundidades de AS.....	54
Figura 24 - : Curva de retenção da AP, de todos horizontes encontrados no perfil da trincheira aberta.	55
Figura 25 - : Curva de retenção AS, de todos os horizontes encontrados no perfil de trincheira aberta.	55
Figura 26 - :- Boxplot dos parâmetros da estrutura da vegetação das áreas AP (em laranja) e AS (em verde).	57
Figura 27 - Gráfico da pluviosidade monitorada em campo, seguido dos gráficos de todas as nossas parcelas AP em todas profundidades, no período monitorado	59
Figura 28 - Gráfico da pluviosidade monitorada em campo, seguido dos gráficos de todas as nossas parcelas AP em todas profundidades, no período monitorado	60
Figura 29 - Gráficos de regressão da relação condutividade hidráulica e: diversidade, dominância, densidade e abertura de copa (Por linhas) nas três	

profundidades monitoradas: 15 cm, 40 cm e 60 cm (Por colunas), na data de maior disponibilidade de água (Azul escuro).....	62
Figura 30 - Gráficos de regressão entre Ksat 15 cm (linha cinza) e 40 cm (linha preta) com aspectos da estrutura da vegetação: Diversidade, Dominância, Densidade e Abertura de copa.....	64
Figura 31 - Gráficos de correlação do coeficiente de variação com aspectos da estrutura da comunidade arbórea, como: Diversidade (A), Dominancia (B), Densidade (C) e Abertura de copa (D), a 15 cm e 40 cm.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Taxa de condutividade hidráulica em diferentes coberturas do solo com enfoque na vegetação.....	27
Tabela 2	Tabela dos parâmetros A e B.....	48
Tabela 3	Parâmetros descritores da estrutura da vegetação da comunidade arbórea das unidades amostrais das áreas AP e AS, com respectivas médias e desvio padrão (alfa = 0.95). G = área basal, H' = diversidade Shannon, J' = Equabilidade de Pielou.....	57
Tabela 4	Média, erro padrão e coeficiente de variação da condutividade hidráulica das áreas pioneira (AP) e secundária (AS), com respectivos valores de T e de significância (valor-p) do teste T. (alfa = 0.95).....	64

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1	Lei de Darcy.....	26
Equação 2	Equação de Elrich para Ksat	47
Equação 3	constante de proporcionalidade adimensional..	48

LISTA DE SIGLAS

AP	Área Primária
AS	Área Secundária
CFMA	Campus Fiocruz Mata Atlântica
Cm	Centímetro
CV	Coeficiente de Variação
EBFM	Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica
D	Densidade
Do	Dominância
H	Diversidade
PEPB	Parque Estadual da Pedra Branca
SMAC	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Cultura
Ksat	Condutividade Hidráulica saturada
kPa	Kilopascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS.....	18
3 REVISÃO CONCEITUAL	19
3.1 Hidropedologia, olhar holístico da pedologia e hidrologia	19
3.2 As propriedades físicas do solo e sua função hidrológica.....	20
3.3 O movimento de água no solo: permeabilidade e umidade	22
3.4 Ecohidrologia.....	26
3.5 Efeitos da vegetação na hidropedologia	27
4 METODOLOGIA.....	31
4.1.1 Local de estudo.....	31
4.1.2 Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica	33
4.1.3 Seleção das áreas amostradas.....	37
4.2 Análise das propriedades físicas do solo	42
4.3 Delineamento amostral	42
4.4 Propriedades hídricas do solo	43
4.5 Condutividade Hidráulica	44
4.6 Monitoramento do Potencial Matricial.....	47
4.7 Instalação dos pluviômetros e medição da precipitação	48
4.8 Avaliação da estrutura da vegetação	49
4.9 Processamento e análise de dados: descrição e estatísticas.....	50
5 RESULTADOS	52
5.1 RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO	52
5.1.1 Características pedológicas	52
5.1.2 Estrutura da Vegetação Arbórea.....	55
5.2. RESULTADOS DA DINÂMICA HÍDRICA DO SOLO E EFEITOS DA VEGETAÇÃO	57
5.2.1 Avaliação dos padrões do potencial matricial.....	57
5.2.2 A estrutura da vegetação e potencial matricial.....	61

5.2.3 Avaliação da condutividade hidráulica dos solos	62
5.2.4 A estrutura da vegetação e condutividade hidráulica do solo...	63
5.2.5 A vegetação e a heterogeneidade espacial da condutividade hidráulica	64
6 DISCUSSÕES.....	66
6.1 Aspectos pedológicos e da estrutura da vegetação nos trechos de diferentes estágios de sucessão.....	66
6.2 O comportamento da umidade do solo entre e durante precipitação através do potencial matricial.....	68
6.3 O papel da estrutura de vegetação na dinâmica temporal da umidade ao longo do perfil do solo.....	69
6.4 Características da permeabilidade: a semelhança da condutividade hidráulica nos diferentes trechos florestais	70
6.5 O papel da estrutura de vegetação na permeabilidade do solo ..	71
6.6. A importância do estágio de sucessão florestal no aumento da heterogeneidade espacial da permeabilidade do solo	71
7 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

A Hidrologia Florestal é um importante segmento dentro da Hidrologia tendo em vista as especificidades dos efeitos associados à água e vegetação. Diferentes efeitos desde processos erosivos, qualidade de água e microclima, são regulados através do feedback água-vegetação dentro de um ecossistema florestal (REICHARDT 2004, HILLEL, 1998; THOMPSON 2012; BRADY, 2012). De modo que para garantirmos a quantidade e qualidade dos recursos hídricos precisamos desses ambientes em equilíbrio.

Diversos estudos têm atribuído a importância da vegetação na conservação e manutenção dos recursos hídricos (HORTON, 1919; WILCOX & THUROW, 2006; METZGER JP et al. 2009; MEDEIROS, 2011). De florestas temperadas a ambientes áridos, a maior parte tem demonstrado o papel da vegetação na interação com o solo determinando os processos de infiltração (por ex., ARCHER et al, 2016), escoamento (por ex., GERIS et al. 2015) e evapotranspiração (por ex., KRAMER & HOLSCHER, 2010). Por exemplo, para entendermos a infiltração em ambientes florestais devemos considerar que a mesma é diretamente influenciada pelo sistema de raízes facilitando ou impedindo o movimento de água através do solo. Porém, pouco se investiga essa dinâmica em ambientes florestais, principalmente as de regiões tropicais.

Florestas tropicais são ecossistemas bastante complexos, com altas taxas de precipitação e radiação solar, sendo áreas que apresentam maior riqueza de biodiversidade. Trata-se de um ambiente heterogêneo, com diversos estratos de vegetação e com solo com altas taxas de decomposição de matéria orgânica (MARTINS et al. 2012). Sua diversidade de características espaciais e temporais é fundamentalmente considerada e relacionada com os processos hidrológicos.

Nesse contexto se encaixa a Mata Atlântica brasileira, bioma que preenche a costa do sul ao nordeste. A forte pressão antrópica que sofre decorre da densidade demográfica que acelerada devido à expansão urbana faz com que resistam pequenos fragmentos desse importante bioma. Hoje sabemos que mais da metade dos recursos hídricos que abastecem os municípios brasileiros são gerados dentro de áreas não protegidas pelo estado (MEDEIROS, 2011). Sem a vegetação a percolação

da água alcança muito rapidamente os corpos hídricos devido à acelerada velocidade de escoamento possibilitando o transporte de sedimentos maiores e uma diminuição na recarga dos aquíferos. Fenômenos como a erosão e assoreamento alteram significativamente as características morfológicas do curso hídrico e da qualidade de água, e são intensificados a partir dos processos antrópico de desflorestamento e asfaltamento (BIGARELLA, 1985).

Na contramão do processo de degradação ambiental, diversas iniciativas têm sido tomadas na busca por métodos capazes de recuperar esses ecossistemas. Um ecossistema restaurado preza pela recuperação da integridade, da resiliência e sustentabilidade dentro de uma paisagem considerando os elementos bióticos e abióticos (MARTINS et al. 2012). Porém, os projetos de recuperação ambiental em sua maioria estão em andamento devido a medidas legais de compensação ambiental exigida pelo Estado. Mesmo quando não por aparatos legais, essas áreas de conservação e recuperação que levantam a bandeira de garantia da biodiversidade e dos nossos recursos hídricos, não possuem, entretanto, monitoramentos adequados a essas demandas. Muitas vezes, as mensurações não se atentam para uma recuperação da paisagem e suas funcionalidades e sim para o acompanhamento isolado das mudas plantadas.

O comportamento natural de uma região que passou por um processo de desmatamento é que ocorra uma regeneração natural da vegetação. Essa regeneração ocorre em estágios de sucessão que terão suas velocidades determinadas principalmente pelas condicionantes locais (SWANK et al., 2001). No entanto, quando por ação de métodos da restauração ecológica se estima que a localidade alcance o estágio onde o impacto interrompa entre 7 a 25 anos (ANDRÉASSIAN, 2004).

O estudo tem como princípio investigar o padrão de movimento de água no solo em uma área regenerada espontaneamente, área secundária (AS), e outra artificialmente, área pioneira (AP) através de duas abordagens: uma descritiva (5 Resultados; 5.1 Resultados Descritivos) e teste de hipóteses (5 RESULTADOS; 5.2 RESULTADOS ANALÍTICOS). Na primeira abordagem a pergunta que nos norteia é: qual o padrão de permeabilidade e umidade do solo em cada uma das áreas? Na segunda abordagem pretendemos responder: existe diferença significativa entre a

permeabilidade do solo da AS e AP nas diferentes profundidades?; e no teor de umidade do solo?; e quais e como atributos da estrutura da vegetação relacionam-se com a permeabilidade, teor de umidade e com a variação espacial da permeabilidade do solo. Nossas hipóteses são que existe diferença tanto na permeabilidade como no teor de umidade do solo entre as áreas AS e AP, onde a permeabilidade é maior na AS em todas as profundidades aqui estudadas, por efeito de um sistema mais complexo de raízes, e teor de umidade também maior em AS independente da profundidade. Esperamos que variáveis da estrutura da vegetação que mais expressam sua biomassa correlacionam-se positivamente com a permeabilidade e teor de umidade do solo e negativamente com a heterogeneidade espacial da permeabilidade do solo.

Respondendo nossas perguntas podemos desenvolver o entendimento do padrão de movimento de água no solo em diferentes profundidades em florestas tropicais em diferentes estágios de sucessão. Nosso estudo além do caráter científico pretende ultrapassar tais fronteiras, servindo como base para melhorar o planejamento de projetos de recuperação ambiental em ecossistemas florestais que tenham como objetivo a renaturalização de processos chave no balanço hídrico como a infiltração, estabelecendo parâmetros base para futuras avaliações.

2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo geral descrever e comparar os atributos da estrutura da vegetação arbórea em estágios de sucessão distintos, um pioneiro (AP) outro secundário (AS) com as características físico-hídricas do solo. Essas áreas que tem além estágios de sucessão distintos tem também a idade da formação do trecho florestal, onde AP é um plantio realizado em 2009, tendo aproximadamente 9 anos e AS foi abandonado pelo uso agrícola por meados de 1950, tendo aproximadamente 60 anos. Além do caráter comparativo, temos intenção de detectar qual a relação da cobertura florestal na dinâmica de água no solo. Com isso, vamos:

- a) Caracterizar propriedades físico-estruturais do solo como porosidade, microporosidade, macroporosidade e densidade em AP e AS;
- b) Comparar a variação do potencial matricial do solo com as profundidades: 15 (cm), 40 (cm) e 60 (cm) em AS e AP;
- c) Correlacionar a movimentação da água (ascendente e descendente) com os estágios sucessionais AS e AP;
- d) Avaliar quais são as implicações da estrutura da comunidade arbórea (biomassa, abertura de copa, diversidade) na condutividade hidráulica (permeabilidade) e potencial matricial (umidade do solo); e
- e) Discutir formas de monitoramento de projetos de recuperação ambiental que considerem as variáveis da hidrológicas do solo a partir das medidas realizadas na dissertação.

3 REVISÃO CONCEITUAL

3.1 Hidropedologia, olhar holístico da pedologia e hidrologia

A Hidropedologia trata-se de uma ciência interdisciplinar que vem ganhando grande importância científica. Destaca-se como questões primordiais desse ramo da ciência, a pesquisa acerca da arquitetura do solo associada com a distribuição dos mesmos na paisagem e como atuam no controle dos processos hidrológicos e como os processos hidrológicos influenciam na gênese do solo em função do espaço e tempo (LIN, 2012).

O progresso da ciência hidropedológica depende em grande grau do entendimento dos seus componentes (LIN, 2003), para isso é sugerido que hidropedologia seja um braço das ciências pedológicas e hidrológicas que estude os processos e propriedades da chamada zona crítica (Figura 1). A zona crítica compreende desde solo, rochas, água ar e organismos vivos, numa tentativa de entender a complexa interação que ocorre nesse ambiente heterogêneo. As dinâmicas que ocorrem nessa zona crítica são interações entre os meios sólidos da Terra e os fluidos abrangendo das raízes, copa, fauna edáfica, serapilheira, precipitação envolvendo todos elementos físicos e hidrológicos de acordo com a escala espacial e temporal (National Research Council – NRC, 2001).

Um dos aspectos interessantes a serem destacados dentro da hidropedologia é a preocupação em entender como as transformações tendem a ocorrer em seus ambientes naturais, o que acaba de alguma forma valorizando monitoramentos e experimentos in situ.

Diversas das pesquisas usadas como base para o desenvolvimento da presente dissertação utilizam-se desses princípios. Ainda que a maior parte desenvolva questões ligadas à ecologia por considerarem a vegetação, a base pedológica como: mecanismos, composição química, geologia e geomorfologia, por exemplo, sempre aparecem como alicerce dos estudos. Seja realizando correlações entre o teor de argila, para descartar a correlação da argila com umidade num determinado solo (KRAMER & HOLSCHEER, 2016), ou concluindo que as taxas de condutividade hidráulica são maiores nos solos com medianas maiores de raízes na

matriz solo, possuindo mais macroporosos e com maior conectividade entre esses macroporos (ARCHER et al, 2016).

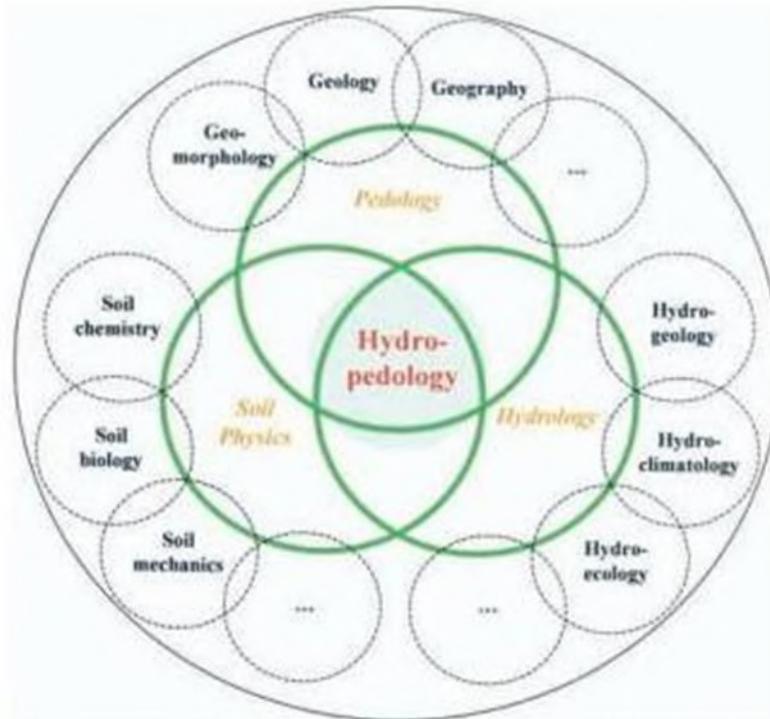


Figura 1- Diagrama conceitual das relações da hidropedologia com outras ciências. Fonte: Lin (2003).

3.2 As propriedades físicas do solo e sua função hidrológica

As propriedades físicas do solo são importante objeto de conhecimento para a gestão e planejamento nas mais distintas atuações: engenharia civil, projetos agrícolas, o crescimento das plantas, a dispersão de águas ou poluentes. Todos esses assuntos exigem conhecimento nas propriedades físicas do solo desde o armazenamento da água para agricultura, base estável para obras ou áreas com menos risco de infiltração de poluentes (BRADY, 2012).

As propriedades físicas podem ser definidas visualmente ou por testes laboratoriais e/ou de campo, dependendo do objetivo que se queira alcançar. Textura, agregados, estrutura, cor, porosidade, consistência e densidade são algumas propriedades que o solo possui que são o resultado, entre outros fatores, da combinação de partículas de três classes de tamanho: areia, silte e argila.

A estrutura de um solo é formada a partir da junção de diversos agregados, os quais, por sua vez, são resultantes da interação física, química e biológica das partículas do solo que determinam o movimento de água. Solos mais conservados contêm agregados de tamanhos maiores que geram maior infiltração (maior permeabilidade), menor erosão e maior capacidade para retenção de água (umidade) (CASTRO FILHO, 2002). Por exemplo, as curvas características de umidade são expressas graficamente onde o potencial matricial é plotado em função da umidade do solo. Essa medida é importante devido o potencial que possui em avaliar o comportamento da água no solo, como, a distribuição dos seus poros e a faixa de água disponível para a vegetação. É possível observar um modelo conceitual da curva de retenção de água no solo tanto para os solos mais argilosos até os mais arenosos (Figura 2). Essa curva depende fortemente da textura do solo (SCHAETZL & THOMPSON, 2015).

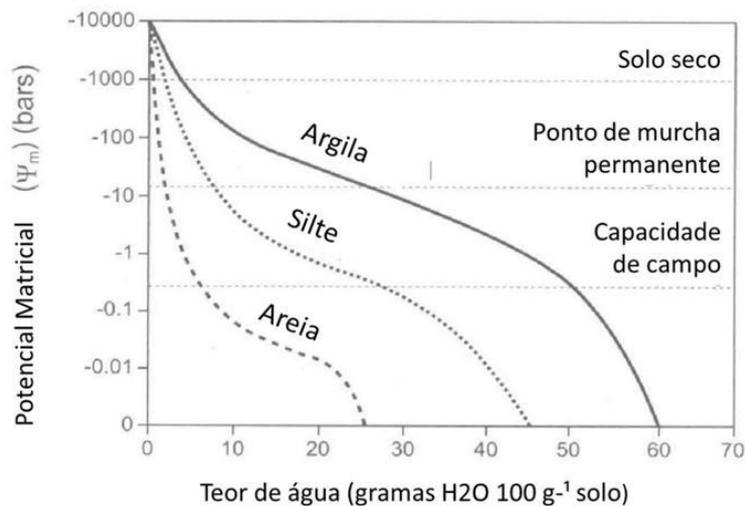


Figura 2– Exemplo de curva de retenção de água no solo em classes de diferentes texturas.
Fonte: Brady (2012)

A densidade do solo é uma importante propriedade que apresenta variável em menor temporalidade se confrontada com as demais, podendo, por exemplo, ser alterada pelo manejo ao qual o solo está exposto. A densidade global do solo é tida como a relação entre a massa do solo seco e o volume total. Solos compactados tendem a ter maior densidade e a quantidade de matéria orgânica em um solo pode diminuir a densidade. A densidade do solo se relaciona com os processos de infiltração em vários sentidos, como na mudança da porosidade. Partindo desses

pressupostos e já apontados por diversos estudiosos os solos florestais tendem a ter maior quantidade de matéria orgânica e fauna edáfica acarretando em maior macroporosidade (por ex., ZHOU et al., 2008; COLLOFF, 2010; BERTOLINO, 2010; PERKINS, 2014), esses pontos serão utilizados em nosso trabalho para podermos discutir se o manejo do reflorestamento está atingindo aos seus objetivos de um meio ambiente equilibrado. Outra relação entre a densidade do solo é o fato que a mesma tende a aumentar com a profundidade do solo.

A porosidade representa a porção do solo em volume não ocupada por sólidos. Ela também é discutida no âmbito da estrutura do solo, isso porque afeta a percolação da água, na porosidade preenchida por água, assim como é importante para aeração do solo quando a água livre não está presente (Figura 3). Ou seja, os poros do solo podem estar saturados (preenchidos com água), não saturados (preenchidos com ar) ou então ambos (solos parcialmente saturados), o que é o mais comum em sistemas naturais (SCHAETZL & THOMPSON, 2015).

Um solo com deficiente porosidade terá um sistema radicular mal desenvolvido (profundidade e formação), redução da atividade microbiana, deficiência nutricional, erosão hídrica, redução da drenagem interna (HILLEL, 1998). Ficando clara a importância a da mesma para um sistema florestal em equilíbrio.

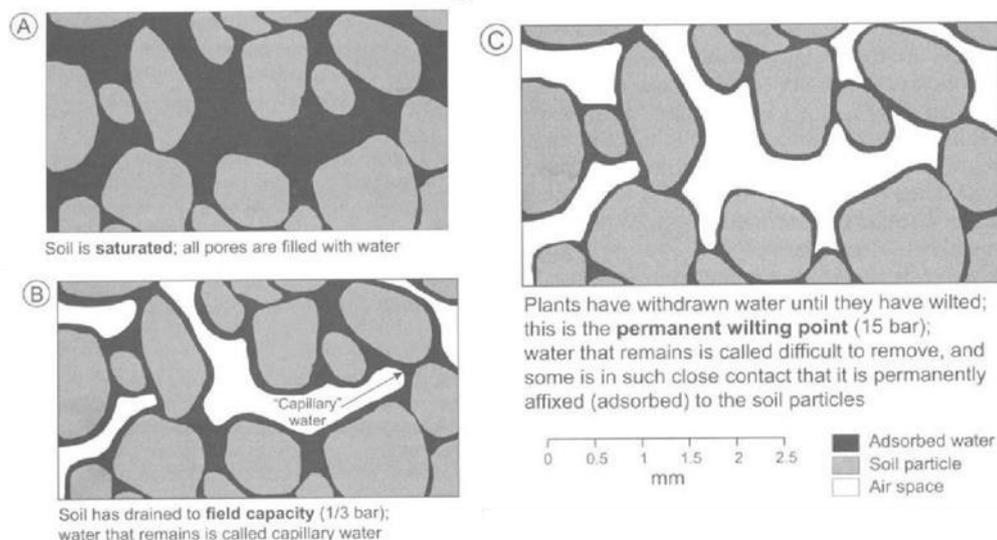


Figura 3 - Diferentes níveis de retenção da água no solo, onde A) solo saturado; B) solo em capacidade de campo, as forças de capilaridade passam a atuar e C) solo em ponto de murcha, as plantas continuam retirando água dos poros enores. Fonte: Schaetzl &

3.3 O movimento de água no solo: permeabilidade e umidade

Água e solo têm comportamento variável, principalmente quando em conjunto. Essa variação é exposta através da viscosidade fazendo com que solo e água possam ser mais fluidos ou sólidos. Essa interação, água e solo, nos permite entender os padrões de infiltração, escoamento, de lixiviação, evapotranspiração, a amplitude de ar e água nos poros do solo, a variação na temperatura do solo, a presença de organismos e metabolismos do solo, além da sua capacidade em armazenar e disponibilizar água para o crescimento das plantas (LIBARDI, 2005).

Geralmente dois parâmetros têm sido descritos na tentativa de ilustrar como é que se dá esse movimento da água através da estrutura de determinado solo: a permeabilidade, através de índices de condutividade hidráulica (capacidade de determinado solo em conduzir água através de seus poros). Dessa forma, entenderemos os parâmetros de condutividade hidráulica e permeabilidade como a capacidade do solo em promover o escoamento de água, relacionando às características essenciais do meio (textura, porosidade, estrutura, dentre outros). Já a umidade, ou seja, o teor de água existente no solo, será interpretada de maneira indireta, através do potencial matricial. Em relação à umidade é preciso saber que o potencial matricial do solo se relaciona inversamente com a umidade do solo, como o observado quando obtemos uma curva de retenção. Na curva fica evidenciado que quanto maior a condição de saturação de um solo menor a energia da matriz e que quanto mais seco o solo maior o potencial matricial do solo.

A entrada de água no solo é definida como infiltração, ou seja, o processo inicial da movimentação da água pelo perfil do solo. Essa entrada de água no solo através da superfície, ou taxa de infiltração, começa com alta velocidade, decaindo constantemente ao longo do tempo até atingir a taxa de infiltração estável (REICHARDT, 2004).

O perfil abaixo (Figura 4) é um perfil típico de infiltração e cada zona representada apresenta um comportamento distinto. Quando a passagem de água em um determinado horizonte cessa, o mesmo passa a ter uma alta umidade enquanto os horizontes subsequentes tendem a começar a receber esse fluxo de água, fazendo que um solo com maiores taxas de umidade tende a ter maior velocidade de movimentação descendente. A umidade do solo está relacionada não somente a dinâmica de infiltração, mas também com as taxas de escoamento. Um estudo

realizado por Farrick et al. (2014) constata que, mais do que a presença de cobertura vegetal, as taxas de escoamento em sua área de estudo eram influenciadas pela a facilidade de infiltração, ou seja, maior a permeabilidade, que não estavam relacionadas diretamente com a cobertura vegetal. Além disso, a forma de transmissão de água no solo e seu teor de água, são influenciados pela umidade antecedente, faz com que mesmas quantidades de chuvas precipitadas gerem comportamentos distintos dependendo da condição anterior do solo.

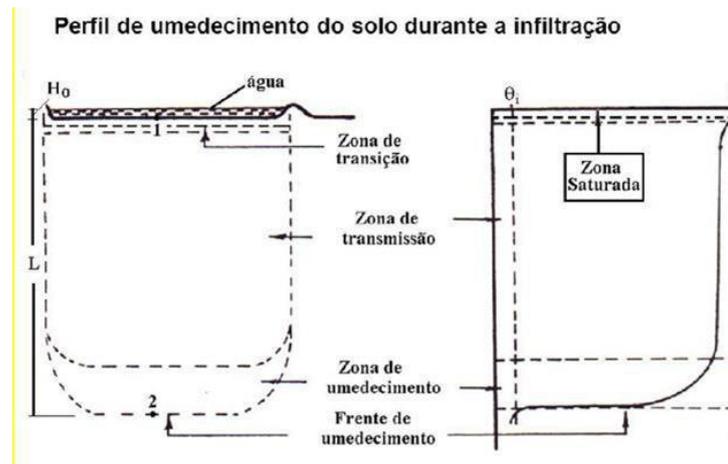


Figura 4 - Perfil de infiltração apontado para as zonas de saturação, transição, umedecimento e frente de umedecimento. Adaptado Libardi (2005).

Esse segundo parâmetro, permeabilidade, pode ser entendido como capacidade do solo em favorecer a passagem da água. Essa capacidade está relacionada às características que se estendem desde a superfície, sua estrutura, até as camadas mais profundas. A rugosidade da camada superior de um solo que pode ter sido originada pela matéria orgânica, movimento de massa, composição do solo e o tipo de cobertura de cada solo é também um agente regulador da infiltração. Esse micro-relevo pode acarretar em atraso no tempo na percolação da água beneficiando o processo de infiltração da água no solo (WEI, 2015). Outrora, solos com estrutura mais macroporosa e com maior densidade de raízes, formando canais de fluxos preferenciais, proporciona uma maior condição de drenagem da água que chega ao solo. Geralmente, solos com essas características são encontradas em florestas (JORGE, 1985). Os padrões dos fluxos e permanência de água por sua vez são regulados predominantemente pelas propriedades hidráulicas do solo (GERIS et al, 2015). As técnicas para monitorar alguma dessas propriedades hidráulicas, como a condutividade são múltiplas desde infiltrômetros de anel (BERTOLINO, 2010;

CHANDLER et al, 2017), até permeâmetros de carga constante (ARCHER et al 2016; CHANDLER et al 2017). A metodologia escolhida deve levar em consideração quais perguntas devem ser respondidas, ou melhor, o que estamos querendo medir.

A análise da movimentação da água solo, através dos dados obtidos em campo contará com ensaios de condutividade hidráulica (K_{sat}) para determinação da velocidade que a água se move no solo. Existem diversas equações para definirmos o coeficiente de permeabilidade. Darcy experimentalmente desenvolveu uma equação que auxilia na compreensão teórica do que se trata a permeabilidade e como investigar a condutividade hidráulica em solos (Equação 1), sabendo que a mesma descreve o fluxo de um fluido em meio poroso. Pode-se chegar ao valor de K_{sat} tanto em testes realizados em laboratórios, quanto em ensaios em campo, o método a ser realizado para alcançar a taxa de transmissão que a água perpassa o solo dependerá da pergunta a ser respondida (FERNANDES et al. 1983; EMBRAPA, 1997).

Equação 1.

$$Q = k \times i \times A$$

Onde: Q =vazão (m^3/s); k = coeficiente de condutividade (m/s); i = gradiente hidráulica percorrido (m) e A = área (m^2)

A condutividade hidráulica é uma importante propriedade relacionada à hidrologia do solo. Essa condutividade é responsável também não só pelo fluxo como pelo transporte de substâncias químicas que podem contribuir para estabilidade ou destruição de um solo. Infiltração, lixiviação, erosão estão relacionadas ao fluxo de água que e influenciam os processos de utilização desse recurso. Vários pesquisadores apontaram para a grande variabilidade hidráulica encontrada em campo, essa variabilidade é provavelmente ocasionada por diferenças na porosidade do solo e a possíveis barreiras existentes no perfil do solo. Esse comportamento produz uma nova forma da água se movimentar no perfil, como por exemplo, o “bypass flow” e “fingering effect” que trazem processos distintos para a hidrologia do solo (ZIMMERMANN et al. 1966; BONNEL, 1983). Diversos artigos se apoiam nesse dado para realizar as mais diversas discussões em hidropedologia, destacamos aqueles que relacionam essa condutividade a vegetação presente na cobertura do solo (Tabela 1)

Tabela 1: Taxa de condutividade hidráulica em diferentes coberturas do solo com enfoque na vegetação.

Autor	Tipo de vegetação	Local	Profundidade	Conductividade hidráulica ¹
Montenegro & Ragab (2010)	Caatinga	Brasil	-	11.3
Lui et al (2012)	Agricultura	China	-	112
Farrick & Branfireun (2014)	Floresta semidecídua	México	-	20
Farrick & Branfireun (2014)	Floresta de pinus		-	68.7
Perkins et al (2014)	Floresta	EUA	0 - 24	25
			25 - 49	1500
			50 - 74	4200
			75 - 100	3000
Perkins et al (2014)	Grassland	EUA	0 - 24	3660
			25 - 49	600
			50 - 74	2340
			75 - 100	720
Archer et al (2016)	Floresta de 6 anos		0.04 - 0.15	0.2
				2.3
				5.9
Archer et al (2016)	Floresta de 6 anos		0.15 - 0.25	<0.001
				0.19
				10.7
Archer et al (2016)	Floresta de 48 anos		0.04 - 0.15	16.5
				33.8
				236.6
Archer et al (2016)	Floresta de 48 anos		0.15 - 0.25	1.86
				13.9
				14.8
Archer et al (2016)	Árvores remanescentes com mais de 300 anos		0.04 - 0.15	28.8
				31.2
				251.6
Archer et al (2016)	Árvores remanescentes com mais de 300 anos		0.15 - 0.25	2.95
				5.12
				23
Marin et al (2017)	Floresta secundária Sul		-	649.8
Marin et al (2017)	Floresta secundária Norte	México	-	1245.8
Marin et al (2017)	Plantio de café Sul		-	234.4
Marin et al (2017)	Plantio de café Norte		-	570.7

3.4 Ecohidrologia

A Ecohidrologia surge em um contexto de compreender as novas teorias e métodos acerca dos estudos da complexa relação água-vegetação. Prova disso, é que entre amplos estudos observados, muitas das vezes, as situações ou resultados são contrastantes, sejam em casos de estudos em áreas com abundância ou escassez de água, a heterogeneidade nos padrões espaciais e temporais relacionado aos mecanismos ecohidrológicos, são recorrentes (ASBJORNSEN et al. 2011). Nesse sentido é importante reconhecer o papel da Hidrologia Florestal para o aprofundamento das questões hoje tidas como da Ecohidrologia.

Importante segmento dentro da Hidrologia, a Hidrologia Florestal considera as especificidades dos efeitos associados à água e à vegetação. Sabe-se que a

hidrologia é uma ciência interdisciplinar e que a discussão sobre o comportamento da água é secular, no entanto, podemos destacar que o início da experimentação em hidrologia – a partir de 1700 – traz ganhos como a lei do fluxo de água subterrânea. O aprofundamento das questões relacionadas à hidrologia florestal passou de um período de experimentação para racionalização da mesma com objetivo de solucionar as questões empíricas levantadas, podendo destacar os clássicos trabalhos de Horton (1919 pg 67) e Sherman (1932 pg 67) conforme o citado por Hewlett (1964).

O entendimento sobre as interações entre solo-vegetação são as mais diversas em ecohidrologia. Entretanto vem se alcançado uma concordância a respeito de que os padrões espaciais e temporais de distribuição e disponibilidade de água no solo afetam a distribuição da vegetação na paisagem e vice-versa. A influência da vegetação sobre o movimento da água no solo ocorre desde a interceptação pela copa das plantas, fluxo pelo tronco, transpiração até mudanças mais profundas nas características físicas do solo por ação das raízes (THOMPSON et al. 2012). Essa interação que ocorre em sistema de retroalimentação pode ter uma relação positiva ou negativa dependendo de quanto degradado esteja a vegetação-solo.

3.5 Efeitos da vegetação na hidropedologia

A noção de um ecossistema equilibrado será alcançada a partir de uma visão holística e é por isso que os estudos hidrológicos devem ser abordados considerando os componentes existentes na relação água-planta-atmosfera (HILLEL, 1998; REICHARDT, 2004; GERIS, 2015).

A infiltração de água no solo, por exemplo, é importante processo descritor da relação vegetação-hidrologia. Essa entrada de água no solo, definido como infiltração, é que dará origem a formação de aquíferos, lençóis freáticos além da disponibilidade de água para fauna edáfica e para as plantas.

No trabalho desenvolvido por Merino-Martín et al. (2015) os resultados apontaram que as mudanças na umidade do solo modificam a dinâmica de vegetação e sucessão ecológica. A variação da umidade do solo modifica o potencial matricial, assim como a resistência do solo à penetração de raízes e a aeração. No estudo realizado por WEI e outros pesquisadores (2015) foi apontado que as diferenças na umidade do solo em diferentes cultivos agrícolas decaem junto com a profundidade

do solo, no entanto, o estudo refere-se a plantações de árvores para finalidades comerciais e herbáceas. A pesquisa destaca que áreas com herbáceas apresentam valores maiores de umidade principalmente nas camadas superficiais, destacando a função ecológica das mesmas em sua área de estudo.

Merino-Martin et al. (2015) mostrou ainda que as manchas onde existiam espécies arbustivas continham maior quantidade de fósforo [P], nitrogênio [N] e matéria orgânica, determinando um solo com agregados maiores, permitindo uma maior infiltração sendo esse um efeito indireto da vegetação. Os autores ainda especulam que nessas manchas a comunidade arbustiva contém uma malha de raízes mais superficiais, criando uma grande quantidade de pequenos dutos na superfície do solo, facilitando a infiltração, onde esse já é um efeito direto da vegetação. As raízes, por sinal, são um dos componentes da vegetação que mais está associado com a dinâmica da água sobre o solo (HILLEL, 1998).

Raízes são um sistema complexo da anatomia das plantas composta de células e tecidos desenvolvidos para desempenharem diversas funções. Por exemplo, a região de divisão mais rápida de células chamada de "root cap" é onde ocorre o aprofundamento das raízes e as raízes capilares são uma malha de raízes finas que aumentam a área de contato e absorção com o solo (HILLEL, 1998). Se entendermos a anatomia e as propriedades dessas estruturas podemos começar a ter uma compreensão do funcionamento das plantas e traçar o mecanismo de interação da mesma com o solo.

Dentro desse contexto, podemos descrever ainda mecanismos de interação entre a matriz do solo e as raízes. A sucção, por exemplo, - mecanismo pelo qual se aspira água – está presente tanto no solo, quanto nas plantas. A sucção da água no solo está relacionada com um fenômeno físico de adesão e coesão das moléculas de água que resultam em sua ascensão (quando ocorre capilaridade) ou em decesso (quando o potencial gravitacional se sobressai). As plantas internamente também possuem mecanismo de sucção, dessa forma a teoria sucção-coesão-tensão, que relaciona transpiração e absorção de seiva bruta, explica que quanto maior a transpiração das folhas maior a força de sucção sobre as moléculas de água no sistema (CARLQUIST, 1977). Portanto, conforme o teor de água esteja alto a sucção das raízes não precisa ser muito diferente da sucção significativa do solo. No entanto,

no momento que a taxa de transpiração passa a ser maior que a água que a planta pode extrair do solo e a planta não consegue ajustar a sucção das raízes isso pode acarretar no ponto de murcha. O ponto de murcha pode decorrer de diversos fatores, como a baixa densidade de raízes, intensa evapotranspiração, escassez de água. Daqui resulta que, à medida que aumenta a evaporação atmosférica e a condutividade do solo diminui, a sucção média de água no solo em que a murcha ocorre tenderá a ser menor. Com uma aproximação grosseira, por vezes, é possível dividir o sistema radicular em duas camadas: uma camada superior, em que a densidade de raízes é maior e quase uniforme e em que o esgotamento da água é igualmente uniforme, e uma camada inferior, em que as raízes são relativamente escassas e em que a taxa de esgotamento da água é lento (HILLEL, 1998).

Em relação a influência química que a vegetação traz para os solos, destacamos o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Os nutrientes advindos da ciclagem de nutrientes podem ser oriundos da transferência de elementos acumulados no dossel que escorrem através da precipitação pelos troncos e folhas (SIOLI, 1985). A deposição seca pode conter excrementos animais da própria floresta, mas também podem ter origem a quilômetros de distância como aerossóis marinhos ou de resíduos de queimadas. (MACINTYRE, 1974). A ciclagem de nutrientes é entendida como a retranslocação de nutrientes advindos de folhas senescentes para as novas folhas. Esse processo compreende à formação da serapilheira, à decomposição e à reabsorção dos nutrientes por parte do ecossistema. A serapilheira, elemento protagonista na formação da matéria orgânica do solo, ocorre em geral de maneira contínua nas florestas tropicais. A estrutura e diversidade das comunidades florestais dão diferentes respostas na formação e decomposição da serapilheira (WARDLE et al. 1997). Entendemos que serapilheira influi no balanço hídrico, tendo em vista que folhas, cascas, sementes, entre outros materiais depositáveis em solo, trazem consequências hidroecológicas. A serapilheira eleva os nutrientes no solo, pode interceptar 34% das taxas de chuva (por ex; GERRITS et al. 2006), retém umidade no solo, responsável por taxas de 300% de retenção hídrica em alguns trechos florestais (por ex; MATEUS et al. 2003), além da morfologia das folhas presentes na serapilheira alterar as taxas de escoamento (por ex; KIM et al 2014). A densidade de serapilheira em uma localidade depende de muitas variáveis, ente elas o tipo de vegetação e estágio sucessional. Essas serão principalmente consideradas

em nosso estudo devido às áreas se diferenciarem principalmente em estágio sucessional e forma de restauração – espontânea ou induzida.

A importância do sistema de raízes nos ecossistemas florestais, assim como as serapilheiras como elementos que influenciam diretamente sobre a hidrologia do solo, são inquestionáveis. Porém, existem aspectos importantes, como, arquitetura e abertura de copa, biomassa, fluxo de tronco entre outros mais específicos importantes e que devem ser consideradas. Do ponto de vista de copa por exemplo, temos comportamentos quase que antagônicos dependendo da sazonalidade ou condição climática. A copa densa que favorece uma sombra que mantém temperaturas mais amenas reduzindo a evapotranspiração mantendo a umidade no solo, pode ser responsável por uma alta interceptação que faz com que chegue um volume mais baixo de precipitação ou até mesmo volume algum de água (CALLAWAY, 2007).

4 METODOLOGIA

4.1.1 Local de estudo

A Colônia Juliano Moreira está localizada na zona oeste do Rio de Janeiro, situado na zona de amortecimento e parte do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), onde o estudo será realizado (22°56' S, 43°23' O). A altitude na região é 75 metros do nível do mar e o domínio fitofisiográfico é Floresta Ombrófila Densa Montana (IBGE, 2012).

O desenvolvimento do município do Rio de Janeiro caracteriza-se pela ocupação de suas planícies litorâneas se espraiando para suas vertentes que via de regra possui formação de Mata Atlântica. Adjacente ao PEPB (Figura 5), a área de estudo está no ambiente de transição entre as regiões mais planas indo para as vertentes que se espalham ao longo do maciço. As encostas do Rio de Janeiro foram utilizadas inicialmente pela expansão do cultivo agrícola, que conta ainda hoje com remanescentes na zona oeste do município produzindo principalmente banana. Sabemos que a retirada da vegetação na região foi originada por diversos ciclos agrícolas de exploração econômica, entretanto, não é precisamente 2005).

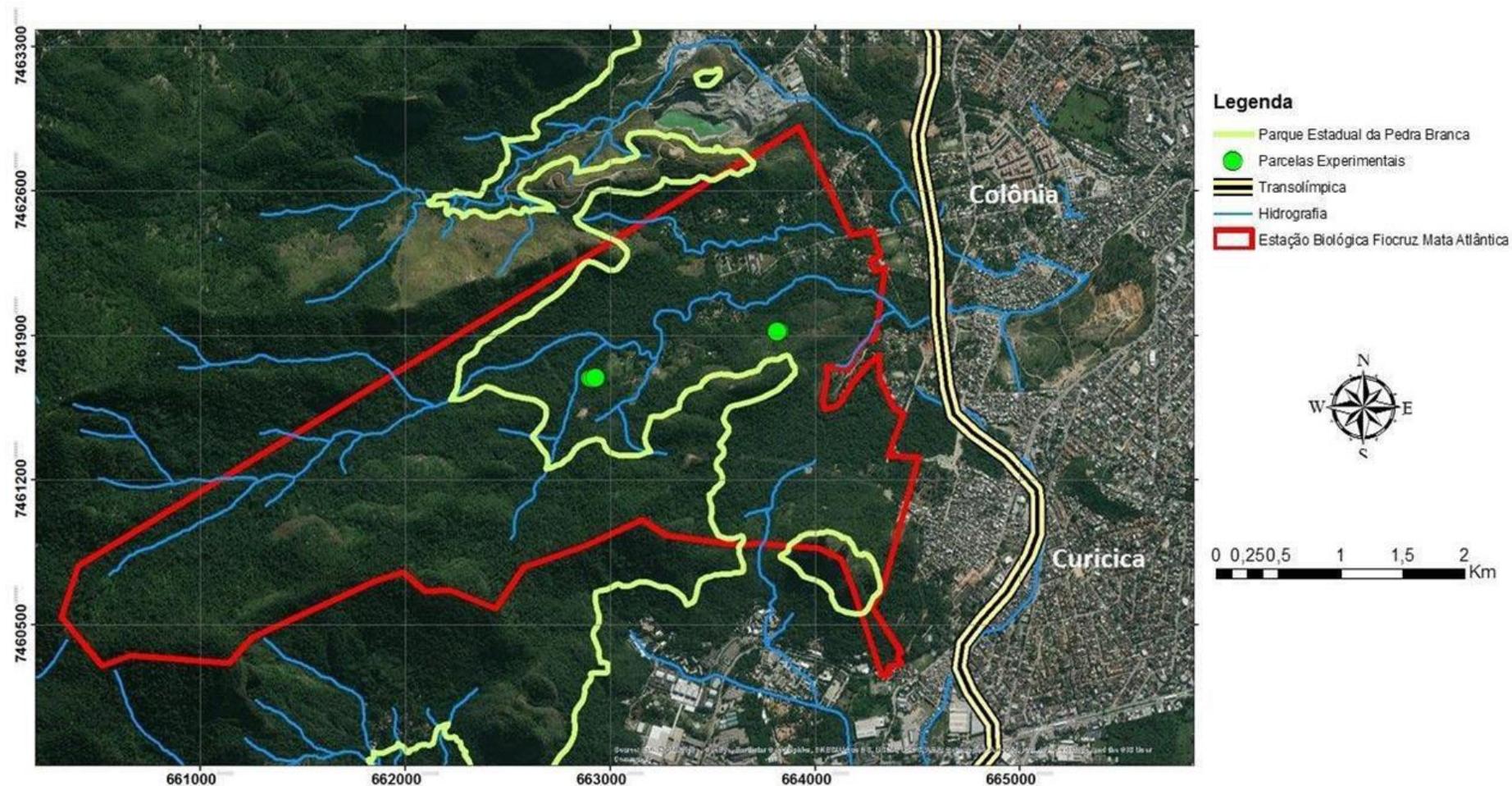


Figura 5- Mapa de localização das parcelas experimentais em relação ao CFMA, PEPB e a expansão urbana (adensamento urbano e obras de infraestrutura como transolímpica)

Entre os ciclos predominantes na região podemos destacar as monoculturas de cana e café no final do século XIX, além da retirada de lenha para carvão sendo essa atividade significativa para abastecimento da malha urbana, principalmente no período de 1940 e 1950 (SOLÓRZANO et al. 2005). Após o declínio do potencial agrícola em decorrência do uso desordenado dos recursos locais, essas atividades foram sendo abandonadas permitindo a regeneração espontânea da floresta. Especificamente onde o Campus Fiocruz está instalado funcionou a Colônia Juliano Moreira entre os anos de 1935 até 1960, tendo internos no local que desenvolviam atividades agrícolas para fins terapêuticos e após o fechamento da Colônia psiquiátrica ficou abandonada por muitos anos. Na maior parte da área, não se tem registro de intervenções humanas com intuito de restabelecer o ecossistema florestal que vigorava antes dos ciclos agrícolas. Dessa forma, conclui-se que toda vegetação existente na área foi oriunda de regeneração após o cessar dos ciclos mencionados.

O clima da região é tropical úmido, do tipo Af, de acordo com o sistema de Köppen. A média anual da temperatura chega a 26° C e a precipitação média anual é de 1.187 mm, não sendo homogênea estando exposta a variações sazonais, onde os meses de julho a outubro são mais secos decaindo a média da precipitação para os valores 880 e 970 mm (OLIVEIRA et al. 1980; SMAC, 2000).

Atualmente a ocupação da região resume-se em: adensamento urbano sem planejamento, estruturas hospitalares (devido ao histórico da região que durante muitos anos foi área de isolamento de doentes mentais, as extintas colônias), a via expressa BRT- TransOlimpica, tudo dentro da zona de amortecimento e rodeada pelo Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB) e inserida no Campus Fiocruz Mata Atlântica, onde existe a Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (onde nossa parcela está precisamente alocada). Todas essas ocupações geram um território singular em diversos pontos de vista, inclusive o que aqui nos interessa, ambiental.

4.1.2 Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica

A Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EBFMA) localiza-se em parte do Campus Fiocruz da Mata Atlântica (CFMA), esta que tem trecho sobreposto ao Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB) e sua zona de amortecimento, região de Jacarepaguá, Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro (Figura 6)

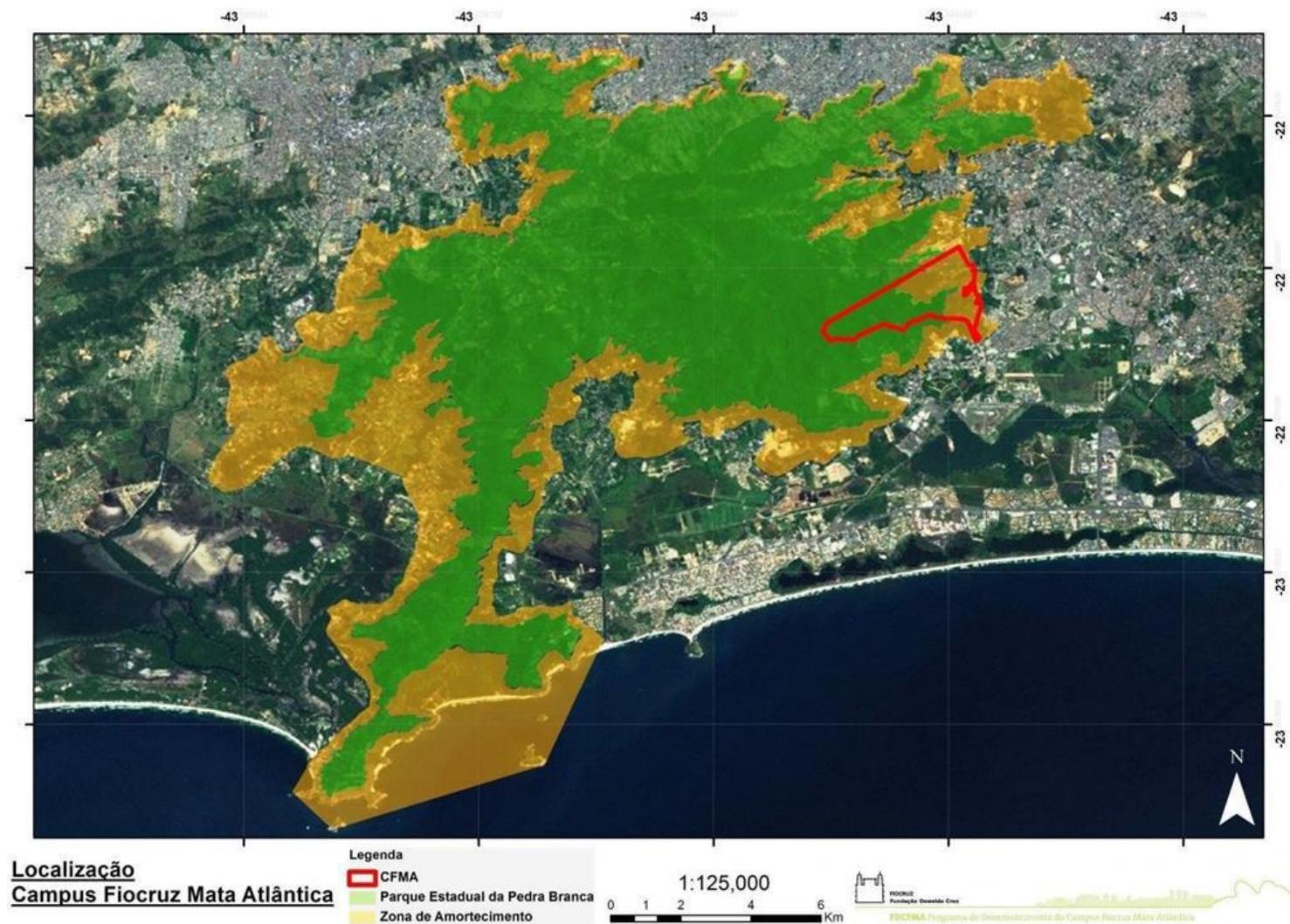


Figura 6 - Localização do Campus Fiocruz Mata Atlântica em relação ao maciço da Pedra Branca, ao PEPB e sua zona de amortecimento.

Abrange todas as áreas definidas como não edificáveis no Plano Diretor do CFMA e seus documentos futuros de revisão, as quais incluem: toda a área do CFMA acima da cota altimétrica de 30 metros; e as áreas abaixo dessa cota já restauradas ou em processo de restauração ecológica (Figura 7). Dessa forma a EBFMA ocupa 70% da área do Campus Fiocruz da Mata Atlântica (Portaria Fiocruz 522/2016-PR). A EBFMA tem como missão apoiar, incitar e abrigar, em sua área de influência, a pesquisa, a inovação, a educação e além da disseminação e divulgação de conhecimentos sobre a complexidade socioambiental e a relação entre biodiversidade e saúde, no âmbito da missão da Fiocruz (Portaria Fiocruz 522/2016-PR).

Quando contextualizamos o surgimento das Estações na conjuntura global, percebemos que elas surgem e são laboratórios naturais para cientistas, estudantes e o público interessado em meio ambiente (TYDECKS et al. 2016). Possuem grande importância para pesquisa, monitoramento ambiental, educação e conscientização (ORGANIZATION OF BIOLOGICAL FIELD STATIONS, 2016). Destacam-se pelo papel estratégico na compreensão de questões biológicas, principalmente aquelas associadas às mudanças climáticas, à perda de biodiversidade, às espécies invasoras e ao declínio de polinizadores, seja em escala local, regional ou global (BAKER 2015, TYDECKS et al. 2016). Essas alterações têm impacto direto no bem-estar humano, pois estão relacionadas a grandes desafios como a emergência de doenças infecciosas, mudanças ambientais e segurança alimentar (SCIENTIFIC COLLECTIONS INTERNATIONAL 2015).

Nesse contexto, a EFMA é a primeira Estação Biológica do mundo voltada para entender relações em biodiversidade e saúde em área de elevada pressão antrópica; e a terceira do planeta localizada em região de elevada influência humana (Índice de Influência Humana [Human Influence Index] ≥ 60 ; Wildlife Conservation Society e Columbia University). É também a primeira Estação Biológica do Ministério da Saúde e a única do Município do Rio de Janeiro.

4.1.3 Seleção das áreas amostradas

Selecionamos, dentro da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, duas áreas seguindo dois critérios: (i) vegetação em estágios sucessionais distintos e (ii) minimizar a variação ambiental (topográficas, pedológicas e geológicas) entre áreas (Figura 8 e 9). Esse segundo critério foi estabelecido para garantir que fosse de fato observado à questão de interesse desta pesquisa.

Realizamos o MDE (modelo digital de elevação) a partir dos dados altimétricos-curva de nível e pontos cotados - e da hidrografia fornecidos pelo IPP (Instituto Pereira Passos) no software Arc Map 10.3. A partir da geração desses mapas pudemos escolher áreas que tivessem inclinação semelhante, definindo a área AP com declividade de 16 graus e a área AS com 14 graus, também obtivemos a cota de cada área mantendo as duas na cota 40.

Selecionamos então duas áreas com históricos de perturbação distintos, onde uma está a mais tempo isolada de ações humanas do que a outra. A área que aparenta estágio pioneiro (AP) (detalhes em 5 RESULTADOS, 5.2 RESULTADOS DESCRITIVOS, 5.1.2 Estrutura da vegetação) onde ainda observa-se constantes intervenções humanas, como plantios de mudas oriundas das medidas compensatórias destinadas à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Cultura (SMAC), algumas rebrotas, principalmente das espécies presentes no plantio e diversas gramíneas (Figura 10-A, 10-B, 10-C, 10-D, 10-E, 10-F). Que possui aproximadamente 9 anos de existência quando o primeiro plantio foi realizado na área, conhecida na região como Morro do Urubu.

Relatos indicam que a área mais isolada não sofre perturbação direta do homem há aproximadamente 60 anos, onde atualmente, já se encontra uma floresta fisionomicamente estruturada e que consideramos como área da floresta secundária (AS). A área abriga diversas atividades de pesquisa com enfoque em Restauração Ecológica e pesquisa com Zoonoses, e conta com alguns trechos de plantio de enriquecimento (mais detalhes em 5 RESULTADOS, 5.2 RESULTADOS DESCRITIVOS, 5.1.2 Estrutura da vegetação; Figura 13-A, 13-B, 13-C, 13-D, 13-E, 13-F).

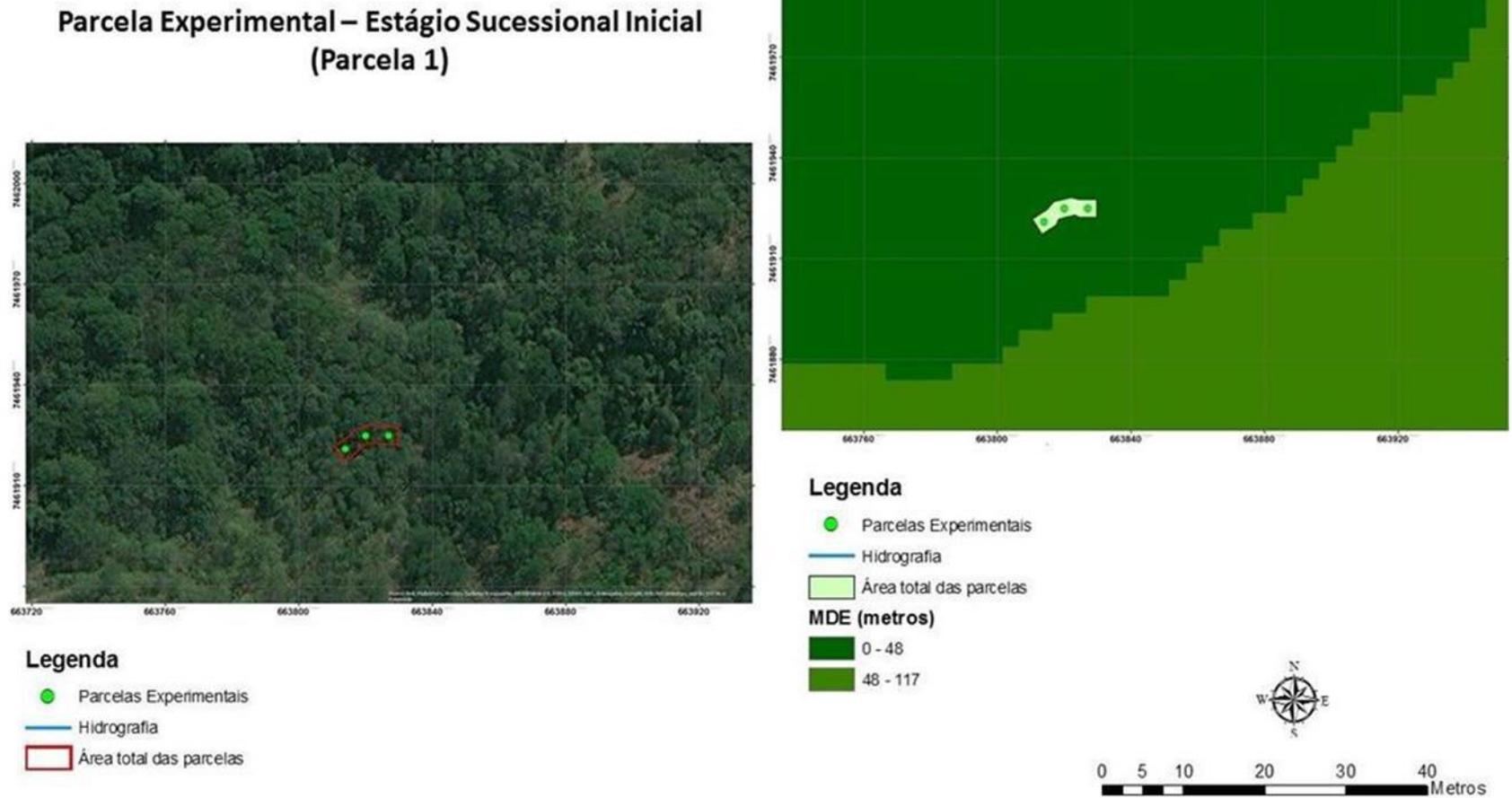


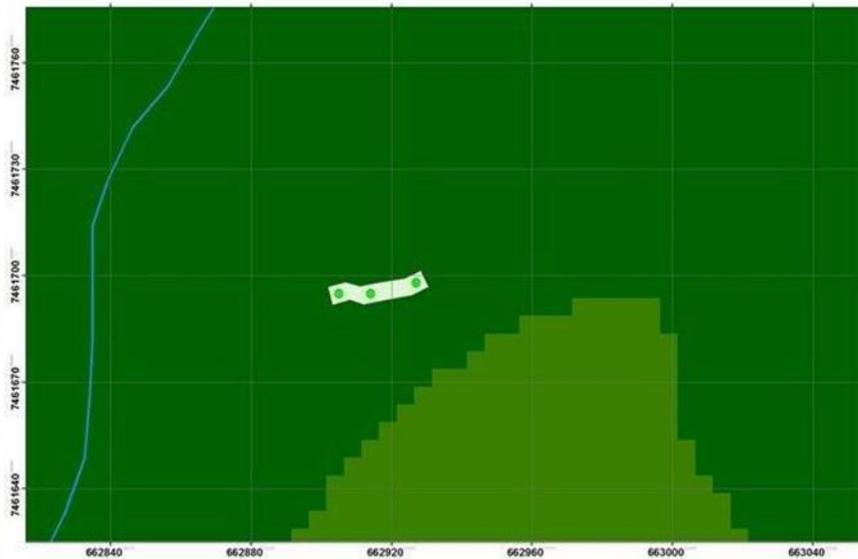
Figura 8 - Mapa de localização da área total da parcela AP (Área Pioneira) visto em imagem de satélite e área localizada no MDE (Modelo Digital de Elevação)

Parcela Experimental – Estágio Sucessional Médio (Parcela 2)



Legenda

- Parcelas Experimentais
- Hidrografia
- Área total das parcelas



Legenda

- Parcelas Experimentais
 - Hidrografia
 - Área total das parcelas
- MDE (metros)**
- 0 - 48
 - 48 - 117

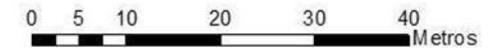


Figura 9 Mapa de localização da área total da parcela AS (Área secundária) visto em imagem de satélite e área localizada no MDE (Modelo Digital de Elevação)

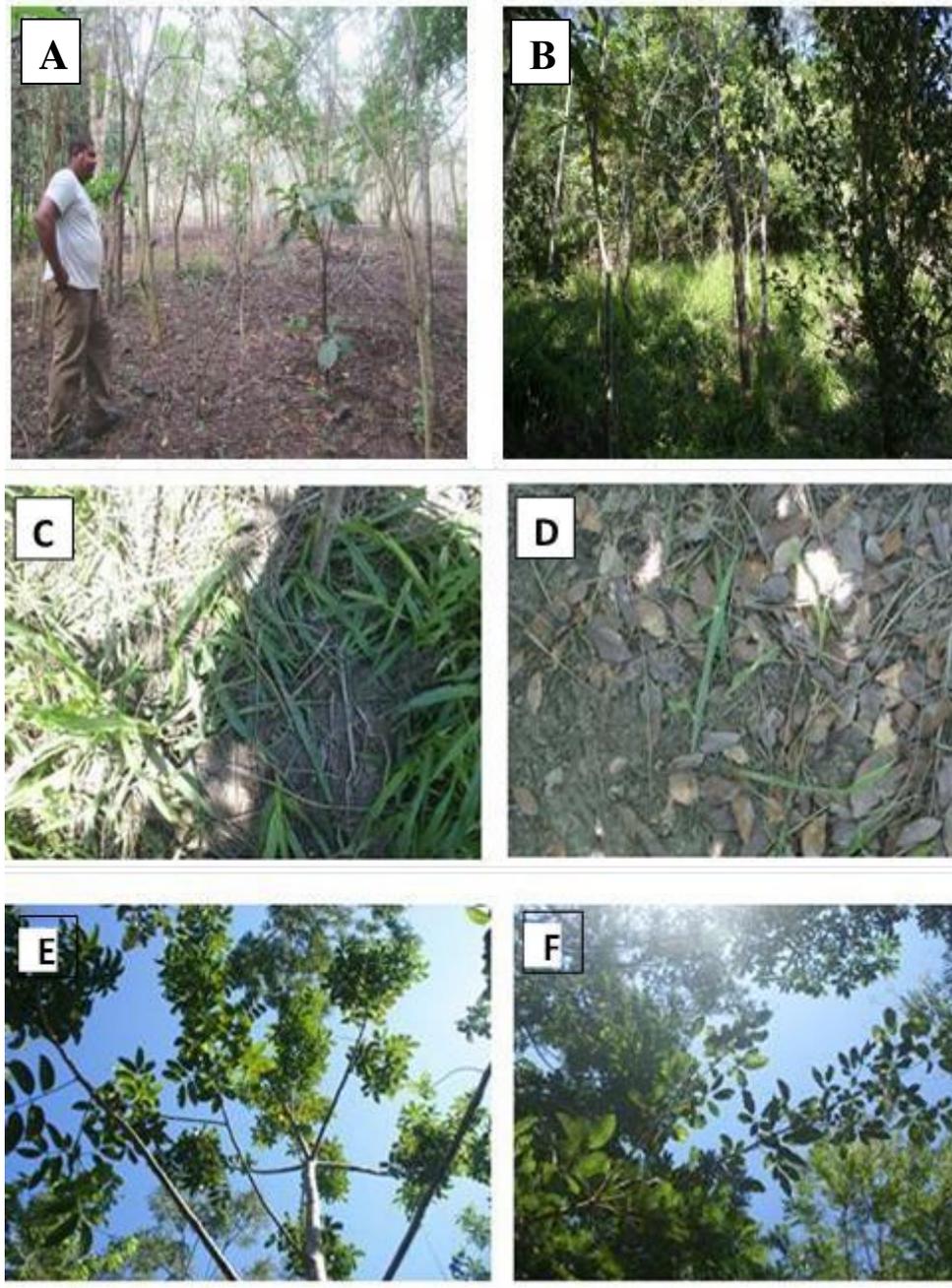


Figura 10 - : A) Foto da área onde foram instaladas nossas parcelas AP (Área Pioneira), mostrando a ausência de um sub bosque; B) Área das parcelas AP e a forte presença de gramíneas; C) Topo do solo coberto por gramíneas; D) Serapilheira presente na AP; E) e F).



Figura 11 - - Foto área de instalação da parcela na área pioneira (AP), com destaque para trincheira aberta para descrição dos horizontes e classificação.



Figura 12 - Foto área de instalação da parcela na área secundária (AS), com destaque para trincheira

4.2 Análise das propriedades físicas do solo

Para fazer a análise das propriedades do solo foram abertas 1 (uma) trincheira de perfil do solo por área com cerca de 1,25 metros de profundidade objetivando caracterizar os horizontes do solo, coletar amostras e observar a atividade de raiz e fauna. As trincheiras foram abertas em degrau com auxílio de enxadas, enxadões e pás de terra para facilitar o trabalho de classificação do solo, estando localizadas no terço inferior de encosta, de aproximadamente 12% de declividade, sob áreas de diferentes coberturas florestais.

Foram definidas as características da textura de cada horizonte do solo a partir do Triângulo Textural (EMBRAPA, 1997) e coletados 3 (três) amostras indeformadas em cada horizonte com auxílio do anel de KOPECKY. Essas coletas foram realizadas seguindo a orientação do perfil do solo, ou seja, paralelo ao perfil a fim de manter a estrutura dos agregados dentro dos anéis. Ainda com as amostras indeformadas coletadas foi obtido o resultado de: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, micro porosidade e macro porosidade. Elas então foram armazenadas em uma caixa de isopor para evitar a transpiração do solo coletado, onde posteriormente foram levadas a EMBRAPA SOLOS no Jardim Botânico-RJ para a sequência de análises físicas e químicas.

Para as análises físicas foi utilizado na EMBRAPA SOLOS os métodos de dispersão total para granulometria e argila dispersa em água para obter a argila 100% floculada. Para o cálculo da densidade foi utilizada estufa, já para micro e macro porosidade foram utilizadas a mesa de tensão e as painéis de Richards. Também foram feitas análises químicas do solo como teor de Al (Alumínio) e carbono orgânico.

4.3 Delineamento amostral

Foi ponderado um delineamento amostral que buscasse detectar o padrão da variação da permeabilidade do solo, através da condutividade hidráulica (detalhes a seguir em 4 METODOLOGIA, 4.5 PROPRIEDADES HÍDRICAS DO SOLO, 4.5.1 Condutividade Hidráulica), e umidade do solo, através do potencial matricial (detalhes a seguir em 4 METODOLOGIA, 4.5 PROPRIEDADES HÍDRICAS DO

SOLO, 4.5.2 Monitoramento Do Potencial Matricial), entre e dentro das áreas AP e AS e relacionar esses padrões aos atributos da estrutura da vegetação.

Para isso utilizamos 3 (três) unidades amostrais (Figura 14) de 5x5 metros (25 m²) distantes 5 metros uma a da outra em cada área, totalizando 6 (seis) unidades amostrais (parcelas). Cada parcela foi subdividida em sub-parcelas de, aproximadamente, 1.65x 1.65 m, totalizando 9 (nove) subparcelas por parcela (Figura 14). Avaliamos para condutividade hidráulica 2 (duas) profundidades diferentes por parcela (superficial e profunda) e 3 (três) profundidades (superficial, mediana e profunda) na avaliação do potencial matricial. Para o caso, da condutividade hidráulica, as réplicas foram aleatorizadas entre as sub-parcelas em cada parcela, enquanto que para o potencial matricial sistematizamos as réplicas dispendo-as lado a lado no centro de cada parcela. Detalhes estão expostos nos tópicos referente a rotina metodológica de cada parâmetro (4.5.1 Condutividade Hidráulica e 4.5.2 Potencial Matricial).



Figura 13 - Esquemática do delineamento amostral

4.4 Propriedades hídricas do solo

Em laboratório foi medida a umidade obtida no aparelho extrator de Richards. Onde, amostras de solos saturadas são colocadas em placas de cerâmica/membrana anteriormente saturadas a uma determinada pressão, até alcançar a drenagem máxima da água nos seus poros que corresponda a tensão aplicada. Em nosso caso não foi obtida a curva inteira e sim os valores de tensão de : 0,01; 0,033; 0,1, que são a faixa conhecida como Capacidade de Campo (CC) (EMBRAPA, 1997).

Para análise das propriedades hídricas do solo em AS e AP decidimos, após observação do perfil do solo, e considerando a influência da densidade e profundidade de raízes escolher duas profundidades para a mensuração do $K(\text{sat})$ e três profundidades para o potencial matricial (LAWALL, 2010; GERIS, 2015). Isso porque esperamos diferentes padrões ao longo do perfil e acreditamos necessário amostrar diferentes horizontes e comportamento das raízes, impacto da chuva, presença de serapilheira e fauna edáfica. Escolhemos então as profundidades de: 15 cm, 40 cm e 60 cm. Representando três horizontes de cada uma de nossas trincheiras, também foi visto que a maior das pesquisas foca no primeiro metro do solo, pelas questões já destacadas.

4.5 Condutividade Hidráulica

Para a medição da condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) utilizamos o Permeâmetro modelo IAC, desenvolvido com embasamento no Permeâmetro de Guelph por Vieira (1995-1998). No centro de cada sub-parcela foram escavados furos de 10 cm de diâmetro, sendo que cada parcela contém 3 (três) furos por profundidade (15 cm e 40 cm) dispostos aleatoriamente dentro de cada parcela, sendo um total de 36 ensaios de condutividade rodados (Figura 15). A taxa de fluxo (cm/s) foi originada pela leitura do nível d'água através do reservatório graduado, em centímetros, em leituras regulares, segundos. Cada ensaio levou entre 30 e 60 minutos, dependendo das condições do solo, quando o steady-state foi alcançado, considerando-o a partir de três medições consecutivas estabilizadas.

Esse procedimento versátil através do permeâmetro de carga constante, baseia-se na aplicação da Lei de Darcy e a taxa de fluxo de estado de equilíbrio da água (Q), sob carga variável (H) na parte inferior de um orifício cilíndrico de raio (r) que é medido. Devido a criação de equipamentos como esse é possível descobrir a taxa do estado de equilíbrio da água com alguns litros de água (THERON et al. 2010).

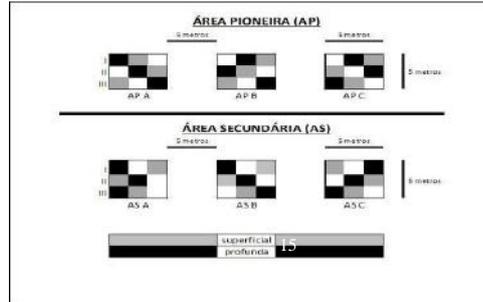


Figura 14 - Delineamento experimental da condutividade hidráulica. Fonte: Acervo Pessoal

O roteiro de campo para realizar a medição então foi: (a) nivelamento do equipamento sobre o furo e preenchimento do reservatório de água; (b) aplicação da carga hidráulica (h) até atingir os 10 centímetros, impedindo a agitação das partículas mais finas do solo distorcendo os resultados da condutividade hidráulica saturada e (c) leitura da regra graduada em intervalos de 30 segundos e (d) anotação em planilha de campo. O decaimento da água observado no reservatório pode ser considerado como a vazão constante (cm/s) do estado de equilíbrio (Figura 16-A, 16-B).

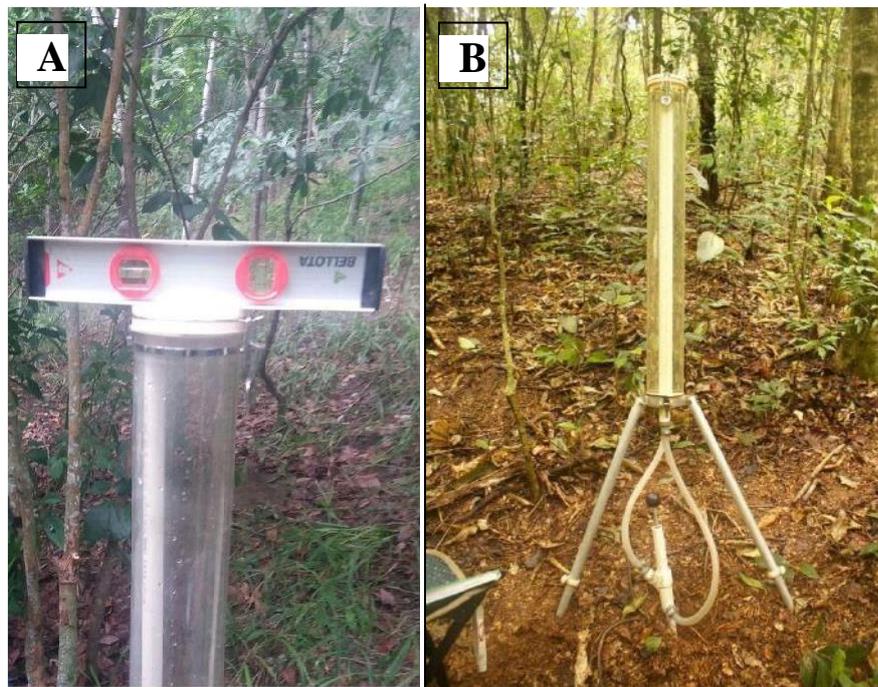


Figura 15 - Foto A) Nivelamento realizado para os ensaios de condutividade hidráulica saturada em campo; Foto B) permeâmetro de GELPH-IAC montado em campo. Fonte: Acervo Pessoal

Foi utilizada posteriormente a equação de Elrich et al. (1989) (Equação 2). Essa equação foi escolhida pelo fato de utilizar apenas uma carga hidráulica, ideal para ambientes heterogêneos, como a maior parte dos ambientes tropicais.

Equação 2.

$$K_{sat} = CQ \div [2\pi H^2 + C\pi a^2 + (2\pi \div \alpha)]$$

Onde: K_{sat} = Condutividade Hidráulica saturada (cm/s); C = constante de proporcionalidade adimensional; Q = vazão constante (cm³/s); a = raio do furo (cm); H = Carga constante aplicada (cm); α = parâmetro de correção do meio poroso (cm/s).

O parâmetro C é um fator de geometria que depende do tipo de solo, microestrutura e macroporos, e da relação H/a (carga/raio do poço) que será determinado quantitativamente a partir da Equação 3 e/ou de forma analítica.

Equação 3.

$$C = A (a) B$$

Onde: A e B são parâmetros de ajuste segundo a Tabela

Tabela 2 - Tabela dos parâmetros A e B .

Textura do Solo	A	B
Areia	0.5982232789	0.647467571
	9	
Silte e argila estruturados	0.5939456566	0.636501123
		2
Argila não estruturada	0.5697527087	0.623722965
		2

Com isso, poderemos então detectar o padrão de variação local da condutividade hidráulica (K_{sat}) tanto a partir do seu comportamento médio (média aritmética) quanto da sua variabilidade (coeficiente de variação). Mais detalhes em 4

METODOLOGIA, 4.7 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS: DESCRIÇÃO E ESTATÍSTICAS.

4.6 Monitoramento do Potencial Matricial

O acompanhamento da umidade do solo será realizado, de forma indireta, por meio de sensor Watermark (Figura 17-A) onde obteremos o potencial matricial. Os sensores serão colocados em 3 (três) profundidades (15 cm, 40 cm e 60 cm) com intuito de captar influências de diferentes propriedades do solo, densidades de raízes, fauna edáfica e matéria orgânica. Seguindo a orientação do fabricante os sensores foram colocados nas profundidades através de dutos finos feitos no solo com trado tipo rosca e, posteriormente, preenchidos com o solo extraído do próprio furo minimizando a perturbação no solo e raízes. Os sensores foram dispostos lado a lado na porção central de cada parcela em ambas as áreas (Figura 18).

Durante os dias 14 a 30 de junho de 2017 por volta de 9 (nove) horas da manhã foi feito a medição do potencial matricial de todos os sensores instalados em AS e AP e anotados em planilha de campo (Figura 17-B, 17-C, 17-D, 17-E).



Figura 16 - A) Leitor manual dos sensores instalados em campo (Irrometer Watermark Soil Moisture); B) Capsulas levadas a campo previamente saturadas; C) Trado de rosca realizando abertura para instalação dos sensores; D) Coleta do solo retirado ao perfurar o solo

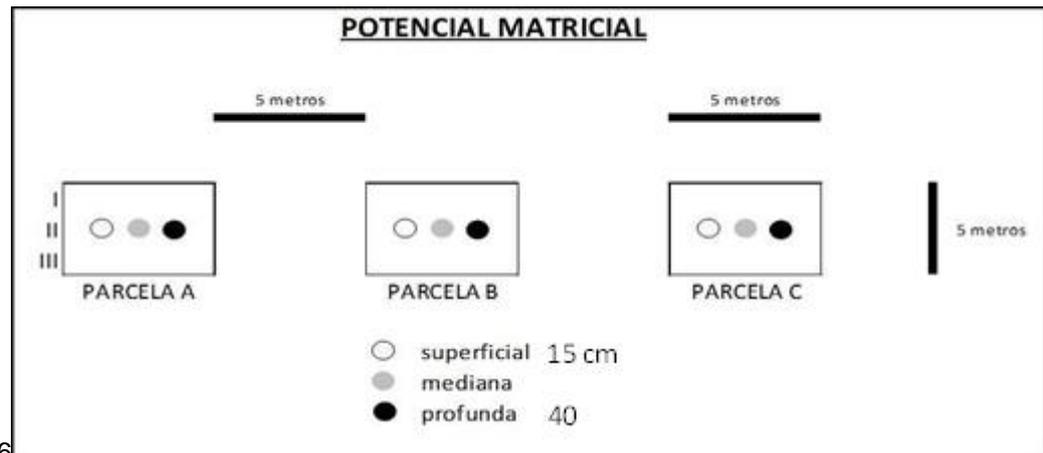


Figura 16

Figura 17 - Delineamento experimental executado em AP e AS no monitoramento do potencial matricial

4.7 Instalação dos pluviômetros e medição da precipitação

Foram instalados 3 (três) pluviômetros (Figura 19-A) em uma área localizada entre as áreas AP e AS que não sofre influência de vegetação. Essa área aberta está, no máximo, cerca de 800.0 (oitocentos) metros da parcela mais distante. Eles foram mensurados diariamente pela manhã e a média desses pluviômetros irá corresponder ao índice de pluviosidade médio diário. No centro de cada parcela um pluviômetro foi instalado para que possamos dimensionar a interceptação pela copa das árvores (Figura 19-B). Todos os pluviômetros foram instalados a 1,5 metros do solo para evitar possíveis respingos.



Figura 18 - Pluviômetros instalados na área controle, sem nenhuma cobertura (A) e área secundária (AS - B).

4.8 Avaliação da estrutura da vegetação

Com a finalidade de dimensionar as características da vegetação das áreas estudadas, foi mensurado, com o auxílio de uma fita métrica, a(s) circunferência(s) do(s) tronco(s) à 1,30 metros do solo (CAP) de todos os indivíduos arbóreos, mas só foram anotados aqueles com CAP maior ou igual a 15.5 centímetros. Esse critério é adotado a fim de definir os indivíduos considerados adultos em florestas do bioma Mata Atlântica e foram classificados e identificados a nível de espécie contabilizando a riqueza de espécies (S) e suas respectivas abundâncias de cada parcela.

Com a abundância e CAP, convertido em DAP (diâmetro à 1,3m do solo), de cada espécie por unidade amostral, calculamos parâmetros estruturais como retrato da estrutura atual da vegetação. A estrutura e a composição florística da vegetação ratificam o estado de sucessão florestal das áreas em análise, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 388 (2007). Para trabalharmos com critérios quantitativos que expressem a configuração da vegetação de nossas parcelas calculamos a dominância (Do) que expressa a ocupação em termos de área, densidade de indivíduos por m². Também foi calculada a diversidade de espécies que indica a complexidade, por parcela.

No centro de cada parcela, foi mensurado grau de abertura da copa das árvores (% - Abertura De Copa) através do aplicativo para smartphones GLAMA “Gap Light Analyser Mobile App” (Figura 20-A, 20-B). Essa métrica indica o quanto, em termos percentuais, as copas das árvores ocupam de área. Esse é um parâmetro consistente que tem sido utilizado para avaliar, por exemplo, a sucessão em florestas, além da evolução de projetos de restauração pelo próprio princípio da sucessão em florestas, como citado anteriormente. Mensuramos ainda a altura do dossel, onde identificamos visualmente a altura da maior parte das árvores da parcela e a medimos adaptando um inclinômetro.



Figura 19 - - A) Medição da altura (metros) do dossel e B) utilização do GLAMA em campo para mensurar a abertura de copa nos pontos onde foram monitorados o potencial matricial.

Além de avaliar o estrato arbóreo, ainda observamos o nível de ocupação de gramíneas exóticas; riqueza e abundância de espécies de outras formas de vida como: herbáceas, arbustos, lianas e epífitas; presença e estimativa de profundidade de serapilheira e altura das emergentes.

Todos esses parâmetros em consonância ratificaram o atual estágio na sucessão florestal encontram-se cada uma das áreas. Esses parâmetros são os que geralmente são encontrados em artigos sobre caracterização florística de determinado local e que ampara a base legal da Resolução CONAMA nº 388 (2007).

4.9 Processamento e análise de dados: descrição e estatísticas

Em caráter descritivo, testamos por meio de ANOVA (ZAR, 1999) a diferença entre as médias dos parâmetros da vegetação, com intuito de reforçar a disparidade estrutural entre áreas, e dos atributos hídricos do solo (Ksat e potencial matricial). Antes seguiu-se os pressupostos exigidos pela ANOVA e avaliamos a normalidade e a homocedasticidade dos dados. Essas análises respondem nossas primeiras perguntas.

Utilizamos regressões simples para detectar padrões de causa-efeito da vegetação na condutividade e potencial matricial do solo em todas as profundidades.

Para a relação vegetação-condutividade hidráulica utilizamos as médias de cada profundidade por parcela de cada área e para a vegetação-potencial matricial utilizamos os valores de kPa por parcela na máxima e mínima de precipitação.

Por fim, calculamos o coeficiente de variação (CV) da condutividade hidráulica nas 2 (duas) profundidades estudadas com intuito de avaliar a heterogeneidade espacial local da permeabilidade do solo. Todas análises estatísticas e gráficas foram elaboradas no R Studio Versão 0.98.1103 (R STUDIO TEAM, 2015).

5 RESULTADOS

5.1 RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO

5.1.1 Características pedológicas

Os solos de ambas as áreas foram visualmente classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abrupto. A diferença entre as áreas se dá no 5º nível categórico, onde AP é plintossólico e AS é cambissólico (SBCS, 2015). Ambas as áreas indicam formação *in situ* pela presença de minerais pouco intemperizados como mica e feldspato.

Em nosso perfil da AP foram classificados quatro horizontes (Figura 21), onde os horizontes iniciais (A e BA) apresentam textura franco-arenosa, transformando-se em mais argilosa nos horizontes seguintes (Figura 23). Nos dois últimos horizontes (Btg1 e Btg2) foram observadas a coloração variegada, típico em horizontes plínticos. Nesse perfil foi encontrada presença de raízes finas no horizonte A, sendo raramente encontrada nos demais horizontes. Em relação à atividade edáfica, foi detectada a presença de cigarra acerca de 30 cm da superfície.

No perfil da AS foram classificados quatro horizontes (Figura 22) e destacadas as mesmas características e possíveis observações existentes na área. De tal modo, que vimos horizontes com maior presença de argila com um típico horizonte Bt muito argiloso (Figura 24). A partir do horizonte Bt notou-se forte presença de material primário como mica e feldspato. Em termos de matiz destaca-se um horizonte C de coloração variegada. Em relação a raízes esse perfil também possui raízes finas e medianas nos horizontes A e Bt, raízes medianas e raras finas no BC e C. Sobre atividade edáfica essa área possui forte presença de fauna na superfície do solo, como: minhocas, formigas e cupins.

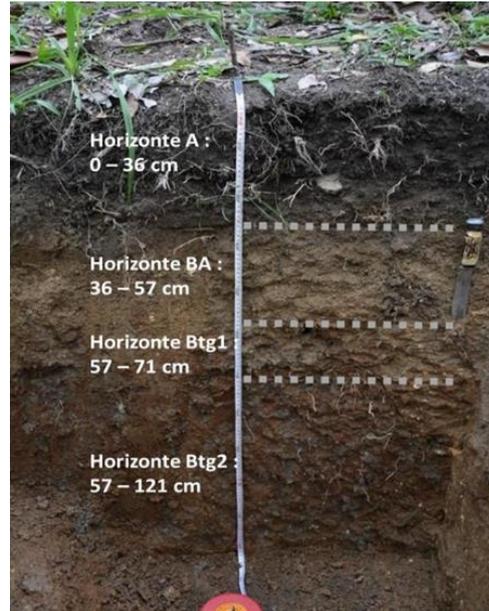


Figura 20 - Trincheira para análise do Perfil do Solo da área AP, com os horizontes encontrados após classificação-

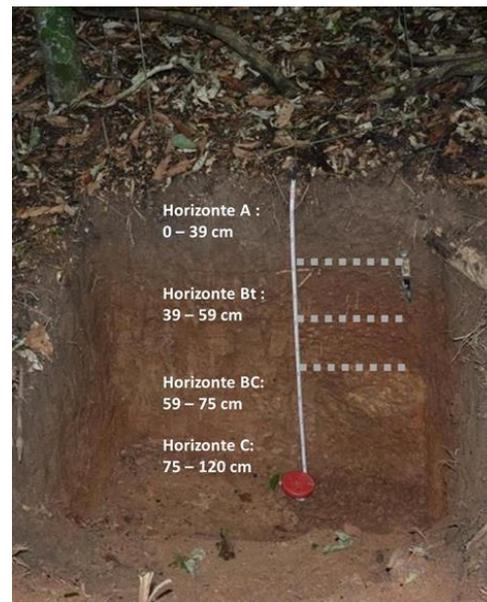


Figura 21 - Trincheira para Perfil do Solo da área AS, com os horizontes encontrados após classificação.

Constatamos na AP (Figura 23) através da composição granulométrica, que ocorre um acréscimo de argila do horizonte AB para o Bt1, enquanto teores de silte, areia fina e areia grossa se mantém com valores próximos. De forma semelhante, a composição granulométrica de AS (Figura 24) apresenta um aumento brusco de argila do horizonte A para o horizonte Bt. No entanto, a partir de BC começa a ocorrer queda nos teores de argila.

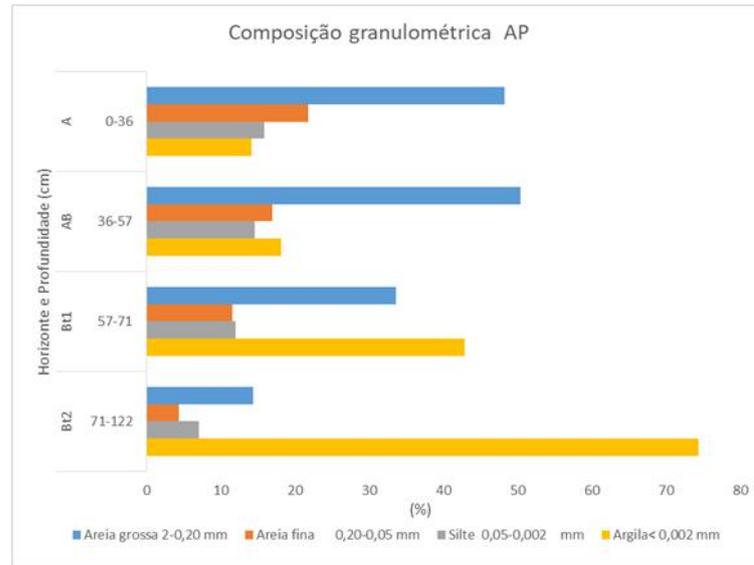


Figura 22 - - Gráfico da textura nas diferentes profundidades de nossa AP

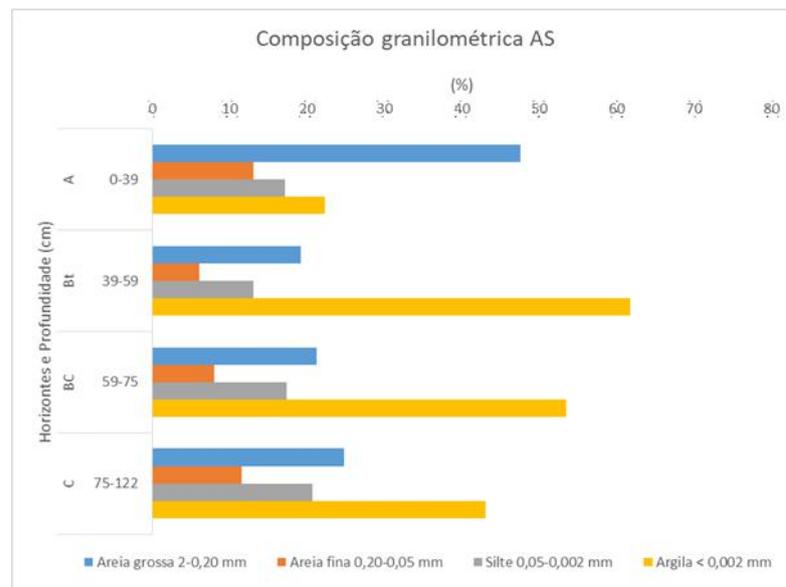


Figura 23 - Gráfico de textura nas diferentes profundidades de AS

As curvas de retenção (Figura 25 e 26) obtidas a partir de nossas amostras indicam que apesar das mesmas apresentarem padrão semelhante, os valores de umidade para cada sucção aplicada, em todos os horizontes e em todas as pressões aplicadas, são superiores em AS. Considerando que as tensões aplicadas se enquadram na capacidade de campo (CC), onde apenas os microporos estão ocupados com água, é possível afirmar que AS tem maior presença de microporos

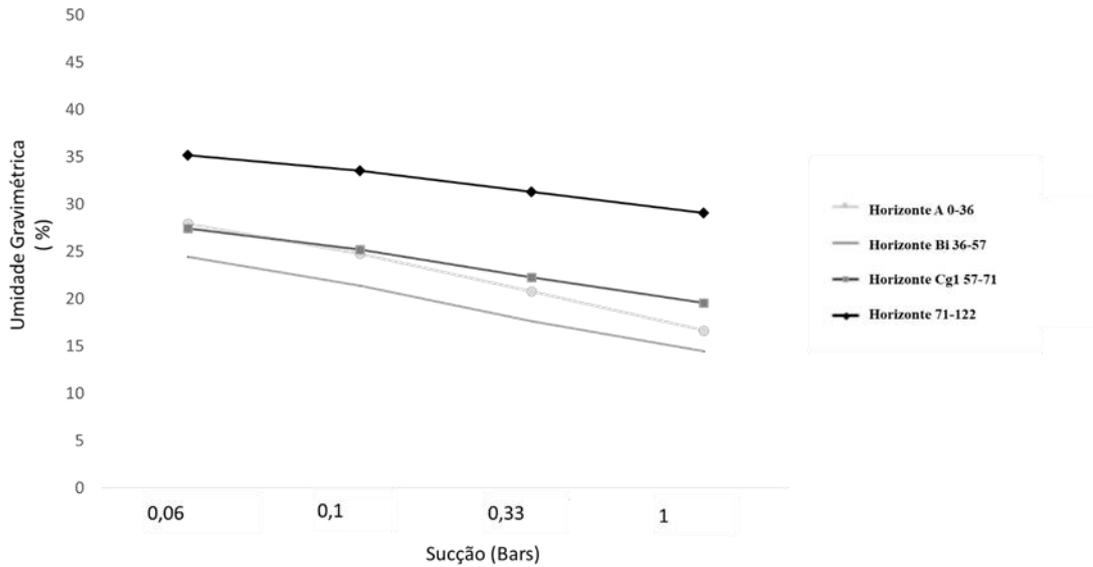


Figura 24 - : Curva de retenção da AP, de todos horizontes encontrados no perfil da trincheira aberta.

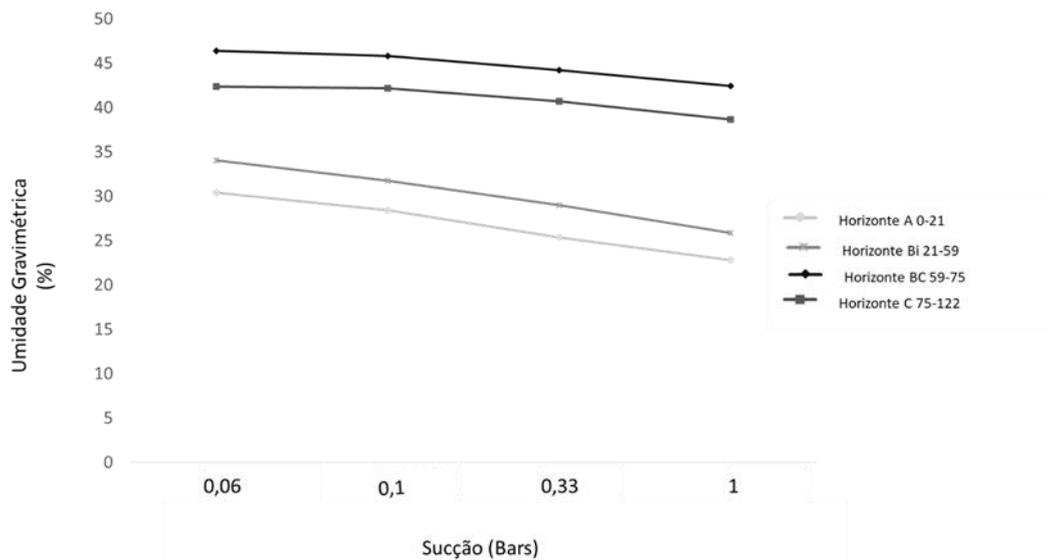


Figura 25 - : Curva de retenção AS, de todos os horizontes encontrados no perfil de trincheira aberta.

5.1.2 Estrutura da Vegetação Arbórea

Analisando os parâmetros das parcelas em AP e AS (Tabela 3) podemos então corroborar com as observações fisionômicas e históricas e entender o estado atual da estrutura da vegetação. Na AP observamos, em média, 3.3 espécies, 1.733 indivíduos/hectare, área basal de 2.03 m²/hectare, 9.22 cm de DAP médio, dossel de 5.3 metros e 34.21% de abertura de copa. Já em AS, 6 espécies, 4133.3 indivíduos/hectare, área basal de 20.55 m²/hectare, dossel de 15.7 metros e 11.45 %

de abertura de copa. Em AP observamos a predominância de *Machaerium hirtum*, *Inga laurina* e *Schinus terebinthifolia* e diversidade de Shannon-Wheaver 1.52 nats/ind. Já em AS predominam *Coussarea* sp. e *Sparattosperma leucanthum* e observamos uma diversidade de 1.88 nats/ind. Mais detalhes podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros descritores da estrutura da vegetação da comunidade arbórea das unidades amostrais das áreas AP e AS, com respectivas médias e desvio padrão. G = área basal, H' = diversidade Shannon, J' = Equabilidade de Pielou.

ÁREA	Estrutura da vegetação				
	Riqueza	Densidade	Área basal	Abertura de copa	H'
EP	3.3 ± 0.6	1733.3 ± 428.6	2.0 ± 1.3	34.2 ± 22.7	1.00 ± 0.4
ES	6.0 ± 2.6	4133.3 ± 877.3	20.5 ± 5.6	11.4 ± 3.9	1.48 ± 0.5
valor-F	19.69	64.8	111.2	7.3	8.6

Com isso, podemos categorizar, conforme a legislação vigente (CONAMA nº 388, 2007), a área AP realmente como uma área ainda em estágio pioneiro e AS como secundário, que para a legislação se trata de estágio médio, corroborando então com a análise prévia baseada em relatos históricos e aspectos fisionômicos da vegetação.

Mesmo assim, com intenção de diferenciar as áreas não só por caracterização descritiva, aplicamos a ANOVA entre as médias dos parâmetros estruturais da vegetação de AP e AS. Observamos que todos os parâmetros, com exceção de abertura de copa (valor-F = 1.81, valor-p > 0.1) são diferentes entre si, retratando a diferença estrutural das áreas. Mesmo que estatisticamente a abertura de copa (%) não tenha dado diferença, há um padrão típico do estágio atual das áreas (Figura 27). AP apresenta média e intervalo de confiança maiores do que AS. Áreas pioneiras caracterizam-se por pequenos núcleos de vegetação espalhados na paisagem, apresentando então sombreamento do solo extremamente heterogêneos. Esse padrão, por sua vez, não é observado em estágios médio e avançado (ou secundários e climáticos) onde há menor variância entre a média, já que a alta densidade de indivíduos adultos compõe um dossel mais estruturado e homogêneo.

Abaixo estão os gráficos que representam a distribuição dos valores de cada parâmetro da estrutura da vegetação entre as áreas AP e AS. Os gráficos deixam evidente a diferença entre as áreas, além de destacar o estado atual de cada vegetação arbórea (Figura 26).

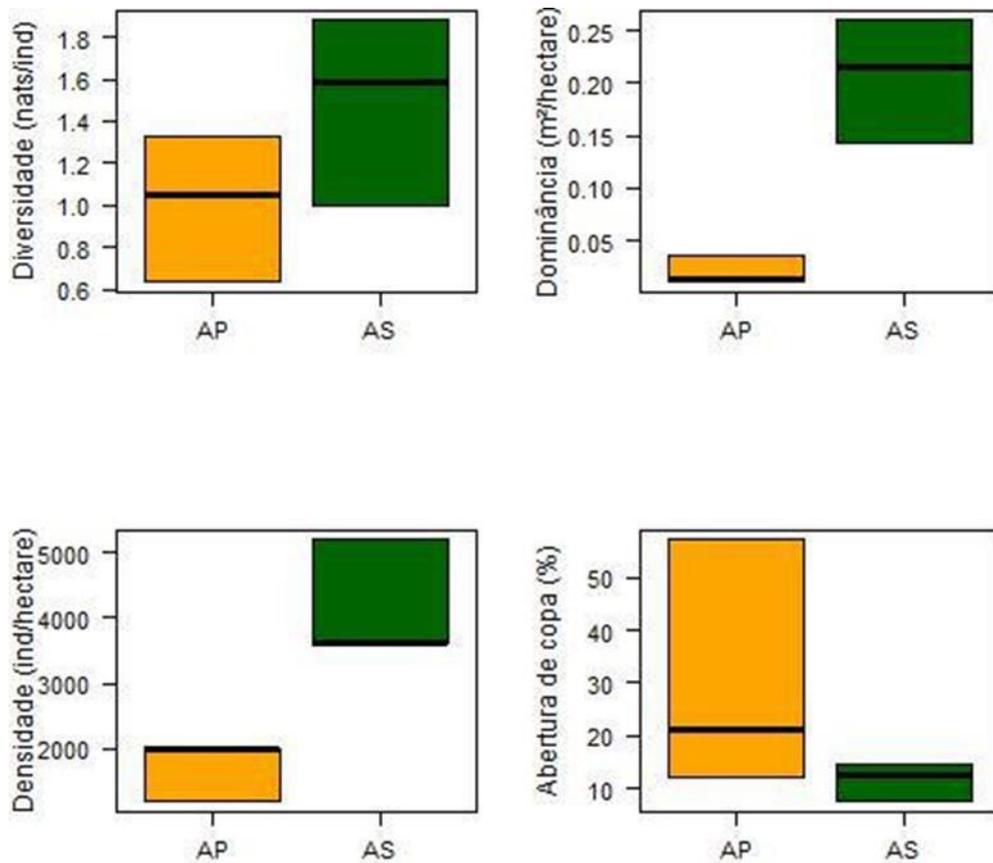


Figura 26 - :- Boxplot dos parâmetros da estrutura da vegetação das áreas AP (em laranja) e AS (em verde).

5.2. RESULTADOS DA DINÂMICA HÍDRICA DO SOLO E EFEITOS DA VEGETAÇÃO

5.2.1 Avaliação dos padrões do potencial matricial

Os gráficos dos seis pontos de monitoramento do potencial matricial (Figura 28 e 29), indicam que a profundidade de 15 cm, a mais próxima ao topo do solo, tem maiores teores de umidade. Em relação aos 40 cm de profundidade, AP e AS apresentam tendências diferentes, enquanto em AP ele se mantém com valor muito próximo ao 60 cm, em AS em termos gerais é a profundidade menos úmida. Nossa maior profundidade, 60 cm tem comportamento similar nos três pontos amostrados

em AP, compartilhando os teores mais baixos de umidade com 40 cm e saturando como as outras profundidades após o evento de precipitação. Em AS, 60 cm se mantém com maior umidade que 40 cm em termos gerais e é a profundidade que mais oscila após evento de precipitação. Comparativamente AP possui menor valor de umidade e apresenta um padrão mais homogêneo do que AS. Em todos os pontos de AP, as profundidades de 40 cm e 60 cm, as menos úmidas, atingem pico próximo a 80 kPa, no período entre chuvas (15 a 20 de junho), enquanto em 15 cm atinge valores mais baixos com pico de 40 kPa. Quando ocorre a precipitação (21 a 24 de junho), os valores de kPa caem abruptamente até bem próximo a 0 kPa, que indica a saturação do solo.

Já nas parcelas de AS se encontra maior dificuldade na definição de um padrão temporal do potencial matricial. Porém, pode-se destacar valores maiores na profundidade de 40 cm (média em torno de 70 kPa) e valores mais próximos entre 15cm e 60 cm (média em torno de 40 kPa) no período entre chuva. Cabe ainda destacar, que durante o período de precipitação ocorreu, assim como em AP, queda abrupta de kPa. Porém, durante esse período, houve oscilação nos valores do potencial matricial em AS, enquanto AP se manteve próximo a saturação.

Outro resultado importante para embasamento de nossa discussão é o índice de pluviosidade, marcados pelos nossos pluviômetros (Figura 28 e 29). Neles percebemos dois eventos de chuvas maiores do que 20 mm, nas duas áreas. O maior valor está em AP com aproximadamente 80mm de chuva, já em AS o dia de maior volume de precipitação alcançou aproximadamente

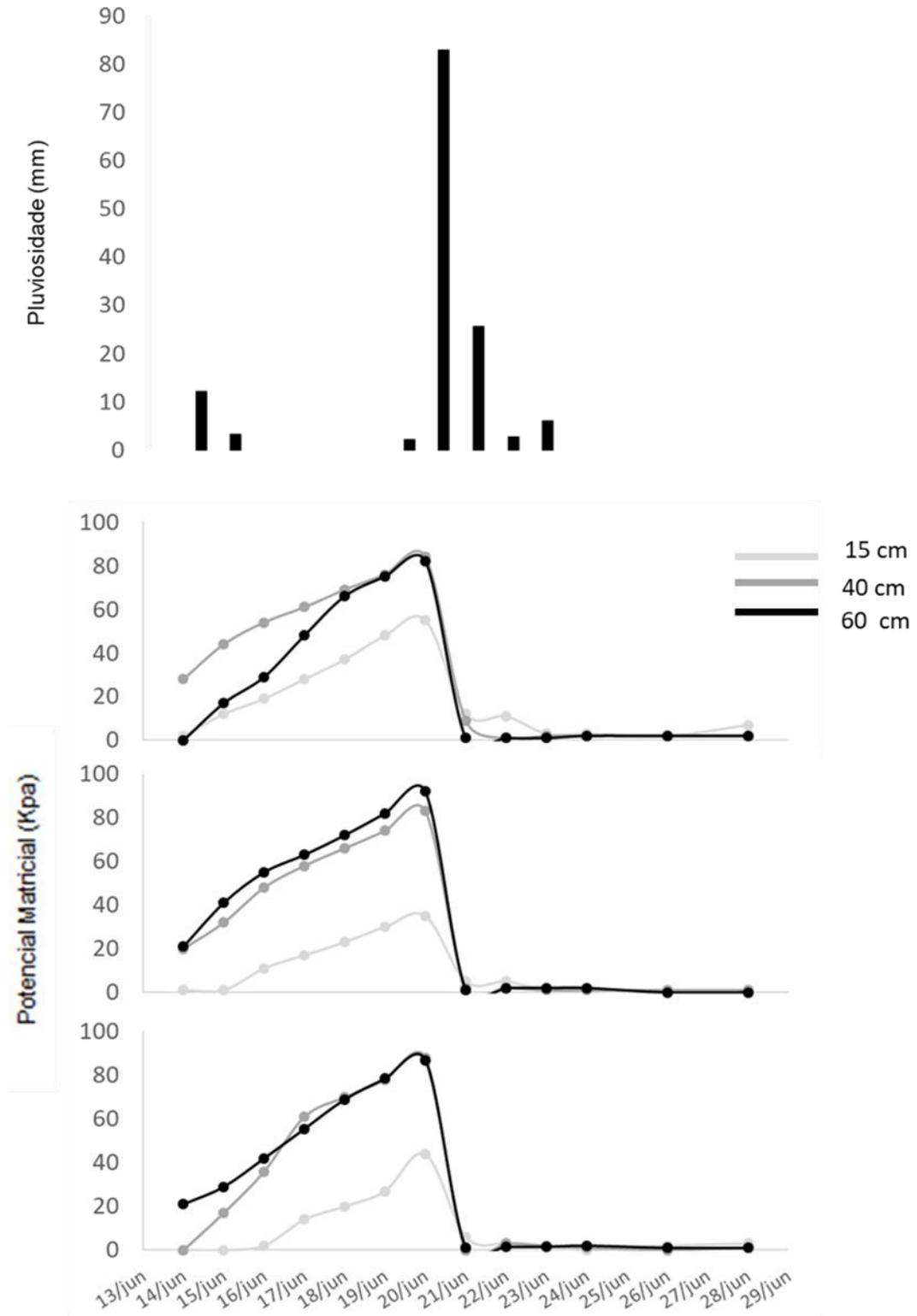


Figura 27 - Gráfico da pluviosidade monitorada em campo, seguido dos gráficos de todas as nossas parcelas AP em todas profundidades, no período monitorado

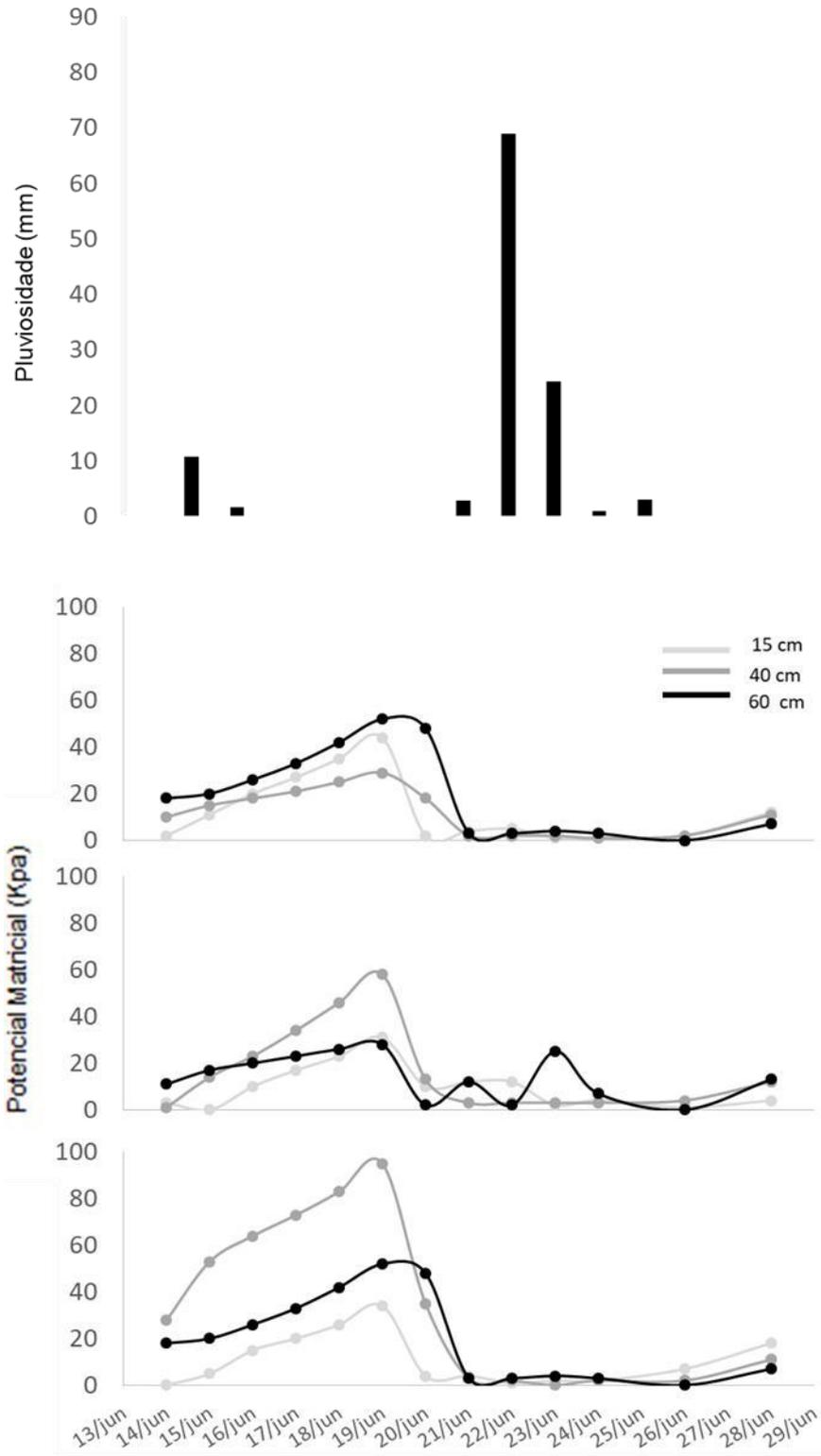


Figura 28 - Gráfico da pluviosidade monitorada em campo, seguido dos gráficos de todas as nossas parcelas AP em todas profundidades, no período monitorado

A divergência dos padrões do kPa entre AP e AS, podem ser destacados nos seguintes pontos: (a) em termos gerais, AP apresentou valores maiores de potencial matricial no período entre chuva maiores do que AS em todas as profundidades (b) AP alcança valores maiores de potencial matricial em todas as profundidades em relação AS antes do maior evento de precipitação. Em AP, os valores médios de 40 e 60 também são maiores do que de 15 cm, porém, ao contrário do que ocorre em AS, praticamente não há diferença entre 40 e 60 cm entre os valores médios diários de potencial matricial. Por fim, (c) os picos de kPa de AS ocorreram antes dos picos de AP. Isso acontece em decorrência de um tempo de resposta mais rápido em AS.

5.2.2 A estrutura da vegetação e potencial matricial

Através das regressões não foi possível detectar relação de causa e efeito da estrutura da vegetação com o potencial matricial nas profundidades de 15 cm e 40 cm (Figura 30). Foram encontradas relações significativas (valor-p < 0.01) na profundidade de 60 cm com todos os parâmetros de estrutura da vegetação avaliados: (a) relação positiva ($R^2= 0.60$, valor-p <0.01) da diversidade (H') no período de precipitação (pontos e linha azul escuro, Figura 30); (b) relação negativa ($R^2 = 0.9913$, valor-p < 0.01) com dominância (D_o) no período entre chuvas (pontos e linha azul claro, Figura 30); (c) relação negativa ($R^2=0.96$, valor-p < 0.01) com densidade (D) no entre chuva e positiva ($R^2= 0.57$, valor-p < 0.01) com densidade no período de precipitação e (d) relação positiva ($R^2= 0.84$, valor-p < 0.01) com abertura de copa no período de precipitação e relação também positiva ($R^2= 0.59$, valor-p < 0.01) no entre chuva. Vale destacar que, embora algumas delas não sejam significativas, as relações do potencial matricial com H' , D_o e D são inversas em período entre chuva e precipitação (Figura 30)

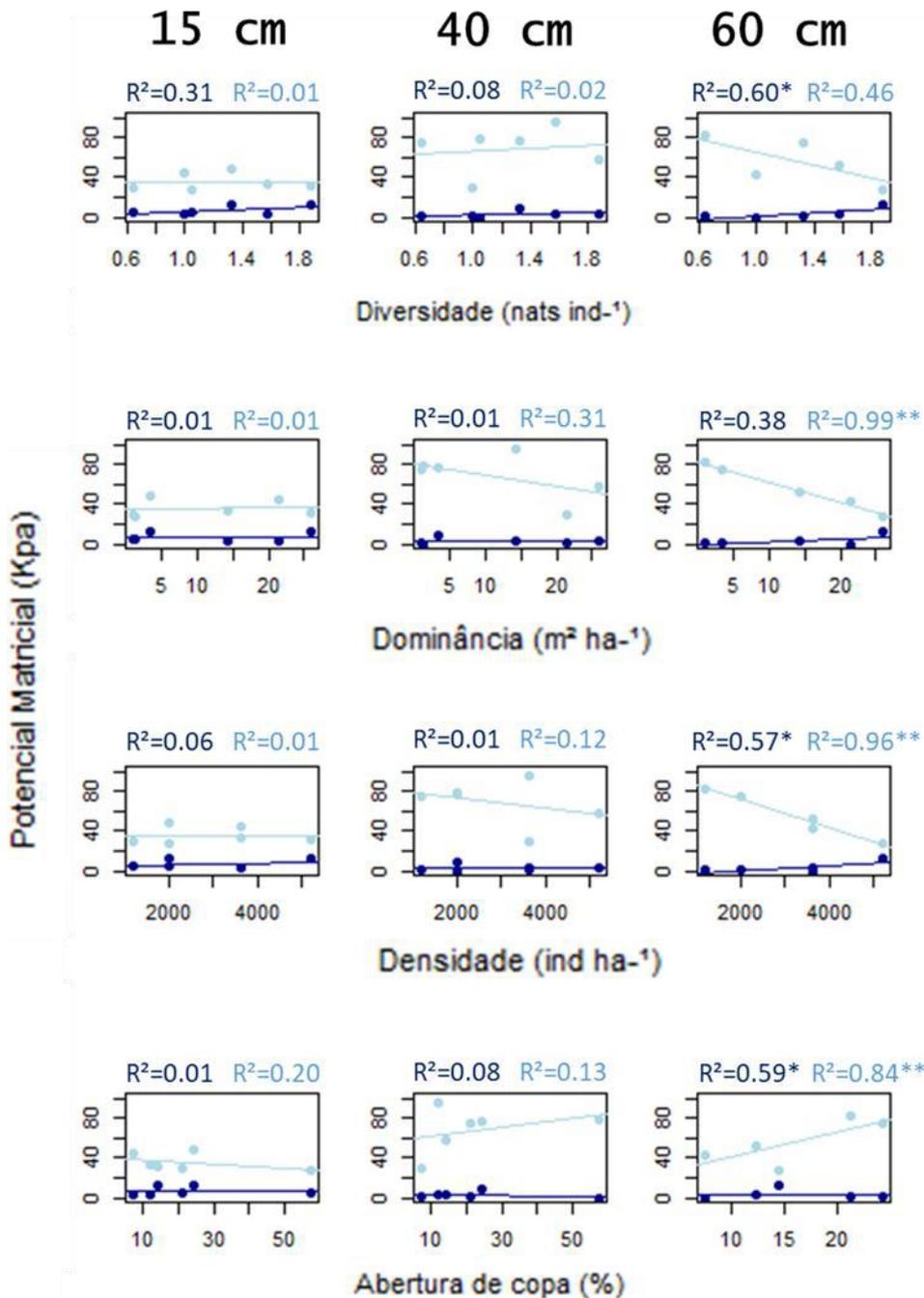


Figura 29 - Gráficos de regressão da relação condutividade hidráulica e: diversidade, dominância, densidade e abertura de copa (Por linhas) nas três profundidades monitoradas: 15 cm, 40 cm e 60 cm (Por colunas), na data de maior disponibilidade de água (Azul escuro)

5.2.3 Avaliação da condutividade hidráulica dos solos

A partir dos ensaios de condutividade hidráulica foi obtido em AP média de 162.02 mm/h e coeficiente de variação (CV) de 76.6 % em 15 cm de profundidade e

46.54 mm/h e CV = 61.1 % em 40 cm. Já em AS, foi detectado média de 179.03 mm/h e CV = 53.7 % em 15 cm de solo e 51.02 mm/h e CV = 51.7% em 40 cm (Tabela 4).

Os resultados indicam não haver diferença significativa entre as médias da condutividade hidráulica de AP e AS em ambas as profundidades (ver detalhes dos valores de T e p em cada profundidade na Tabela 4 abaixo). Porém é possível notar uma tendência de AP apresentar condutividade hidráulica menor do que AS. É percebido também que à 15 e 40 cm de profundidade existe maior heterogeneidade espacial (CV maior) em AP.

Como já apresentado, os resultados de condutividade hidráulica, apontam que não existe diferença significativa entre AP e AS, entretanto, ao realizarmos uma análise pelo viés da profundidade ao invés da cobertura florestal o resultado é diferente. Os valores de Ksat variam mais que o triplo da profundidade de 15 cm para 40 cm nas duas áreas. Durante a realização do ensaio de condutividade em campo visivelmente se percebeu uma grande variabilidade, principalmente nos cm iniciais.

Tabela 4 - Média, erro padrão e coeficiente de variação da condutividade hidráulica das áreas pioneira (AP) e secundária (AS), com respectivos valores de T e de significância(valor-p) do test

Profundidade (cm)	Área	Condutividade hidráulica (mm/h)	Desvio padrão (cm/s)	Coeficiente de variação
15	AP	162.02 (n=9)	124.18	76.6
	AS	179.03 (n=9)	97.2	53.7
	valor-F	0.106		
	valor-p	0.75		
40	AP	46.54 (n=9)	28.8	61.1
	AS	51.02(n=9)	25.2	51.7
	valor-F	0.12		
	valor-p	0.73		

5.2.4 A estrutura da vegetação e condutividade hidráulica do solo

Em geral não foi detectado relação de causalidade entre os aspectos da estrutura da vegetação e a média da Ksat (Figura 31). Ainda assim, foi observado que a característica da estrutura de vegetação que apresentou resultado significativo foi abertura de copa com relação negativa ($R^2 = 0.55$ valor-p < 0.01) com Ksat profundidade de 40 cm. A maior parte dos parâmetros não apresentarem relação, mostra que outros aspectos, que não a vegetação, regulam o mecanismo de permeabilidade

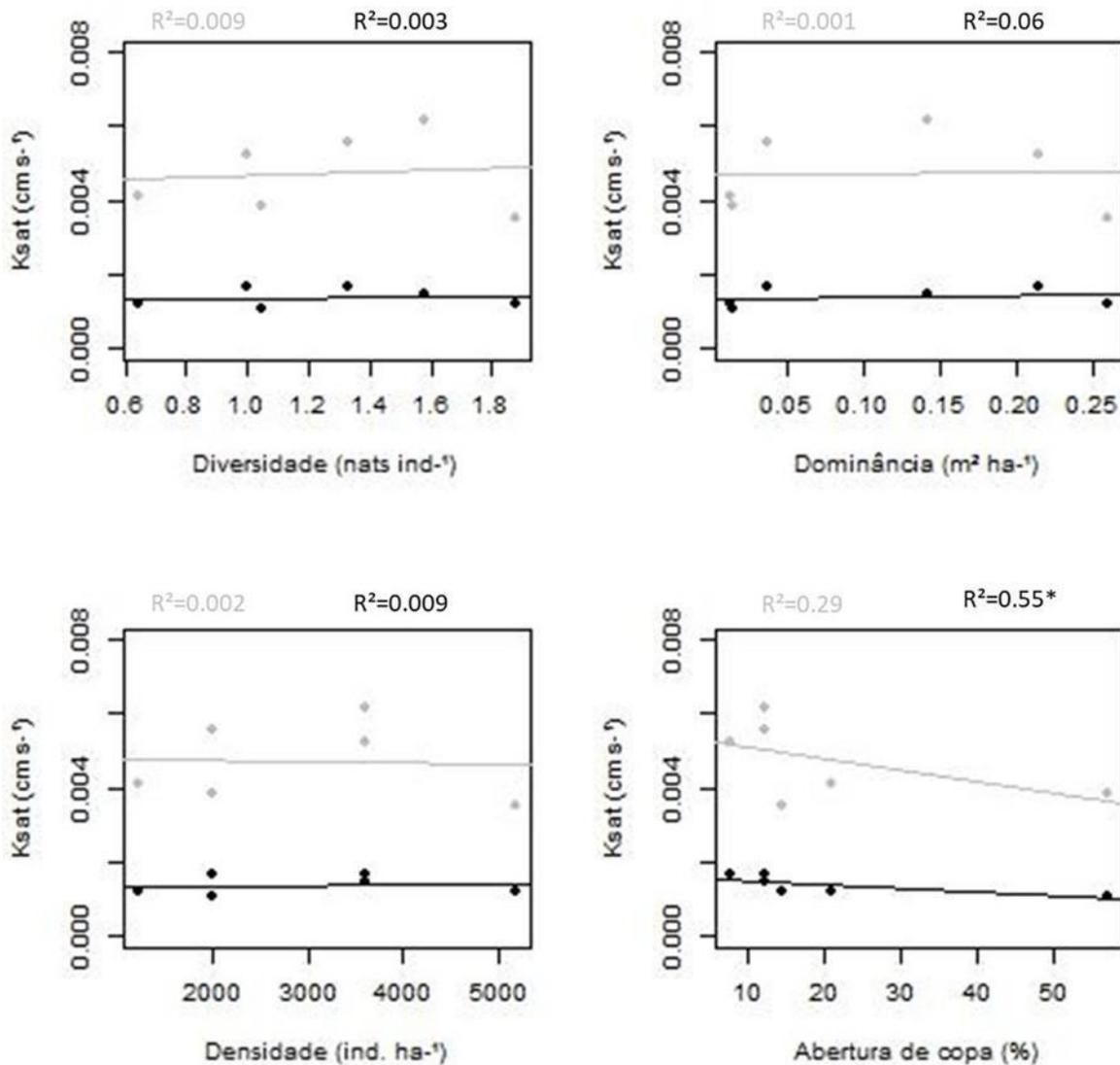


Figura 30 - Gráficos de regressão entre Ksat 15 cm (linha cinza) e 40 cm (linha preta) com aspectos da estrutura da vegetação: Diversidade, Dominância, Densidade e Abertura de copa

5.2.5 A vegetação e a heterogeneidade espacial da condutividade hidráulica

A partir do coeficiente de variação (CV; Figura 32), percebe-se uma maior heterogeneidade espacial em AP nas condutividades a 15 cm de profundidade, o mesmo não ocorre a 40 cm (Tabela 4). Em AS o CV alcança de baixa variabilidade a média, mesmo apresentando um percentual de cerca de 50%, a literatura mostra que se deve considerar a oscilação comum aos dados de Ksat.

O fato de ser muito comum ocorrer oscilações quando mensuramos o Ksat, evidencia que se trata de um valor muito sensível as alterações espaciais. Nesse sentido os resultados, mesmo aqueles não significativos apontam para uma tendência a correlação negativa entre CV. Assim, heterogeneidade e os parâmetros da estrutura de vegetação que indicam áreas menos desenvolvidas, estão relacionados.

As regressões demonstram que apenas Do tem relação significativa com a heterogeneidade espacial do Ksat na profundidade de 15 cm, sendo essa negativa ($R^2 = 0.57$ valor- $p < 0.01$) (Figura 32).

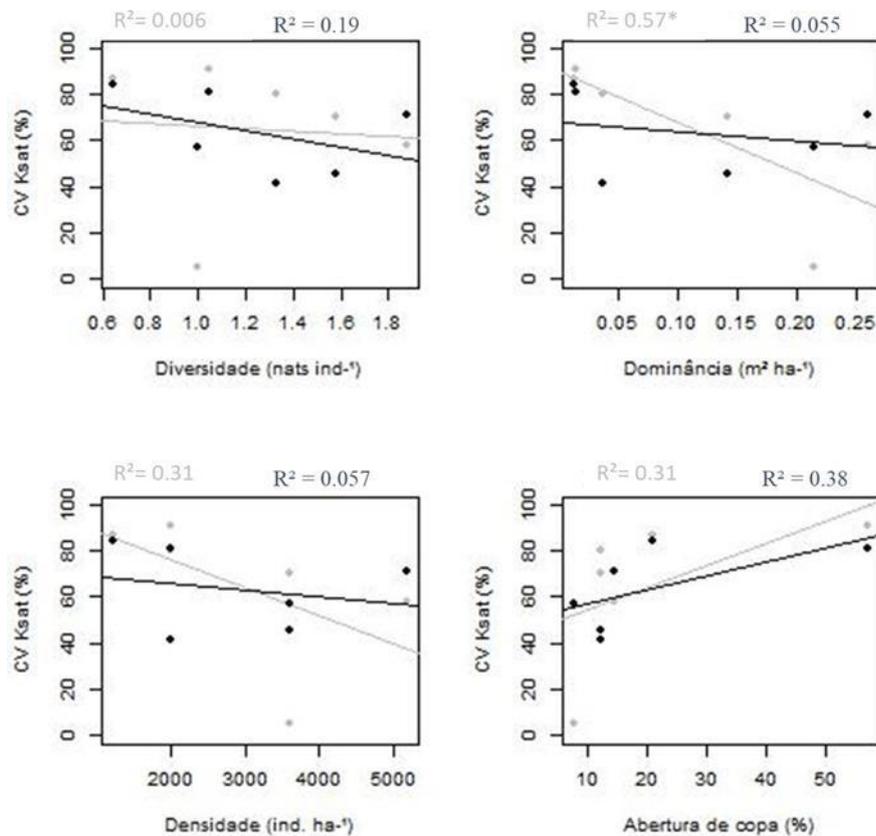


Figura 31 - Gráficos de correlação do coeficiente de variação com aspectos da estrutura da comunidade arbórea, como: Diversidade (A), Dominância (B), Densidade (C) e Abertura de copa (D), a 15 cm e 40 cm.

6 DISCUSSÕES

A classificação das duas áreas quanto ao estágio de sucessão foi o ponto de partida para essa pesquisa. Foi constatado, como era esperado, que aspectos da estrutura da vegetação, como dominância, densidade de indivíduos arbóreos e abertura de copa (contrário de cobertura de copa), nas duas áreas são distintos, do mesmo modo, que a hidrologia dos solos. Nesse estudo foram avaliados os aspectos de permeabilidade e umidade, como recorte da hidrologia do solo. Foram detectadas diferenças no comportamento do potencial matricial (kPa) entre chuvas e durante o evento de maior precipitação nas áreas estudadas (AP e AS), que retrata as diferenças na dinâmica temporal da umidade do solo em ambientes florestais. Já em relação à condutividade hidráulica, vista como a permeabilidade, vimos que não houve diferenças significativa entre as áreas de florestas, diferentemente do esperado (ARCHER et al 2016; CHANDLER, 2017; ZHANG et al 2016). Levantando a questão se provavelmente o fato de termos solos com propriedades semelhantes importa mais que a cobertura das áreas. Nas correlações realizadas, detectamos efeito positivo da dominância e densidade, além de negativo da abertura de copa, com resultados expressivos em relação ao potencial matricial. Todavia, nossas correlações entre as mesmas propriedades da vegetação, apresentam resultados remotos com a condutividade hidráulica. Isso reforça a ideia de que florestas mais estruturadas, com mais biomassa arbórea, determinam diretamente o comportamento da dinâmica da água no solo.

6.1 Aspectos pedológicos e da estrutura da vegetação nos trechos de diferentes estágios de sucessão

Observamos que em ambos os solos as propriedades físicas em relação à textura apresentam valores semelhantes, dobrando em teor de argila quando passam do horizonte A para o horizonte adjacente, característica típica dos Argissolos. A textura que destacamos como importante aspecto na dinâmica água-solo pode ou não ter correlação com o conteúdo de água no solo (KRAMER & HOLSCHER, 2010). Encontrar texturas parecidas nas áreas e material de origem similar na formação do solo, pode explicar a similaridade nos padrões de condutividade hidráulica, ou então, apontar para o fato de que a diferença entra as idades dos trechos florestais estudados

não condicionam um gradiente de sucessão ecológica suficiente para alterar a permeabilidade do solo, sendo a pedogênese mais importante. Os valores de matéria orgânica se diferenciam significativamente entre nossos perfis como era de se esperar. Nossa área mais preservada (AS) apresenta quase o dobro do teor de matéria orgânica em relação a floresta em estágio inicial (AP) no horizonte A. Isso se repete ao longo de quase todos horizontes com exceção do último horizonte da AP, onde os valores de matéria orgânica são maiores do que o horizonte de AS em mesma profundidade. Aparentemente isso ocorre por possuir uma barreira mineralógica em AP que possivelmente impeça que a matéria orgânica lixivie, se acumulando nesse horizonte. Esses valores de matéria orgânica podem trazer resultados na estrutura do solo, principalmente relacionada à densidade e porosidade do mesmo (BERTOLINO, 2010), que são aspectos fundamentais para entender as respostas hidrológicas do solo.

Foi realizada a curva de retenção na faixa da CC em todos horizontes amostrados em AP e AS. Esse trecho da curva de retenção é onde todos os microporos estão com água, ocorrendo a capacidade máxima do solo em reter água, acima da qual ocorrem perdas por percolação de água no perfil. Observa-se que AS possui maior teor de umidade gravimétrica que AP, apontando para o fato de AS possuir maior quantidade de microporos. A influência da textura na curva característica de retenção de água é inquestionável, porém, alterações induzidas pelas raízes na curva são geralmente ignoradas (KWAN et al, 2015).

Claramente, em termos fisionômicos a vegetação de AP é menos estruturada que a de AS. Isso fica bem exposto diante de nossos resultados que determinam a diferença nos estágios de sucessão de AS e AP (Figura 27). Essa diferença ocorre devido aos diferentes históricos de uso das áreas. Enquanto AP, após o cessar das atividades agrícolas se manteve um pasto subaproveitado, AS iniciou um processo de regeneração natural. Apesar das áreas estarem na mesma cota altimétricas e terem relevos semelhantes, a proximidade de AP com atividades antrópicas gerou uma área com maior degradação. Em contrapartida, AS tem pelo menos 60 anos de ausência de degradação favorecendo a regeneração da vegetação estimulada pelo forte fluxo de propágulos oriundos de fragmentos florestais adjacente a área. Destaca-se que a estrutura atual de AP é decorrência de um projeto de reflorestamento. Algumas pesquisas têm se proposto a entender a hidrologia do solo a partir das influências da

vegetação, utilizando-se de formas distintas para diferenciar as coberturas de interesse, como por exemplo a sucessão florestal. A escolha dos aspectos utilizados para essa classificação poderá trazer diferentes resultados para a pesquisa: densidade de raízes (BERTOLINO et al. 2010; COELHO NETTO et al. 1987), riqueza de espécies (KRAMER & HOLSCHER, 2010), classificação da fitofisionomia (GERIS et al. 2015), aspectos morfológicos da vegetação (KIM et al 2014) são algumas dessas possibilidades. Nossa pesquisa se guiou principalmente pela estrutura da vegetação como definidor do estágio de sucessão, mas poucos estudos relacionaram a hidrologia do solo com o aspecto temporal da vegetação (ARCHER et al, 2016; CHANDLER et al, 2017). Portanto, a partir da definição do levantamento utilizado, podemos discutir mesmo que indiretamente com trabalhos que relacionam outros aspectos da vegetação.

6.2 O comportamento da umidade do solo entre e durante precipitação através do potencial matricial

Nossa pesquisa foi realizada durante o período do inverno, onde as dinâmicas hidrológicas tendem a apresentar índices pluviométricos mais baixos devido a temperaturas mais amenas e baixa umidade relativa do ar. Em termos médios, constatamos que durante os dias de maior precipitação AP apresenta teores mais elevados de umidade do solo nos primeiros 15 cm, o que poderia ser devido a receberem mais rápido o “feedback” da precipitação. Considerando que, AP registrou índices pluviométricos maiores, essa resposta mais rápida provavelmente é ocasionada pelo maior volume recebido na área (Figura 28). Esse resultado, pode decorrer da baixa interceptação, pela copa e/ou serapilheira (CALLAWAY, 2007; KIM et al 2014), em áreas de florestas pouco estruturadas, que interrompe momentaneamente a chegada da água no solo. Percebemos ainda que AP tem maior amplitude da curva, o que nos leva considerar essa área com maior instabilidade em relação ao teor de água presente no solo.

Seguinte aspecto notado, é que no período durante a precipitação há oscilação do potencial matricial (umidade do solo) em todas as profundidades de AS, enquanto em AP permaneceu em zero kPa, ou bem próximo, ou seja, saturado. Essa diferença pode ocorrer devido ao volume de água que chega de fato ao solo e que pode ter alcançado a saturação em AP e não saturação em AS. Entretanto, essa oscilação do

teor de umidade do solo durante evento de precipitação ocorre em florestas com maior atividade de evapotranspiração impulsionando um maior consumo de água por parte das raízes (KRAMER & HOLSCHER, 2010).

6.3 O papel da estrutura de vegetação na dinâmica temporal da umidade ao longo do perfil do solo

Importante fator na retenção da umidade no solo, o papel exercido pela vegetação ainda é pouco estudado, o que torna difícil sua compreensão. Geris et al. (2015) estudou justamente essa relação e concluiu que a vegetação não explica o comportamento da umidade do solo e sim suas propriedades físicas. Merino-Martin (2015), entretanto, já encontrou correlações positivas significativas para as taxas de umidade do solo a 25 cm e 50 cm em relação à riqueza de espécies. As divergências encontradas entre os estudos demonstram a indefinição sobre o efeito da vegetação sobre o comportamento da umidade do solo.

Nossos resultados detectaram relação entre os parâmetros de estrutura da vegetação com o potencial matricial na profundidade de 60 cm (Figura 26). A dominância e a densidade são os aspectos que mais se correlacionaram negativamente com o potencial, no período entre chuvas. Essas correlações são complementares, tendo em vista que florestas mais maduras terão valores de dominância e densidade maiores. A dominância diz respeito à área basal por hectare, o que pode nos fornecer informações a respeito de biomassa, sendo que essa biomassa vai influenciar tanto na produção de serapilheira, quanto na formação de raízes mais densas. A densidade diz respeito ao número de indivíduos presentes por hectares. Significando que em uma localidade, o efeito de diversos indivíduos arbóreos buscando acessar os recursos com estratégias de: formação do dossel, distribuição de raízes, fluxo formado nos troncos, entre outros é maior. Indiretamente, temos as áreas com esses parâmetros maiores como áreas com: maior densidade e profundidade de raízes, cobertura de copa, interceptação e evapotranspiração. Esse fato corrobora com o estudo desenvolvido por Kramer & Holscher (2010) onde, apesar de ter sido mensurada a relação com riqueza, também expressa que as florestas mais maduras tem valores maiores de umidade. Esses autores perceberam que o efeito da diversidade na umidade do solo se tornou maior com o aumento da profundidade do solo. O primeiro metro de um solo pode ser significativamente alterado por um

processo de restauração ou regeneração florestal, e os resultados mostram maior movimentação de água (ascendente e descendente) em nossa AS, como o encontrado por PERKINS (2014) e colaboradores em florestas restauradas em Auwahi.

6.4 Características da permeabilidade: a semelhança da condutividade hidráulica nos diferentes trechos florestais

As características físico-hídricas também são afetadas pela cobertura do solo, tendo estudos que evidenciam a importância do uso da terra na influência dos valores de condutividade hidráulica do solo saturado (DONER et al. 2010). Em nossos dados de Ksat percebemos uma variabilidade, comum dessa propriedade, que pode ter variações de 420% em uma mesma área, como pudemos aferir na bibliografia (WARRICH & NIELSEN, 1980; BONNEL, 1983). Sendo possível em uma mesma floresta encontrarmos taxas distintas de condutividade hidráulica e recarga, isso devido além dos fatores característicos do solo, da densidade de indivíduos arbóreos e as diferentes zonas de interceptação (TANIGUCHI & SHARMA, 1993). Outro fator determinante na amplitude dos valores de condutividade em uma área é a existência de fluxos preferenciais. Os fluxos poder estar associados a fendas/rachaduras no solo, buracos de raízes - principalmente nos primeiros 20 cm - (ZHANG et al 2016), buracos de animais (THOMPSON et al 2012), o fluxo dos troncos, conhecidos como “throughfall” (KRAMER & HOLSCHER, 2010) entre outras atividades que possam ser notadas na área. Nas áreas AP e AS, percebia-se nitidamente maior diversidade em atividade biogênica em AS (insetos, pássaros, répteis e roedores), entretanto, em AP havia intensa atividade de formigueiros.

Os valores de Ksat das áreas medidos em campo, no entanto, não apresentam diferenças estatísticas significativas. O que pode evidenciar que a permeabilidade pode se recuperar relativamente rápida uma vez que a floresta é plantada, como evidenciou um grupo de pesquisadores liderados por Archer et al. (2016), onde uma floresta de 48 anos tem valores de Ksat próximos a uma floresta de 300 anos. As condições em 15 cm de profundidade da nossa AP (162.02 mm/h) e AS (179.03 mm/h) mostram além de não existir diferença significativa, mostram uma tendência mais vagarosa no aumento das taxas de Ksat se comparada a encontrada por ARCHER et

al. (2016) nas florestas mais maduras. Encontramos taxas mais baixas em nossas duas parcelas na profundidade de 40 cm percebendo uma predisposição dessa diminuição devido ao aumento nos teores de argila (VIEIRA & FERNANDES, 2004).

6.5 O papel da estrutura de vegetação na permeabilidade do solo

Em nossas regressões realizadas entre condutividade hidráulica e diferentes aspectos da vegetação (diversidade, dominância, densidade e abertura de copa) não encontramos nenhuma relação significativa entre os parâmetros de estrutura. A variável que mais se relaciona com os resultados de Ksat é a abertura de copa (Figura 31) com correlação negativa. Tanto na profundidade de 15 cm, quanto na de 40 cm vemos que quanto a menor abertura de copa maior os resultados de condutividade, apontada para que possivelmente uma copa mais robusta influencie nesses resultados, seja pelo acréscimo de matéria orgânica (MIRANDA et al. 2010) ou pelo efeito de complementaridade. Nosso resultado contraria boa parte da literatura levantada durante a pesquisa, que apesar de não utilizarem os parâmetros de estrutura de vegetação, creditam a diferença de permeabilidade a cobertura vegetal (ARCHER, 2016; FARRICK & BRANFIREUN, 2014; GERIS et al 2015). Entretanto, não é possível dizer que temos um resultado conclusivo em relação a correlação vegetação e permeabilidade, afinal outros de vegetação não foram considerados.

6.6. A importância do estágio de sucessão florestal no aumento da heterogeneidade espacial da permeabilidade do solo

A correlação do coeficiente de variação com vegetação não obteve nenhum resultado que definisse algum dos aspectos de vegetação como variável que explicasse a heterogeneidade do Ksat encontrada em nossas parcelas. Mas, percebe-se uma relação negativa entre dominância e CV, evidenciando que quanto mais desenvolvida a floresta maior a tendência a encontrarmos valores mais homogêneos de Ksat. Apesar de não ser significativa, os outros parâmetros também apresentam tendência negativa. Durante os campos, através da observação percebeu-se que nossa AP apresentava uma espacialidade completamente heterogênea, com gramíneas, regeneração, serapilheira distribuídas de forma desigual. Outra questão

que pode influenciar na maior heterogeneidade é o fato de AP possuir maior circulação de pessoas. Essa observação foi confirmada com os maiores valores de CV de AP (76.6%) em relação AS (61.1%), em 15 cm

7 CONCLUSÃO

De modo geral encontramos maior correlação entre nossas regressões de potencial matricial com vegetação do que a mesma com a condutividade hidráulica. Destacando ainda para o fato das correlações mais fortes entre potencial matricial serem no período entre chuvas. Considerando nossas mensurações como a umidade indireta e a permeabilidade do solo, permite dizer que o armazenamento da água tem mais relação com os parâmetros de estrutura da vegetação do que a transmissão dela pelo solo.

Isso levanta uma série de discussões sobre o comportamento da hidrologia florestal em determinada paisagem, pensando os processos de armazenamento e transmissão de água no solo. A transmissão da água ao longo do perfil só ocorre em faixas de solos saturados já o armazenamento ocorrerá também nos momentos onde o solo não alcançou sua capacidade máxima de estoque de água. Apesar de processos diferentes eles estão diretamente relacionados não sendo possível percebê-los de forma independentes. Portanto não é objetivo do trabalho definir um protagonista em relação a hidrologia do solo e sim buscar influências que a vegetação possa ter trazido nesse aspecto. Dessa forma, consideramos que os resultados apontam para uma maior influência de evapotranspiração, sucção de água pelas raízes e fluxos de tronco ou de raízes, por exemplo, do que uma mudança na propriedade físico-hídrica do solo propriamente dita.

Mudanças no uso da terra comprometem intimamente o biótico da zona insaturada e também os processos hidrológicos. O trabalho permitiu perceber que áreas menos maduras alcançaram solos mais secos e também solos mais saturados no mesmo período, evidenciando maior oscilação. Ansíavamos por essa oscilação ao iniciar a pesquisa, pois imaginamos que ambientes mais perturbados estão mais vulneráveis. Além do fato, de partirmos do princípio que solos mais equilibrados não são tão facilmente desajustáveis por variáveis externas – por exemplo, um período de estiagem ou chuvas intensas.

Apesar de termos realizado as correlações do potencial matricial utilizando os aspectos da estrutura de vegetação separados, consideramos que o fato de termos alta correlação negativa com dominância, densidade e diversidade não ocorre por

causas individualizadas. Avaliamos esses resultados como evidências de que, a conjugação desses fatores, ocorrem devido a uma formação florestal mais madura, e devem ser compreendidos conjuntamente, sendo o grau da complexidade que cada fragmento apresenta o responsável pelas correlações encontradas. Essa complexidade que é responsável pelo efeito de complementariedade, resulta em uma diferenciação de nicho e / ou facilitação entre espécies, onde a divisão de recursos ou interações levam ao aumento do uso de recursos.

Ao monitorar as áreas percebemos que mesmo com poucas mudanças em relação a estrutura da vegetação arbórea podem ser apresentadas respostas distintas em relação ao teor de água presente no solo. Uma hipótese que possibilita novas linhas de pesquisa é a de que, características da vegetação de outros hábitos que não o arbóreo (herbáceas, arbustivas, lianas, por exemplo) possam ser variáveis ainda mais explícitas.

Assim, o importante aspecto da ecologia: a influência que a mudança da paisagem pode trazer na recuperação do solo, vem buscando formas de ser respondido. Os resultados encontrados nos permitem dizer que existe influência da vegetação através das correlações realizadas. Nossos resultados permitem pensar em um cenário onde os solos recuperam suas propriedades físicas em um médio espaço de tempo, se paralisada a perturbação existente no solo, mostrando a alta resiliência do mesmo.

Nossa pesquisa, resultados e discussões visam possibilitar mais informações das atribuições que uma floresta pode exercer nas propriedades hidrológicas do solo. Acreditando na importância da manutenção de um ecossistema em equilíbrio de forma holística, para, entre diversos motivos, a utilização de seus serviços ambientais.

Fundamental no processo científico algumas implicações surgiram ao término da pesquisa. O estudo aponta para a necessidade de aprofundar os processos que envolvem a relação solo-vegetação-água para que seja possível obter resultados mais sólidos. Assim como a necessidade do estudo se estender a diferentes sazonalidades (tendo em vista que o comportamento é diretamente influenciado pela frequência e quantidade de água fornecida pelo ambiente). Tornando possível com a obtenção de novos dados e aumento do universo amostral novas evidências.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FLORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. **Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos.** Revista Brasileira da Ciência do Solo, Viçosa, v. 19, 1995.
- ANDRÉASSIAN, V. **Waters and forests: from historical controversy to scientific debate.** J. of Hydrology, v. 291, 2004.
- ARCHER, J. R.; SMITH, P.D. **The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils.** Journal of Soil Science, London, v. 23, n.4, 1972.
- ARCHER N. A. ; OTTEN W., SCHMIDT S.; BENGOUGH A. G. ; SHAH N., BONELL M. **Rainfall infiltration and soil hydrological characteristics below ancient forest, planted forest and grassland in a temperate northern climate.** Ecohydrology, 2015
- ASBJORNSEN, H.; GOLDSMITH, G. R.; ALVARADO-BARRIENTOS, M. S.; REBEL, K.; VAN OSCH, F. P.; RIETKERK, M.; CHEN, J.; GOTSCH, S.; TOBO'N, C.; GEISSERT, D. R.; GO'MEZ-TAGLE, A.; VACHE, K. & DAWSON, T. E. **Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review.** Journal of Plant Ecology, v. 4, 2011.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução Conama nº 6, de maio de 1994. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1994_006.pdf. Acesso em: 03 de dez. 2016 às 15:16.
- BERTOLINO, A. V. F. A.; FERNANDES, N. F.; MIRANDA, J. P. L.; SOUZA, A. P.; LOPES, M. R. S.; PALMIERI, F. **Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau.** Journal of Hydrology. Amsterdam, Holanda, v. 393, 2010.
- BIGARELLA, J. J; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática a erosão.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Ed.3, Maringá: Livro Guia, 1985.
- BODMAN, G. B. & COLMAN, E. A. **Moisture into soils.** Soil Science Society of America Proceedings, EUA, v. 8:, 1944.
- BONNEL, M., CASSELLS, D.S. and GILMOUR, D.A., 1983a. **Vertical soil water movement in a tropical rainforest catchment in north-east Queensland.** Earth Surf. Processes Landforms, 8, 1983.
- BORGES, D.; ANTONINO, A. C. D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P. & CARNEIRO, C. J. G. **Determinação da Condutividade Hidráulica e da sorvidade de um solo não-saturado utilizando-se Permeâmetro à disco.** Pesq. Agropec. Brasil., Brasília, v, 34, 1999.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

Callaway, R.M. **Positive Interactions and Interdependence in Plant Communities**. Springer, Dordrecht, 2007.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M. H; MULLER, M. M. L. & FOLONI, J. S. S. **Qualidade Física do Solo**: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal-SP: Ed. FUNESP, 2002.

CARLQUIST S. **Ecological factors in wood evolution**: a floristic approach. American Journal of Botany, v.64, 1977.

CLEMENTS, F. E. **Plant succession**: an analysis of development of vegetation. Washington D.C.: Carnegie Institute, 1916.

COELHO NETTO, A. L. C. **Overland flow production in a tropical rainforest catchment**: The role of litter cover. Catena, v. 14, 1987

COLLOFF, M. J.; PULLEN, K. R. & CUNNINGHAM, S. A. **Restoration of an Ecosystem Function to Revegetation Communities**: The Role of Invertebrate Macropores in Enhancing Soil Water Infiltration. Restoration Ecology, v. 18, 2010.

DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., CUNHA, T.J.F. & OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF, Brazil: Editora: Embrapa, 2003.

EIJKELKAMP & WATER. Disponível em: <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/tension-infiltrometer.html> Acesso em: 15 de mai 2016 às 21:20.

EMBRAPA-CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2ª edição, 1997.

FARRICK, K. K. & BRANFIREUN, B. A. **Infiltration and soil water dynamics in a tropical dry forest may be dry but definitely not arid**. Hydrological Process. Canadá, v. 28, n. 14, 2014.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D.; MANNERING, J. V. **Condutividade hidráulica do solo saturado em três sistemas de manejo**. Revista Ceres, Viçosa, v. 30, n. 169, 1983.

FREITAS, M. M.; CASTANHEIRA, M. V. S.; FINGERL, F. R. A influência dos remanescentes agro-pastoris do maciço da Pedra Branca na dinâmica hidrológica das encostas. In: OLIVEIRA, R. R (org). **As marcas do homem na floresta: História Ambiental de um trecho de mata urbana**. PUC- Rio. Rio de Janeiro, 2005.

GERIS, J.; TETZLAFF, D.; MCDONNELL, J. & SOULSBY, C. **The relative role of soil type and tree cover on water storage and transmission in northern headwater catchments**. Hydrological Processes, v. 29, n. 7, 2015.

- GERRITS AMJ, SAVENIJE HHG, HOFFMANN L, PFISTER L. **Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembourg**. Hydrology and Earth System Sciences Discussions , 2006.
- GONÇALVES, J. L. M.; JUNIOR, L. R. N. & DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L. & GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu – SP: FEPAF, 2003.
- HANGSHENG, L. **Hydropedology**: Bridging Disciplines, Scales, and Data. Vadose Zone Journal, 2003
- HEWLETT, J.D. **Principles of Forest Hydrology**. University of Georgia Press Athens. United States of America, 1969.
- HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. London: Academic Press, 1^a ed., 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira Classificação da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.
- KIM JK, ONDA Y & YANG DY. **Plot-scale study of surface runoff on well-covered forest floors under different canopy species**. Quaternary International., 2014.
- LAGOS, A. R. & MULLER, B. L. A. **Hotspot brasileiro: Mata Atlântica**. Saúde e ambiente, Duque de Caxias, v. 2, 2007.
- LAWALL, S. **Modificações na hidrologia dos solos em resposta as alterações de uso e cobertura na bacia hidrográfica do bonfim, região serrana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: UFRJ. 2010.
- LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.
- LIN, H.S. **Hydropedology**: bridging disciplines, scales, and data. Vadose Zone J. 2, 2003
- LIU D, TIAN F, HU H, HU H. **The role of run-on for overland flow and the characteristics of runoff generation in the Loess Plateau, China**. Hydrological Sciences Journal 57, 2012.
- MACINTYRE, F. **Non-lipid relate possibilities for Chemical Fractionation in Bubble Film Caps**. Journal Recherche of Atmospherique, v. 7, 1974.
- MAGURRAN, A. E. **Medindo a Diversidade Biológica**. Paraná: Editora UFPR. 2013.
- MARÍN-CASTROA, B.E ; NEGRETE-YANKELEVICH B, S.; GEISSERT B, D. **Litter thickness, but not root biomass, explains the average and spatial structure of**

soil hydraulic conductivity in secondary forests and coffee agroecosystems in Veracruz, Mexico. Science of The Total Environment, 2017.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sérgio; CALEGARI, L. Sucessão ecológica: fundamentos e aplicações na restauração de ecossistemas florestais. In: Sebastião Venâncio Martins. (Org.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. 2ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2012.

MATEUS, F. A.; MIRANDA, C. do C.; VALCARVEL, R. & FIGUEIREDO, P. H. A. Stock and water retention capacity of litter accumulated on the forest restoration of disturbed areas in the Atlantic Rainforest. *Floresta e Ambiente (Floram)*, Seropédica, v. 20, n. 3, 2013.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C. E. F.; PAVESE, H. B. & ARAÚJO, F. F. S. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional**: Sumário Executivo. Brasília: UNEP-WCMC, 2011.

MERINO-MARTÍN, L.; HERAS, M. M.; ESPIGARES, T. & NICOLAU, J. **M.Overland flow directs soil moisture and ecosystem processes at patch scale in Mediterranean restored hillslopes.** *Catena*, v. 133, 2015.

METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; DIXO, M.; BERNACCI, L.C.; RIBEIRO, M.C.; TEIXEIRA, A. M. G.; PARDINI, R. **Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region.** *Biological Conservation*, v. 142, 2009.

MIRANDA, J.P. **Propriedades Físico-Hídricas de um solo submetidos a cultivos perenes e a pousio em ambiente agrícola serrano – Bom Jardim (RJ).** Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia). Curso de mestrado em Programa de Pós Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

MONTENEGRO A, RAGAB R.. **Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios**: a modelling study. *Hydrological Processes* 24, 2010.

NUNES, X. P.; MAIA, G.L.A; ALMEIDA, J. R. G. S.; PEREIRA, F. O.; LIMA, E. **O.Antimicrobial activity of the essential oil of Sida cordifolia L.** *Rev. Bras. Farmacogn*, Curitiba, v. 16 (Supl), 2006.

OLIVEIRA, R. R.; LACERDA, L. D. Introdução: os cenários da paisagem. In: OLIVEIRA, R. R (org). **As marcas do homem na floresta: História Ambiental de um trecho de mata urbana.** PUC- Rio. Rio de Janeiro, 2005.

ORGANIZATION OF BIOLOGICAL FIELD STATIONS. Annual Report 2016-2017 Disponível em: <
<https://obfst.memberclicks.net/assets/docs/annual%20report%2016-17%20final%201.pdf>> Acesso em: 15/05/2017 às 20:34.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B.; FLOCK, R. J.; LIMA, L. & FERNANDES, N. **Monitoramento da irrigação por meio da tensão da água do solo**: Guia Prático. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2006.

PERKINS, K. S; Nimmo, J. R.; Medeiros Daphne, A. C.; Szutu, E. A. Assessing effects of native reforestation on soil moisture dynamics and potential aquifer recharge, Auwahi, Maui. In: 2013 GSA Annual Meeting in Denver. 2014.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest: an ecological study**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1952.

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. **Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas**. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F.

D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, 2003.

RODRIGUES, R. R. & GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de Florestas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H. F. **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP. 3ª ed., 2004.

SCHAETZL, R. J; THOMPSON, M. L. **Soils Genesis and Geomorphology**. Cambridge University, New York, USA, 2ª ed., 2015

SCIENTIFIC COLLECTIONS INTERNATIONAL. Disponível em: <http://scicoll.org/research.html> Acesso em: 15 de mai 2017 às 21:41.

SHERMAN, L. K. **Streamflow from rainfall by the unit-graph method**. Eng. News Record 108, 1932

SHOCK, C. C.; BARNUM, J. M.; SEDDIGH, M. Calibration of watermark soil moisture sensors for irrigation management. In: INTL. IRR. SHOW Proc. Irrigation Assn., San Diego, California, USA, 1998.

SMAC, 2000. **Espécies Ameaçadas de Extinção no Município do Rio de Janeiro: Flora e Fauna**. Secretaria de Meio Ambiente, 2000.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. & IMHOFF, S. Intervalo Hídrico Ótimo. In: MORAES, M. H; MULLER, M. M. L. & FOLONI, J. S. S. **Qualidade Física do Solo: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal-SP: Ed. FUNESP, 2002.

SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petrópolis: Ed. Vozes Ltda, 1985.

SOCIETY for ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. 2004. The SER international Primer on Ecological Restoration. Disponível em: www.ser.org Acesso em: 15 de mai 2016 às 21:41.

SOLÓZARNO, A.; OLIVEIRA, R. R.; GUEDES-BRUNI, R.R. História ambiental e estrutura de uma floresta urbana. In: OLIVEIRA, R. R (org). **As marcas do homem**

na floresta: História Ambiental de um trecho de mata urbana. PUC- Rio. Rio de Janeiro, 2005.

SOLOTEST. Catálogo Agricultura: Curva de Retenção de Água.

Disponível em: <http://www.solotest.com/catalogos/H10.PDF>. Acesso em: 18 de mai 2016 às 21:11

SWANK, W. T.; VOSE, J. M.; ELLIOTT, K. J. Long-term hydrologic and water quality responses following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment. Forest Ecology and Management, v. 143, 2001.

TANIGUCHI, M. and SHARMA, M.L. Determination of groundwater recharge using the change in soil temperature. J. Hydrol., 1993.

THERON, E.; LE ROUX, P. A. L.; HENSLEY, M. & VAN RENSBURG, L. Evaluation of the Aardvark constant head soil permeameter to predict saturated hydraulic conductivity. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 134, 2010.

THOMPSON, J.; SHEEDY, J.; ROBINSON, N.; REEN, R.; CLEWETT, T. & LIN, J. Pre-breeding wheat for resistance to root-lesion nematodes Leslie Research Centre, Toowoomb, 2012.

TROMP-VAN MEERVELD, H. J. & MCDONNELL, J. J. Comment to “Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. Journal of Hydrology, v. 286, 2005.

TYDECKS L, BREMERICH V, JENTSCHKE I, LIKENS GE, TOCKNER K.. Biological field stations: a global infrastructure for research, education, and public engagement. BioScience, 2016

VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. O Agrônomo, Campinas, v.47-50, 1998.

WARDLE, D. A.; BONNER, K. I. & NICHOLSOM, K. S. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. Oikos, Copenhagen, v. 70, n. 2, 1997.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: **HILLEL, D., ed. Applications of soil physics.** New York, Academic Press, 1980.

WEI, W.; YU, Y. & CHEN, L. Response of Surface Soil Hydrology to the Micro-Pattern of Bio-Crust in a Dry-Land Loess Environment, China. PLoS ONE, v. 10, n. 7, 2015.

WILCOX, B. P., & THUROW, T. L. Emerging issues in rangeland ecohydrology: vegetation change and the water cycle. Rangeland Ecology & Management, v. 59, 2006.

ZIMMERMANN U, MUNNICH KO, ROETHER W, KREUTZ W, SCHUBACH K, SIEGEL O. Tracers determine movement of soil moisture and evapotranspiration. Science 152, 1966

ZHANG YH, NIU JZ, ZHANG MX, ZHU, WL. 2017. **Interaction between plant roots and soil water flow in response to preferential flow paths in Northern China.** Land Degradation & Development 28: 2017.

ZHOU X, LIN H, WHITE E. **Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land uses and their temporal changes.** CATENA 73(2), .2008.