UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS INSTALADOS EM CONDOMÍNIOS HORIZONTAIS NO DISTRITO FEDERAL

VITOR MENDONÇA AVIANI RIBEIRO

ORIENTADOR: ARTHUR TAVARES SCHLEICHER

COORIENTADOR: ATMAN COUTINHO SOLINO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL II

BRASÍLIA/DF: MAIO/2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS INSTALADOS EM CONDOMÍNIOS HORIZONTAIS NO DISTRITO FEDERAL

VITOR MENDONÇA AVIANI RIBEIRO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

_____

ARTHUR TAVARES SCHLEICHER, MSc. (ENC/UNB)
(ORIENTADOR)

_____

ATMAN COUTINHO SOLINO, Engº
(COORIENTADOR)

_____

MARIA ELISA LEITE COSTA, MSc. (ENC/UNB)
(EXAMINADORA EXTERNA)

_____

RICARDO TEZINI MINOTI, DSc. (ENC/UNB)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 22 DE MAIO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

AVIANI, Vitor Mendonça Aviani Ribeiro

Avaliação da velocidade de infiltração e escoamento superficial em Sistemas Agroflorestais instalados em condomínios horizontais no Distrito Federal.

xiv, 105p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sistemas Agroflorestais 2. SAFs

3. Técnicas Compensatórias 4. Drenagem Urbana

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AVIANI, V.M.A.R. (2021). *Avaliação da velocidade de infiltração e escoamento superficial em Sistemas Agroflorestais instalados em condomínios horizontais no Distrito Federal.* Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Vitor Mendonça Aviani Ribeiro

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação da velocidade de infiltração e escoamento superficial em Sistemas Agroflorestais instalados em condomínios horizontais no Distrito Federal

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

_____

Vitor Mendonça Aviani Ribeiro
vitoraviani@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, à minha mãe Laura e ao meu pai Cássio, que nunca mediram esforços para me ajudar a alcançar meus objetivos e sempre me apoiaram demonstrando alegria com minhas conquistas e me cobrando nos momentos oportunos. À minha irmã Luiza, exemplo de pesquisadora, que me auxiliou na elaboração do meu projeto com todo seu conhecimento científico. À minha avó Dorzinha, por toda a preocupação e amor envolvido. Ao meu cachorro Tupã, fiel companheiro, que literalmente esteve comigo durante todo o processo de pesquisa, elaboração e escrita desse projeto. E aos primos Lucas e Iago, sempre companheiros, que me auxiliaram nos ensaios de campo com a maior boa vontade.

Ao meu orientador Arthur Schleicher, que sempre esteve a disposição para me ajudar em todos os momentos, desde o início, me acolhendo como orientando e me permitindo escolher o tema do projeto até os momentos finais de correções sempre com sugestões muito pertinentes.

Ao meu grande amigo e coorientador Atman Solino, que me apoiou nos momentos difíceis e me permitiu ter acesso ao local de estudo mesmo em tempos pandêmicos. Além de todo auxílio que me deu quanto ao desenvolvimento da metodologia, principalmente quanto às análises no ArcGIS.

Aos amigos que a Universidade de Brasília me proporcionou conhecer ou estreitar os laços. Pessoas incríveis, que mudaram minha forma de ver a vida, com quem compartilhei diversos momentos de felicidade, aprendizado, tristeza e que foram essenciais no caminho para a conclusão desta graduação. Dentre eles: Marcus Vilar, Gabriel Cunha, Rebeca Benchouchan, Tainá Guimarães, Gabriel Duarte, Rodrigo Bogéa, Rebecca Guimarães, Mário Bierknes, Mateus Melo, Gabriel Klein, Rayssa Kleftakis, Júlia Almeida, Gabriel Antero, Gabriela Sekeff, Lucas Sisnando e Bernardo Vereza.

Agradeço também aos amigos verdadeiros que a escalada me deu, que também me apoiaram em momentos difíceis e com quem vivi memoráveis experiências que me marcaram para a eternidade.

Agradeço à Universidade de Brasília por todas as oportunidades, por ser plural, inclusiva e referência, sendo essencial na minha formação de caráter.

Por fim agradeço ao Universo e ao espetáculo que é a vida.

RESUMO

A expansão da mancha urbana e o consumo exacerbado provocam crescentes taxas de desmatamento e impermeabilização do solo. Assim novos conceitos e tecnologias que visam a realização de um manejo sustentável das águas pluviais estão cada vez mais em destaque, como por exemplo a utilização de técnicas compensatórias de drenagem urbana, que mitigam os impactos da impermeabilização. Em busca de se obter benefícios sustentáveis mais amplos e procurar mitigar também o desmatamento, esse trabalho se propõe a avaliar a influência de Sistemas Agroflorestais na velocidade de infiltração e no escoamento superficial, a fim de enquadrar os SAFs como medida que favoreça a infiltração de água no solo segundo o Capítulo V, artigo 9º, inciso VI da Resolução nº 9 de 2011 da ADASA. A área de estudo foi o Sítio Terra do Sol, localizado no Setor Habitacional Arniqueira, onde foram realizados ensaios de infiltração em campo que confirmaram a hipótese de maior penetração de água nos solos beneficiados pela atividade agroflorestal e comparados aos resultados com outros instrumentos compensatórios previstos pela Resolução nº 9 de 2011 da ADASA. A comparação mostrou que os Sistemas Agroflorestais apresentam, no mínimo, resultados semelhantes às outras medidas de infiltração. Também foi realizado o processamento de imagens de drone para a análise da evolução de uso e ocupação da área que demonstrou um rápido crescimento da densidade vegetal do SAF. A partir do método racional, estimaram-se vazões para três cenários baseados em diferentes porcentagens de densidade vegetal para a área estudada. Assim, comprovou-se que a vegetação densa pode reduzir a geração de escoamento superficial. Concluiu-se que os Sistemas Agroflorestais podem, a depender de análises da ADASA, se enquadrar na Resolução nº 9 de 2011 da ADASA como medidas que favorecem a infiltração, podendo assim servir como opção para reduzir o percentual da área impermeável a ser computado no dimensionamento dos reservatórios de qualidade, quantidade e amortecimento em condomínios horizontais no Distrito Federal.

Palavras-chave: Sistemas Agroflorestais, SAFs, Técnicas Compensatórias, Drenagem Urbana.

ABSTRACT

The urbanization process and the exaggerated consumption implicate increasing rates of logging and impermeabilization of the soil. Therefore, new concepts and technologies related to sustainable rainwater management are emerging, such as the application of compensatory techniques for urbane drainage, which decrease the impacts occasioned by impermeabilization. In order to achieve more sustainable benefits and to decrease the logging effects, this study proposes an evaluation of the Agroforestry Systems, focusing precisely on the infiltration velocity and on the surface runoff, with the aim of establishing AFS as useful tools for improving water infiltration according to the legal standard by the local oversight agency - ADASA. The study area was "Sítio Terra do Sol", in the Housing Sector "Arniqueira", where the field infiltration assays were done, confirming the hypothesis of greater water penetration rates in soils that are treated with agroforestry techniques. The results of these assays were compared to another compensatory techniques listed by ADASA legal standards. The comparison indicates that Agroforestry systems promoted, at least, similar results as the other infiltration techniques were able to implicate. Also, the processing of drone images was executed in order to evaluate the use and occupation of the study area. This images analysis indicates a fast increasing of the vegetation density related to the AFS, and, by applying the Rational Method, it was possible to estimate the peak rate of runoff for three different scenarios. The comparison between these scenarios made possible to declare that dense vegetations could reduce the surface runoff impacts. Therefore, it's possible to conclude that the Agroforestry Systems, depending on ADASA's analysis, could be defined as method for infiltration improving, as said by the legal standard. Hence, the AFS could be applied for rate of impermeabilized area reduction, in the sizing of water damping reservoirs.

Key-words: Agroforestry Systems, AFS, Compensatory Techniques, Urban Drainage.

SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO 1

2) OBJETIVOS 4

2.1. OBJETIVO GERAL 4

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 5

3.1. ÁGUA E SOLO 5

3.1.1. Hidrologia dos solos 5

3.1.1.1. Infiltração 6

3.1.2. Cobertura vegetal na dinâmica hidrológica dos solos. 9

3.2. ÁGUAS URBANAS 10

3.2.1. Sistema de drenagem urbano 11

3.2.2. Cheias urbanas 13

3.2.3. Técnicas compensatórias 14

3.2.3.1. Trincheiras de infiltração 15

3.2.3.2. Pavimentos permeáveis 17

3.2.3.3. Sistemas de biorretenção 19

3.2.3.4. Telhados verdes 20

3.2.4. Legislação pertinente 21

3.3. AGROECOLOGIA 23

3.3.1. Desequilíbrio e problemáticas atuais 24

3.3.2. Beneficiamento do solo 25

3.3.3. Agricultura urbana 26

3.4. SISTEMAS AGROFLORESTAIS 27

3.4.1. Agricultura Sintrópica, Princípios e Fundamentos 29

3.4.2. Tipos 32

3.5. GEOTECNOLOGIAS E CÁLCULO DE VAZÃO 32

3.5.1. Geoprocessamento e o ArcGIS 33

3.5.2. Sensoriamento remoto e o Agisoft Metashape 33

3.5.3. Métodos para estimar o escoamento superficial 34

4) METODOLOGIA 35

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 36

4.2. ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM CAMPO 40

4.3. PROCESSAMENTO DE IMAGENS GEORREFERENCIADAS DE DRONES POR MEIO DO SOFTWARE AGISOFT METASHAPE 47
4.4. ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO COM IMAGENS GEORREFERENCIADAS DE DRONE ATRAVÉS DO SOFTWARE ARCGIS 49
4.5. MÉTODO RACIONAL COM DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL 50
5) RESULTADOS E DISCUSSÕES 55
5.1. ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM CAMPO 55
5.1.1. Comparação das taxas de infiltração com outros dispositivos 62
5.2. ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO COM IMAGENS GEORREFERENCIADAS DE DRONE ATRAVÉS DO SOFTWARE ARCGIS 63
5.3. MÉTODO RACIONAL COM DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL 67
5.4. ENQUADRAMENTO DOS SAFS COMO MEDIDA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO DE ACORDO COM LEGISLAÇÃO DO DF 70
6) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73
APÊNDICES 80
APÊNDICE A - DADOS REGISTRADOS NO ENSAIO DE INFILTRAÇÃO UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DOS GRÁFICOS 81

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Relação entre capacidade de infiltração e taxa de precipitação (Lawall, 2010). 7
Figura 3.2 - Infiltrômetro de anéis concêntricos (Ottoni, 2005). 9
Figura 3.3 - Comparação do balanço hídrico entre formações florestais e áreas urbanizadas (Tucci, 2005). 10
Figura 3.4 - Impacto da urbanização sobre o escoamento superficial (ADASA, 2018). 11
Figura 3.5 - Sustentabilidade da gestão dos Recursos Hídricos (Tucci e Mendes, 2006). 12
Figura 3.6 - Ciclo de inundações e contaminação (UFMG, 2008 *apud* Vargas *et al.*, 2008). 14
Figura 3.7 - Trincheira de infiltração (ADASA, 2018). 16
Figura 3.8 - Funcionamento de revestimentos permeáveis (Tominaga, 2013). 17
Figura 3.9 - Esquema de um sistema de biorretenção (Melo *et al.*, 2014). 19
Figura 3.10 - Esquematização de um telhado verde (Tominaga, 2013). 20
Figura 3.11 - Cooperação entre agricultura e floresta nos SAFs (Caldeira e Chaves, 2011). 29
Figura 3.12 - Desenvolvimento dos processos sucessionais dentro de um ciclo completo de inspiração e expiração, exemplificado num ecossistema com floresta (Peneireiro, 1999). 30
Figura 3.13 - Porcentagem recomendada de ocupação dos estratos dentro de um sistema agroflorestal (modificado de Miccolis *et al.*, 2016). 31
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia desenvolvida. 35
Figura 4.2 - Mapa de localização da área de estudo. 36
Figura 4.3 - Mapa pedológico de Arniqueira com detalhamento da área de estudo. 37
Figura 4.4 - Mapa de declividade de Arniqueira com detalhamento da área de estudo. 38
Figura 4.5 - Delimitação da área de estudo a partir de imagem de satélite tirada no dia 28/05/2020 (Google Earth Pro). 39
Figura 4.6 - Mapa de localização dos pontos de amostragem (imagem gerada a partir de fotos de drone, tiradas no dia 13/03/2021). 41
Figura 4.7 - Execução de ensaio de infiltração no ponto 5 e indicação de materiais. 42
Figura 4.8 - Adesivos de marcação de uma escala graduada em centímetros. 43
Figura 4.9 - Verificação do correto posicionamento dos anéis 43
Figura 4.10 - Conferência do nivelamento dos anéis. 44
Figura 4.11 - Fixação dos anéis no solo. 44

Figura 4.12 - Exemplo de preenchimento de planilha de campo para ensaio de infiltração com anéis concêntricos. 45
Figura 4.13 - Modelo digital de elevação (DEM) do Sítio Terra do Sol. 48
Figura 4.14 - Ortomosaico gerado no *software* Agisoft Metashape a partir de fotos aéreas do Sítio Terra do Sol em 2020. 49
Figura 5.1 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 1. 55
Figura 5.2 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 2. 56
Figura 5.3 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 4. 56
Figura 5.4 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 5. 57
Figura 5.5 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 6. 57
Figura 5.6 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 7. 58
Figura 5.7 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 8. 58
Figura 5.8 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 9. 59
Figura 5.9 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 10. 59
Figura 5.10 - Imagem de drone da evolução da cobertura do solo do Sítio Terra do Sol entre 2020 e 2021. 64
Figura 5.11 - Detalhamento da evolução da cobertura do solo do SAF entre 2020 e 2021. 64
Figura 5.12 - Mapa de uso e ocupação do Sítio Terra do Sol para os anos de 2020 e 2021. 65
Figura 5.13 - Mapa de uso e ocupação com detalhamento do SAF para os anos de 2020 e 2021. 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Categorias e tipos de medidas estruturais convencionais (modificado de Righetto, 2009). 12
Tabela 3.2 - Funções das técnicas compensatórias (modificado de Singapura, 2018). 15
Tabela 3.3 - Viabilidade de aplicação de pavimentos permeáveis, de acordo com os coeficientes de permeabilidade e o tipo de infiltração (ABNT, 2015). 18
Tabela 4.1 - Média mensal das chuvas (TOPOCART, 2013). 38
Tabela 4.2 - Média mensal da Umidade Relativa do Ar (TOPOCART, 2013). 39
Tabela 4.3 - Identificação dos pontos amostrais do ensaio de infiltração. 40
Tabela 4.4 - Valores de CN para cada classe de cobertura do solo (modificado de NRCS, 2014). 52
Tabela 5.1 - Grau de satisfação do comportamento da velocidade de infiltração obtido em cada gráfico referente à cada ponto de amostragem. 61
Tabela 5.2 - Valores de VIB para cada ponto amostral 61
Tabela 5.3 - Maiores valores de VIB obtidas para cada superfície analisada por Moura (2005). 63
Tabela 5.4 - Valores de VIB das trincheiras de infiltração com e sem brita obtidas para os ensaios realizados por Puzzi (2015). 63
Tabela 5.5 - Áreas referentes a cada classe de cobertura do solo da área de estudo para 2020 e 2021 e suas variações entre os dois anos. 66
Tabela 5.6 - Áreas referentes a cada classe de cobertura do solo do SAF para 2020 e 2021 e suas variações entre os dois anos. 67
Tabela 5.7 - Áreas das classes de cobertura do solo no cenário hipotético e suas porcentagens. 67
Tabela 5.8 - Valores de intensidade da chuva para tempos de retorno de 2 e 10 anos 67
Tabela 5.9 - Valores de CN ponderado, infiltração potencial, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento calculados para os tempos de retorno de 2 e 10 anos para cada cenário. 68
Tabela 5.10 - Valores de vazões calculados a partir do método racional para os tempos de retorno de 2 e 10 anos para cada cenário. 69
Tabela 5.11 - Reduções de vazões calculadas para os tempos de retorno de 2 e 10 anos entre os cenários 2020-2021 e hipotético-2021. 69
Tabela A.1 - Dados de infiltração no Ponto 1 81

Tabela A.2 - Dados de infiltração no Ponto 2 83
Tabela A.3 - Dados de infiltração no Ponto 4 85
Tabela A.4 - Dados de infiltração no Ponto 5 86
Tabela A.5 - Dados de infiltração no Ponto 6 88
Tabela A.6 - Dados de infiltração no Ponto 7 90
Tabela A.7 - Dados de infiltração no Ponto 8 90
Tabela A.8 - Dados de infiltração no Ponto 9 91
Tabela A.9 - Dados de infiltração no Ponto 10 91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 21
Equação 3.2 22
Equação 3.3 22
Equação 3.4 34
Equação 4.1 46
Equação 4.2 46
Equação 4.3 51
Equação 4.4 51
Equação 4.5 52
Equação 4.6 53
Equação 4.7 53
Equação 4.8 53
Equação 4.9 54

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
APP	Área de Preservação Permanente
CN	Curva Número
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEM	Modelo Digital de Elevação
DF	Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
GDF	Governo do Distrito Federal
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GSD	Ground Sample Distance
ICRAF	Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
NRCS	Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos
NYDF	New York Declaration on Forests
QQVC	Quantidade e Qualidade de Vida Consolidada
SAFs	Sistemas Agroflorestais
SIG	Sistemas de Informação Gráfica
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VIB	Velocidade de Infiltração Básica

1) INTRODUÇÃO

Do século XX foram herdados os modelos socioeconômicos baseados na expansão da mancha urbana, no consumo exacerbado e consequente esgotamento de recursos naturais. Esses elementos remetem ao grande desafio deste século: a busca da sustentabilidade em todas as esferas e ações humanas.

O contexto histórico mencionado influencia diretamente o crescente desmatamento que ocorre no planeta. Entre 2014 e 2018, por ano, o mundo perdeu 26,1 milhões de hectares de cobertura de árvores em média, valor bem acima da média anual entre 2001 e 2013 que era de 18,3 milhões (NYDF, 2019).

Dessa forma, ao sofrerem forte pressão espacial ocasionada pelos processos advindos da urbanização, as bacias hidrográficas ficam, gradativamente, mais suscetíveis às alterações de uso e ocupação do solo. Por sua vez, a impermeabilização de superfícies acarreta em prejuízos quanto ao escoamento superficial urbano, que cresce e quanto à recarga de água subterrânea, que é decrescida em virtude da redução do volume de infiltração (Chahar *et al.*, 2012). No Distrito Federal (DF), essa pressão e o elevado valor imobiliário da terra gerado pela especulação, são pontos que influenciam a problemática da grilagem de terras. A grilagem por sua vez não respeita áreas ambientais protegidas, elevando os impactos na drenagem urbana (Silva, 2006).

Esses reflexos sobre o ciclo hidrológico no meio urbano têm evidenciado os limites das soluções tradicionais de drenagem (Righetto, 2009). Posto isso, esta linha do planejamento urbano passa a ser pensada de maneira sustentável, mediante o manejo adequado das águas, resgatando seu ciclo e fluxo naturais de maneira harmoniosa com a população (Melo *et al.*, 2016).

Atualmente, alternativas que buscam a mitigação desses problemas provenientes da urbanização são baseadas em técnicas compensatórias como: trincheiras de infiltração; bacias de detenção, retenção e infiltração; dispositivos de biorretenção, pavimentos permeáveis e telhados verdes (Woods Ballard *et al.*, 2015). Porém, a gestão de bacias hidrográficas deve considerar, primeiramente, usos que conservem e recuperem as propriedades do solo, sendo capazes de potencializar e complementar tais técnicas. A agroecologia e a permacultura caminham nesse sentido e apresentam algumas alternativas como o manejo de Sistemas Agroflorestais (SAFs), que visam a produção de alimentos associada à conservação florestal (Kazay e Oliveira, 2014).

Os SAFs, segundo o descrito pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução nº 429/2011, são "sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas e forrageiras, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com diversidade de espécies nativas e interações entre estes componentes" (Brasil, 2011). Por se assemelhar aos ecossistemas naturais, as agroflorestas proveem variados serviços ambientais. No tocante à proteção hídrica, esses são decorrentes da manutenção da cobertura vegetal do solo e do favorecimento dos processos de ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos (Kazay e Oliveira, 2014).

Ao ponderar-se a conjunção socioambiental em que o planeta se encontra, é interessante observar que a aplicação da agroecologia atende a uma ampla ótica sustentável, pautada nos seus diversos pilares e que pode ter potencial maior do que o uso único de outras técnicas compensatórias baseadas, em sua maioria, no uso de medidas estruturais (obras civis) que se destinam prioritariamente ao manejo das águas pluviais urbanas.

Outro ponto importante é a grande convergência dos SAFs com os objetivos da agricultura urbana, que promove a segurança alimentar e nutricional, respeita a diversidade cultural e serve como objeto de educação ambiental, lazer e geração de empregos. Dessa forma, o cultivo urbano traz diversas vantagens ambientais (Santandreu e Lovo, 2007).

O Distrito Federal possui algumas legislações, como a Resolução nº 9 de 8 de abril de 2011 da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), que estabelecem a obrigatoriedade de instalação de reservatórios de amortecimento para lotes acima de 600m². Essas legislações também citam a utilização de outras medidas de infiltração como passíveis de redução do volume do reservatório requerido.

É dentro desse panorama e com essa contextualização que este trabalho se apresenta, empenhando-se em avaliar a viabilidade do enquadramento de SAFs na Resolução nº 9 da ADASA como técnica de infiltração. Podendo assim ser instalados em condomínios horizontais no DF como instrumentos de manejo ecológico das águas pluviais, atrelados à sua essência macro sustentável.

Na revisão bibliográfica e fundamentação teórica, aqui apresentadas, foram abordados conceitos recorrentes e trabalhos já realizados acerca da temática e dos benefícios que envolvem os Sistemas Agroflorestais e como eles podem impactar diferentes âmbitos da

sustentabilidade. No capítulo posterior, foi apresentada a metodologia que aplicada, demonstrando os parâmetros e critérios considerados. Depois foram apresentados os resultados e promovidas discussões a partir deles. Por fim, foram apontadas as conclusões obtidas e feitas recomendações para futuras pesquisas de continuação da temática.

2) OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar no Sítio Terra do Sol, localizado no Setor Habitacional Arniqueiras no DF, a viabilidade do enquadramento de Sistemas Agroflorestais no Capítulo V da Resolução nº 9 da ADASA como medida que favorece a infiltração de água no solo para a implantação de SAFs em condomínios horizontais no DF.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a velocidade de infiltração de um solo beneficiado com o sistema agroflorestal da área de estudo através de ensaios de infiltração em campo;
- Comparar a velocidade de infiltração promovida pelo SAF presente na área de estudo com outras técnicas compensatórias por meio de dados de outros trabalhos;
- Avaliar a evolução da cobertura vegetal do SAF da área de estudo com imagens de drone, gerando mapas de uso e ocupação com *o software* de geoprocessamento ArcGIS;
- Analisar o impacto do aumento de densidade vegetal promovido pelo SAF, na área de estudo, na vazão de escoamento superficial pelo método racional.

3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. ÁGUA E SOLO

Recursos naturais são quaisquer insumos de que os organismos, as populações e os ecossistemas necessitam para a sua manutenção e apresentam relação direta com a economia, uma vez que, com o advento de novas tecnologias, a exploração desses elementos torna-se economicamente viável (Braga *et al.*, 2005).

O solo desempenha funções vitais no ecossistema, a sua degradação em função do uso inadequado pelo ser humano e por sua dinamicidade como recurso natural, pode estar intimamente relacionada com a poluição dos recursos hídricos, perda da biodiversidade, redução da qualidade de vida da população, entre tantos outros. Assim, devido aos processos da natureza serem interdependentes, o solo deve ser preservado da erosão, empobrecimento, contaminação e desertificação (Guimarães *et al.*, 2012; Carvalho e Barcellos, 2018).

Apesar do planeta Terra ser composto majoritariamente por água, a fração doce corresponde a apenas 2,53% e destes, somente 0,26% está disponível em lagos, reservatórios e bacias hidrográficas, lugares onde ela se torna mais acessível para as macro necessidades vitais e econômicas (Shiklomanov e Rodda, 2003; Shiklomanov, 1998). Além disso, o crescimento acelerado das populações e o desenvolvimento industrial e tecnológico vêm comprometendo as fontes disponíveis de água doce (Mota *et al.*, 2006).

A degradação e a poluição, desses recursos essenciais, geradas por ação antrópica que faz sofrer a natureza, atentam toda a sociedade pela necessidade de uma mudança ideológica que promova atitudes de preservação do solo e dos recursos hídricos, fundamental para a sobrevivência de qualquer espécie vegetal ou animal (Renner *et al.*, 2010).

3.1.1. Hidrologia dos solos

A hidrologia dos solos ou hidropedologia é uma área do conhecimento composta a partir do estreitamento entre os ramos da ciência do solo e da hidrologia que, de maneira interdisciplinar, engloba pesquisas dos processos interativos de solo e de água e de suas propriedades na zona não saturada. A perspectiva paisagística também é intrínseca a essa análise, o que justifica um olhar a nível de paleohidrologia ou paleohidropedologia. (Lin *et al.*, 2006).

A pedologia é a vertente da ciência do solo responsável por integrar e quantificar a formação, a distribuição, a morfologia e a classificação dos solos, enquanto que a hidrologia lida com

a ocorrência, distribuição, circulação e propriedades da água no globo, interagindo acima e abaixo da superfície terrestre. A interação água-solo age, em múltiplas escalas, no desenvolvimento do solo, resultando em grande variabilidade espacial de dados na pedologia. Essas interações, por sua vez, controlam a qualidade e a quantidade de água nos sistemas superficiais e subsuperficiais estudados na hidrologia (Lin *et a*l., 2006).

O solo é constituído de partículas sólidas de tamanho e composição variados, que se arranjam de forma a torná-lo um meio poroso, definindo assim sua estrutura. Os poros ou espaços vazios, por sua vez, são ocupados pelas frações água e ar, e essas frações estão sujeitas a variações sob condições naturais, na dependência dos fatores meteorológicos e fitológicos. A água e o ar competem pelo espaço poroso do solo, sendo complementares entre si, ou seja, a ocupação máxima proporcionada por um implica ausência do outro. Portanto a fase líquida pode se apresentar nos poros completa ou parcialmente (Leal, 2011).

A caracterização desse arranjo estrutural entre as partículas sólidas do solo é um aspecto de vital utilidade para investigação do solo. Os constituintes sólido, líquido e gasoso governam a forma e o desenvolvimento do espaço poroso, cuja característica altera profundamente influências naturais e o comportamento do solo como, por exemplo, na aeração e na hidratação com respeito ao sistema radicular dos vegetais. Além disso, sob o ponto de vista químico, um solo em que a circulação de água e ar é bem dinâmica, permite melhor transporte de nutrientes dissolvidos, essenciais às plantas, melhorando, assim, sua fertilidade. Assim, a água é retida nos poros do solo em graus variáveis, dependendo da sua própria quantidade e também do tamanho e conectividade desses espaços (Leal, 2011).

Usualmente, para avaliar a qualidade da condição estrutural do solo, utilizam-se outras propriedades físicas e hídricas indiretamente influenciadas pela estrutura, como a estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade, permeabilidade, infiltração e retenção de água. Esse tipo de avaliação é bastante usado para indicar o estado atual da estrutura do solo quando submetido a diferentes sistemas de manejo (Leal, 2011).

3.1.1.1. Infiltração

A infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. Portanto, é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes em seu interior. (Tucci, 2001).

Em termos gerais, a entrada da água no solo se faz de forma desacelerada, começando com velocidade alta, decrescendo gradativamente ao longo do tempo até atingir o equilíbrio dinâmico. Nessas condições de equilíbrio, quando a velocidade de infiltração praticamente não varia com o tempo, um valor constante é assumido denominando-se de infiltração básica (Lawall, 2010). A velocidade ou taxa de infiltração é definida quantitativamente como sendo o volume de água que penetra na superfície do solo por unidade de área, por unidade de tempo (Leal, 2011).

Nesse âmbito de estudo, o conceito de capacidade de infiltração é aplicado para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela sua superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que acontece quando há disponibilidade de água para penetrar no solo (Tucci, 2001).

A relação entre capacidade de infiltração e taxa de infiltração, ilustrada graficamente na Figura 3.1, pode ser observada em três diferentes conjunções, referentes a ocorrências pluviométricas. Se a taxa de precipitação for menor que a capacidade de infiltração, toda água que atingir a superfície irá infiltrar (Figura 1A). Se a precipitação for maior que a capacidade de infiltração após um certo tempo, a água infiltrará até esse momento e posteriormente escoará superficialmente (Figura 1B). Em último caso, se a taxa de precipitação for maior que a capacidade de infiltração inicial, a água escoará pela superfície imediatamente (Figura 1C) (Fetter, 2014).

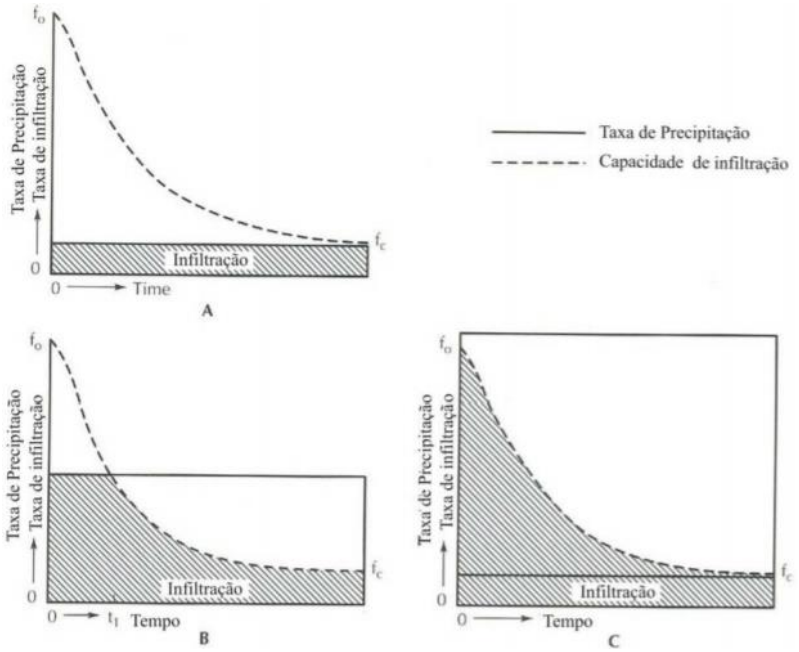


Figura 3.1 - Relação entre capacidade de infiltração e taxa de precipitação (Lawall, 2010).

Existem fatores que intervêm na capacidade de infiltração, sendo esses: umidade do solo, permeabilidade do solo, temperatura do solo e da água, profundidade do extrato impermeável, cobertura vegetal, presença de ar no solo e outras características da precipitação (Villela e Mattos, 1975; Pinto *et al.*, 1976; Tucci, 2001).

Assim, um solo seco tem maior capacidade de infiltração inicial devido ao fato de se somarem as forças gravitacionais e as de capilaridade. A permeabilidade do solo, que pode ser afetada por outros fatores como cobertura vegetal e compactação, é preponderante no fenômeno da infiltração da água, pois é dela primordialmente que o fluxo de água para baixo depende. Diferentemente da capacidade de infiltração que depende das condições de contorno, a permeabilidade é a velocidade de filtração para um gradiente unitário de carga hidráulica em um fluxo saturado através de um meio poroso, dependendo principalmente do tamanho e distribuição dos grãos do solo e da temperatura da água (Villela e Mattos, 1975).

Quanto à temperatura, sua influência na viscosidade da água faz com que a capacidade de infiltração nos meses frios seja mais baixa do que nos meses quentes. O ar presente nos vazios do solo pode ficar retido temporariamente, comprimido pela água que penetra no solo, tendendo a retardar a infiltração (Pinto *et al.*, 1976).

Leal (2011) e Ottoni (2005) deixam claro que é de grande importância a realização de ensaios *in situ* para a mensuração da capacidade de infiltração, uma vez que sua correta aferição é diretamente dependente de fatores estruturais e morfológicos do perfil do solo, já que ele sofre intensa variabilidade espacial e temporal. Dentre alguns possíveis métodos de determinação da velocidade de infiltração básica (VIB), o que costuma ser preferido é o infiltrômetro de anéis concêntricos (Figura 3.2) que, de acordo com Lawall (2010) e Leal (2011), são fáceis de se transportar, manusear e realizar leituras.

O infiltrômetro de duplo anel ou anéis concêntricos é composto por dois anéis de aço galvanizado que apresentam dimensões variadas (geralmente o diâmetro do maior anel é o dobro do menor) e são cravados concentricamente no solo em aproximadamente 10 cm de profundidade. Após a fixação dos anéis, coloca-se a água até se formar uma lâmina variável entre 2 a 15 cm que manterá constante o fluxo. Com uma régua ou boia graduada se faz a leitura da altura da lâmina d'água do anel interno, enquanto a função do externo é saturar o solo ao redor, induzindo a verticalidade do fluxo de infiltração para o cálculo da VIB. (Reichardt, 1987).

Figura 3.2 - Infiltrômetro de anéis concêntricos (Ottoni, 2005).

3.1.2. Cobertura vegetal na dinâmica hidrológica dos solos.

A presença da vegetação atenua ou elimina a ação da compactação da água da chuva, servindo como uma capa protetora do solo minimizando os impactos diretos das gotas pela interceptação, dispersando a água que alcança a superfície. Solos mais compactados são mais densos pela redução do espaço poroso podendo levar à diminuição considerável da permeabilidade (Pinto *et al.*, 1976; Lawall, 2010).

A cobertura vegetal densa atenua processos erosivos de encostas, pois dificulta o escoamento superficial, protegendo com a quebra da energia cinética da gota. Cessada a chuva, a umidade é retirada através das raízes das plantas, possibilitando maiores valores para a capacidade de infiltração no início das precipitações (Pinto *et al.*, 1976; Lawall, 2010).

Outro aspecto importante é o estabelecimento de uma camada de matéria orgânica em decomposição, diretamente sobre o solo, que favorece a atividade escavadora de insetos e animais (Pinto *et al.*, 1976). As condições físicas do solo são alteradas com aumento da matéria orgânica, permitindo que o solo fique mais friável, melhore a circulação do ar e retenha mais água para as plantas, favorecendo o desenvolvimento das raízes. Também ocorrem melhorias da fertilidade química e diminuição das perdas dos nutrientes quando a matéria orgânica aumenta, ficando à disposição, em quantidade maior, na principal região de crescimento das raízes. (Ribeiro et al., 2019).

A matéria orgânica fornece substâncias de agregação e solidificação, que dão a forma grumosa, com boa estabilidade à água, sendo a região de 0 a 20 cm a profundidade mais favorecida, pela maior presença de gases atmosféricos, sendo um dos elementos mais

atuantes na efetiva estruturação de agregados (Primavesi, 1980). Logo, a retirada da vegetação altera significativamente as condições superficiais do solo gerando degradação em sua qualidade física (Lawall, 2010).

3.2. ÁGUAS URBANAS

A busca por melhor qualidade de vida levou ao êxodo rural para núcleos urbanos e a migração de pequenas cidades para cidades de médio e grande porte, aspectos esses responsáveis por caracterizar a urbanização brasileira vista no último século. Porém, esse crescente e acelerado processo não foi acompanhado por políticas públicas voltadas a provisão de infraestruturas capazes de atender essa alta demanda. Um dos setores que mais se nota essa ausência de investimentos é o sistema de saneamento brasileiro (Porto, 2003).

Segundo a ADASA (2018), o desenvolvimento saudável da vida humana é alcançado principalmente com o gerenciamento e manejo dos recursos hídricos, atividades essas que são essenciais para a harmonia da interação entre ser humano e meio ambiente. O ciclo hidrológico natural é diretamente influenciado por ações antropogênicas advindas da urbanização, devido às altas taxas de concentração demográfica. A impermeabilização do solo, a geração de resíduos sólidos e a produção de esgotos alteram de forma substancial a qualidade ambiental da região que abrangem.

Como ilustrado na Figura 3.3, a cobertura vegetal e as características de relevo, que retardam o escoamento superficial e interceptam volumes de água, ao serem modificados, geram superfícies aplainadas que potencializam a velocidade com que a água escoa. Ademais, a taxa de permeabilidade do solo é decrescida, devido à impermeabilização do terreno, que resulta no acréscimo do volume de escoamento superficial, dificultando a infiltração e armazenamento de água (Tucci, 2016).

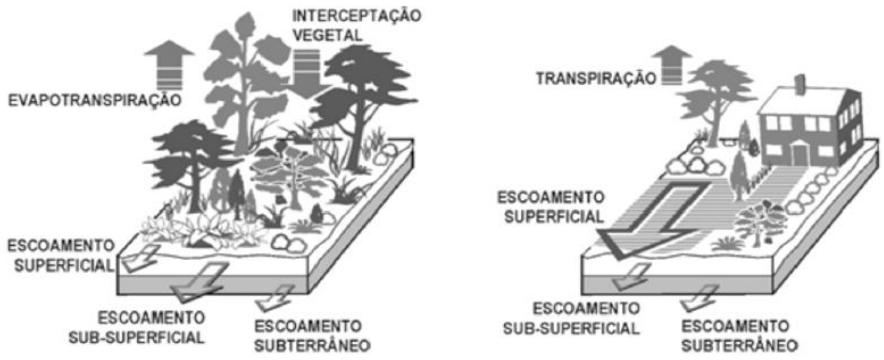


Figura 3.3 - Comparação do balanço hídrico entre formações florestais e áreas urbanizadas (Tucci, 2005).

Assim, desencadeiam-se outras mudanças como: redução do nível do lençol freático, aumento da temperatura e diminuição da umidade em escala local. Esses fatores criam um cenário de aumento da vazão de cheia e do volume superficial do hidrograma da bacia, como pode ser observado na Figura 3.4 (Tucci, 2016).

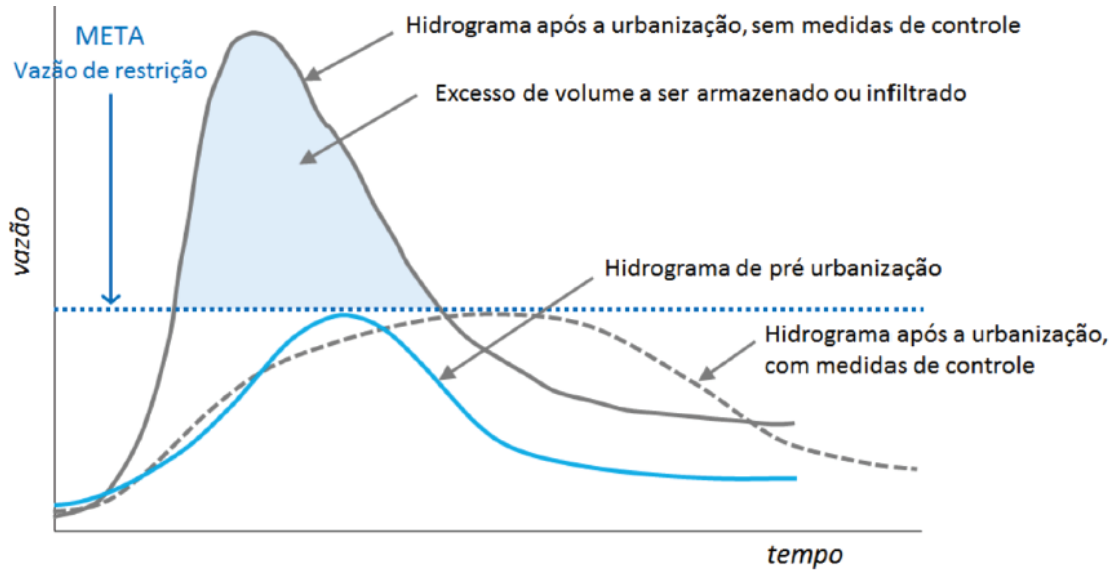


Figura 3.4 - Impacto da urbanização sobre o escoamento superficial (ADASA, 2018).

3.2.1. Sistema de drenagem urbano

Segundo o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal, os sistemas de drenagem urbana são parte complementar do projeto de planejamento urbano e devem garantir que as ações de prevenção e os controles de riscos hidrológicos sejam embasados de maneira sustentável. De acordo com o mesmo, a finalidade durante todas as etapas da concepção, do planejamento à operação, é atingir uma redução nos índices de alagamentos e inundações, para controlar as cargas de poluentes na água (ADASA, 2018).

Tradicionalmente, as comunidades sempre buscaram se assentar e desenvolver cidades ao longo de cursos d'água e quanto ao sistema de drenagem, todo esforço era contínuo para afastar as ondas de cheias dos centros urbanos, caracterizando um enfoque higienista que é predominante ainda hoje. Dessa forma, o sistema convencional de drenagem urbana visa, apenas, o transporte hídrico à jusante, sem haver preocupações com qualidade ou impacto potencial à frente (Tucci, 2001).

Assim, surgiu a necessidade de uma abordagem mais integrada da gestão dos recursos hídricos no sentido sustentável, que engloba quatro diferentes âmbitos, ilustrados na Figura

3.5, sendo esses: sistemas hídricos, disciplinas do conhecimento, ambientes naturais e aspectos socioeconômicos (Tucci e Mendes, 2006).

Figura 3.5 - Sustentabilidade da gestão dos Recursos Hídricos (Tucci e Mendes, 2006).

A primeira subdivisão das condutas de mitigação de enchentes é composta por ações estruturais e não estruturais. As não estruturais, enfocam, sobretudo, o uso racional do espaço urbano através de conscientização popular, legislação apropriada, fiscalização do uso e ocupação, entre outros. Já as medidas estruturais, referenciam obras de captação, transporte e detenção (Righetto, 2009), como se nota na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Categorias e tipos de medidas estruturais convencionais (modificado de Righetto, 2009).

Categoria	**Tipo**
Detenção do escoamento	Bacia de detenção ou de atenuação de cheia Bacia de retenção com infiltração
Área inundável	Terreno adaptado a alagamento
Dispositivos de infiltração	Vala de infiltração Bacia de infiltração Pavimento poroso
Filtros orgânicos e de areia	Filtro superficial de areia Filtro subterrâneo

O sistema de drenagem é composto por três grandes grupos de instrumentos estruturais: microdrenagem, macrodrenagem e controle na fonte. A microdrenagem compreende a bocas de lobo, sarjetas e redes de condutos com diâmetros menores que encaminham a vazão até os elementos de macrodrenagem, que são os canais, galerias e condutos de maiores diâmetros. Por fim, as medidas de controle na fonte são caracterizadas por amenizar o escoamento superficial no local onde ocorre, para não sobrecarregar a rede pluvial. A drenagem na fonte apresenta mecanismos de amortecimento e/ou infiltração, como por exemplo: pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e reservatórios. (ADASA, 2018).

Com base no trabalho de Camuzzi (2017), que analisou a drenagem urbana do Riacho Fundo (DF), fica evidente a sobrecarga do sistema atual que não é capaz de escoar a chuva de projeto, devido ao subdimensionamento dos condutos e ao reduzido número de pontos de coleta. Ao final, percebe-se que é de fundamental importância uma completa e ampla reformulação do sistema em questão, buscando alternativas de baixo custo que atendam o controle das vazões.

3.2.2. Cheias urbanas

O aumento das vazões máximas, que caracterizam as cheias urbanas, são eventos gerados a partir da ascensão da capacidade de escoar água, por condutos e canais, e da impermeabilização das superfícies ao passo que acontece a urbanização. Além disso, a produção de resíduos sólidos e de sedimentos crescem, fatores desencadeados pela exposição da superfície e pelo deterioramento da qualidade da água, causado pelo transporte de material sólido, pela lavagem das ruas e pelas ligações ilegais de esgoto (Tucci, 2008).

De acordo com Zampronio (2009), as cheias urbanas são eventos naturais que podem, a depender da intensidade, provocar vítimas, prejuízos sociais e prejuízos econômicos diversos. A falta de manutenção adequada ou a má concepção dos dispositivos de drenagem urbana são capazes de potencializar algumas dessas perdas provocadas pelas cheias. Já outras são atribuídas à inequívoca ocupação de áreas naturalmente alagáveis. Fica evidenciado que frequentemente ocorrem precipitações que geram escoamentos superficiais acima da capacidade do sistema de drenagem.

A partir da captação nos mananciais até o momento do consumo humano, a qualidade da água pode ser afetada por eventos de cheias. A lavagem de solos impermeabilizados resulta na dispersão e dissolução de resíduos urbanos (domésticos e/ou industriais), inclusive tóxicos, transformando a água drenada em uma potencial contaminadora de mananciais

superficiais em áreas urbanizadas, como mostra a Figura 3.6. De forma correspondente, o sedimento carreado e depositado em associação com o esgoto sanitário, liberado nos sistemas pluviais por interligações clandestinas, são fontes de degradação anaeróbia dentro da rede de escoamento. Essa geração de poluentes acaba por impactar a qualidade de corpos hídricos, fazendo necessário o emprego de tratamentos de água mais sofisticados para o abastecimento. Outras influências são a perda de áreas de recarga, eutrofização e redução da disponibilidade de água potável (Vargas *et al.*, 2008).

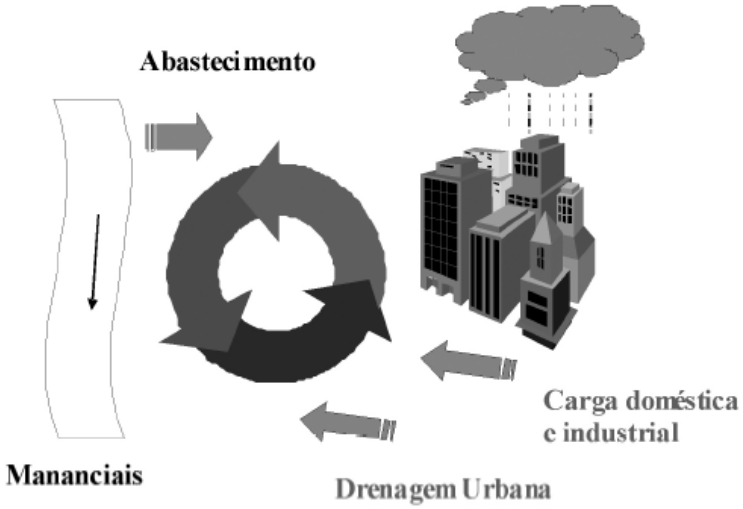
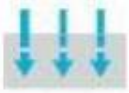


Figura 3.6 - Ciclo de inundações e contaminação (UFMG, 2008 *apud* Vargas *et al.*, 2008).

3.2.3. Técnicas compensatórias

Técnicas compensatórias são ambientalmente corretas, uma vez que buscam a proteção dos recursos hídricos, garantindo sua disponibilidade para futuras gerações ao mesmo passo que atendem as exigências do sistema de drenagem urbano. Dessa maneira, elas podem ser responsáveis por dar prosseguimento à urbanização com custos reduzidos em comparação com medidas de infraestrutura adotadas no sistema clássico. A integração paisagística entre áreas impermeabilizadas e áreas verdes, pode ser eficiente quanto ao controle da geração de deflúvios. Mediante incentivos do Poder Público, abatimentos no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) são possíveis em função da atenuação da contribuição de escoamento e, consequentemente, da mitigação das cheias urbanas (Righetto, 2009). A Tabela 3.2 exemplifica as funções dos principais dispositivos compensatórios.

Tabela 3.2 - Funções das técnicas compensatórias (modificado de Singapura, 2018).

	Purificação	O deflúvio pode se purificar através de um ou mais dos seguintes fatores: sedimentação, filtração e absorção biológica.
	Detenção	Objetiva a redução do fluxo de escoamento pluvial para aliviar o estresse sistêmico à jusante. Pode-se drenar a água pela vegetação, aumentar a rugosidade de superfícies ou armazenar a água temporariamente de forma local.
	Retenção	Tem o mesmo objetivo da detenção, porém a água é retida por um longo período de tempo, seja para uso posterior ou até que se possa ser liberada para a drenagem superficial ou corpos d'água.
	Transporte	Importante para controle de enchentes, se refere ao transporte e direcionamento da água desde o ponto inicial de precipitação até sua descarga final.
	Infiltração	É atribuída à recarga dos aquíferos e das águas subterrâneas, tendo ainda benefício de purificação.

De forma geral, os instrumentos compensatórios utilizados para esse manejo das águas pluviais que mais se assemelham à proposta do emprego de SAFs, com esse mesmo propósito, são: trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, sistemas de biorretenção e telhados verdes. Todos esses dispositivos citados apresentam, assim como os SAFs, características que equivalem quanto ao beneficiamento de infiltração e/ou cobertura vegetal, o que facilita a comparação entre tais medidas.

Com finalidade comparativa para esse estudo, buscaram-se outros trabalhos que, a partir de ensaios, calcularam a velocidade de infiltração para outros dispositivos compensatórios de drenagem urbana. Foi dada preferência por trabalhos realizados no DF, que mantivessem um tipo de solo no mínimo similar ao da área de estudo, sendo a referência mais próxima encontrada o trabalho de Moura (2005) que será abordado no item 3.2.3.2. Para representar uma velocidade de infiltração para um outro instrumento compensatório, foram procuradas referências relativas às trincheiras de infiltração e utilizou-se o trabalho de Puzzi (2015) apresentado em 3.2.3.1.

3.2.3.1. Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares que objetivam absorver o escoamento superficial a fim de amortecê-lo e viabilizar sua infiltração no solo. Elas são funcionais no

abate de descargas de pico e promoção de recarga de aquíferos, que através da percolação remove parte das partículas poluentes (ADASA, 2018).

Elas se constituem por uma escavação no solo onde são preenchidas, em toda sua extensão, com brita de granulometria uniforme, permitindo que a água infiltre pelas paredes e pelo fundo. Como mostra a Figura 3.7, o projeto das trincheiras também inclui um poço de inspeção, que permite fiscalizar e medir o nível de água dentro do colchão de infiltração. Podem compor o projeto paisagístico e ser descobertas, cobertas com grama ou revestimento permeável. Para evitar a penetração de sedimentos, um filtro geotêxtil é colocado nas paredes, fundo e topo da trincheira (ADASA, 2018).

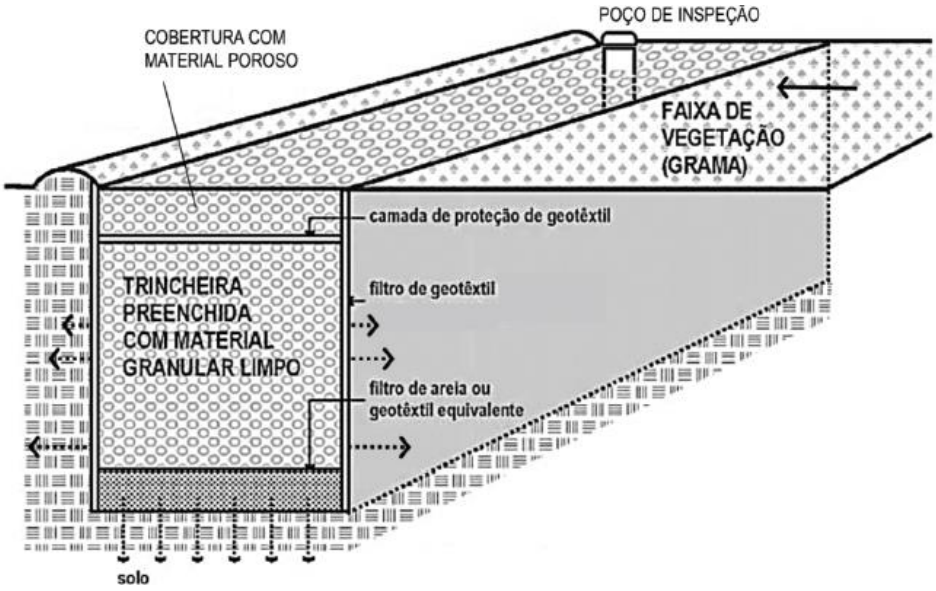


Figura 3.7 - Trincheira de infiltração (ADASA, 2018).

De acordo com Cahill (2012), com o passar do tempo, a invasão de pequenas partículas tende a formar colmatantes que preenchem os vazios entre o material poroso, limitando o funcionamento e a vida útil do dispositivo. Assim, fica evidente a importância quanto ao acompanhamento e à manutenção periódica.

Puzzi (2015) avaliou a velocidade de infiltração para uma trincheira de infiltração com e sem brita em um solo caracterizado como argiloso em Londrina no Paraná. A trincheira tinha 60cm de profundidade e no caso com brita foi preenchida até 40cm com este material. Foram realizados três ensaios com brita e três sem, sendo a taxa de infiltração calculada a partir da área de percolação com a variação do nível da água.

3.2.3.2. Pavimentos permeáveis

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (2015), pavimentos permeáveis ou porosos, são aqueles que, além de atender as solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento, permitem ainda a percolação e/ou acúmulo temporário de água, reduzindo assim volume e velocidade do escoamento superficial sem danificar sua estrutura.

A parte da superfície, é revestida convencionalmente de concreto de cimento Portland poroso, concreto asfáltico poroso ou blocos de concreto impermeáveis com juntas porosas. Ao infiltrar através desses revestimentos, a água é conduzida para um reservatório preenchido com material granular de elevado índice de vazios e, a depender da sua concepção, pode ter sua saída de forma distribuída ou localizada (ADASA, 2018). Na Figura 3.8 é possível diferenciar com facilidade essas variações de projetos.

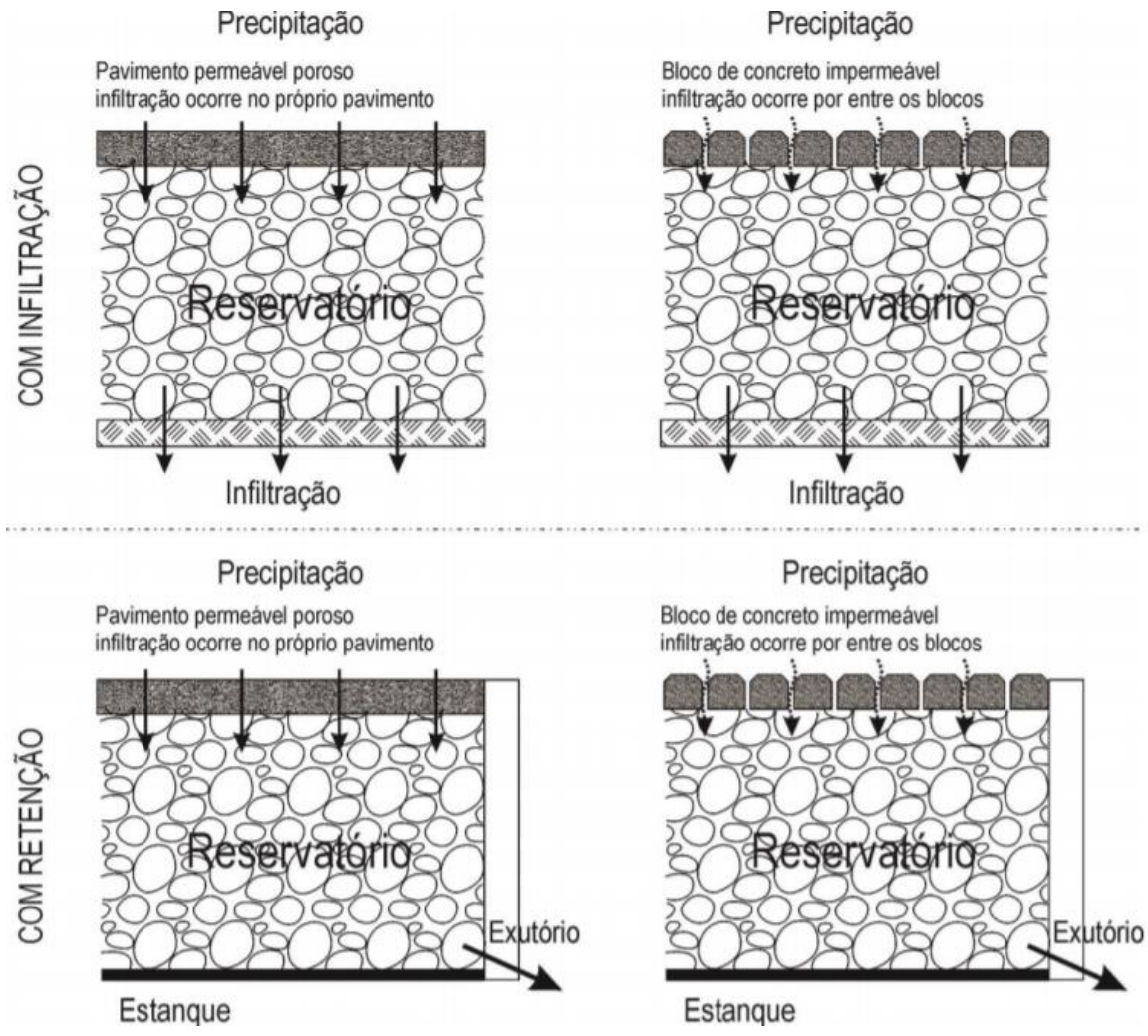


Figura 3.8 - Funcionamento de revestimentos permeáveis (Tominaga, 2013).

O pavimento permeável, no tocante à quantificação de água infiltrada, divide-se em três alternativas: infiltração total, infiltração parcial ou sem infiltração. A primeira se dá quando todo volume captado é infiltrado no solo. Se parte da água captada infiltra e outra é armazenada temporariamente para depois ser conduzida por drenos subsuperficiais até um exutório, ocorre a infiltração parcial. Por fim, com um subleito impermeável, a base do pavimento tem seu funcionamento equivalente a um reservatório de amortecimento, onde os vazios do material granular determinam o volume e o excedente é encaminhado até um exutório, não havendo assim qualquer infiltração (ADASA, 2018).

O coeficiente de permeabilidade é de grande importância para indicar o quão rápido se dá a percolação da água através do meio poroso. A ABNT NBR 16416 de 2015 traz uma relação, para diferentes solos, entre essa variável e seu potencial de infiltração (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Viabilidade de aplicação de pavimentos permeáveis, de acordo com os coeficientes de permeabilidade e o tipo de infiltração (ABNT, 2015).

Coeficiente de permeabilidade do subleito k (m/s)	Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
$> 10^{-3}$	🟢	🟢	🟢
10^{-3} a 10^{-5}	🔴	🟢	🟢
$< 10^{-5}$	🔴	🔴	🟢
🟢 Viável 🔴 Inviável			

Devido à redução de resistência mecânica comparativamente ao pavimento convencional impermeável, Righetto (2009) afirma que um dos maiores pontos negativos dos pavimentos permeáveis, é que muitas vezes não são adequados ao tráfego intenso ou a manobras frequentes de veículos pesados. Além disso, é de extrema relevância que haja manutenção e limpeza das estruturas regularmente, com foco em prevenir a contaminação do solo e perda de eficiência permeável (ABNT, 2015).

Moura (2005) mediu a taxa de infiltração para quatro tipos de superfícies permeáveis, grama, chão batido, blocos maciços e blocos vazados em um solo argiloso em Sobradinho, DF. Foram realizadas quatro simulações para cada superfície e em média o melhor resultado obtido foi para os blocos vazados de base não compactada, para os quais foi cavada uma profundidade de 10cm, preenchida com areia até uma altura de 3cm, para depois assentar os blocos que tiveram seus espaços preenchidos com areia. Foi utilizado um simulador de chuvas que variava a intensidade de 50mm/h até 200mm/h e atendia exatamente a área de

1m² que possuíam as superfícies. Através da diferença entre a precipitação e o hidrograma de escoamento superficial era gerada a curva da taxa de infiltração para a superfície.

3.2.3.3. Sistemas de biorretenção

Sistemas de biorretenção ou jardins de chuva (Figura 3.9), são como filtros biológicos que, através da atividade de plantas e microrganismos, purificam as águas do escoamento superficial e contribuem com a mitigação dos picos de cheia, além de reduzir o volume escoado caso seja efetuada a infiltração. Dessa forma, buscam reproduzir o funcionamento natural dos ecossistemas (Righetto, 2009; Tominaga, 2013).

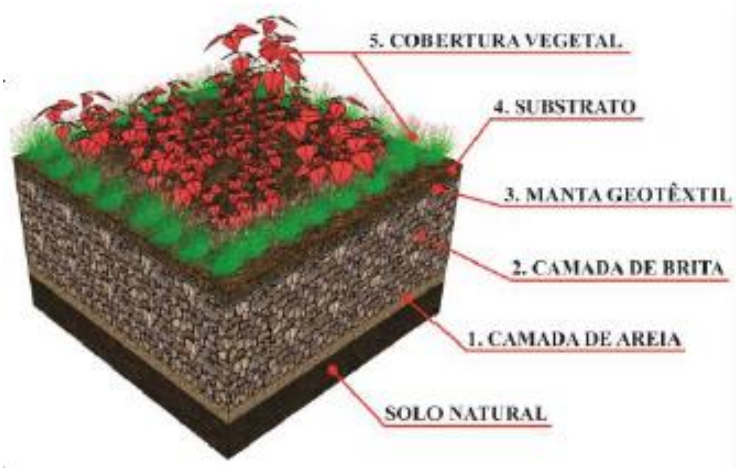


Figura 3.9 - Esquema de um sistema de biorretenção (Melo *et al.*, 2014).

Costumam ser implantados, em geral, em depressões localizadas em centros densamente urbanizados e próximas de estacionamentos, vias públicas, áreas residenciais ou comerciais, aproveitando assim a topografia que faz convergir a água para esses pontos naturalmente. (Righetto, 2009; Tominaga, 2013).

Ao se acrescer o tempo de detenção da água, a remoção de poluentes é facilitada por meio da adsorção, filtração e decomposição da matéria orgânica. Essas ações são atribuições dos microrganismos e plantas que ainda apresentam a vantagem de servir como elemento de composição paisagística, favorecendo o aumento da biodiversidade (Righetto, 2009).

Uma das principais limitação desse dispositivo, é quanto ao tamanho da área em que é concebido, quanto maior for, maiores serão as chances de ocorrência de colmatação (Tominaga, 2013). Por ser vulnerável a depósitos sedimentares, pode se tornar convidativo

para a proliferação de mosquitos e vetores. Por conseguinte, fazem-se extremamente necessárias manutenções e limpezas (Righetto, 2009).

3.2.3.4. Telhados verdes

Telhados verdes são áreas de vegetação viva, instaladas no topo de edificações e têm a função principal de reduzir o escoamento através da retenção gerada pelo aumento da área verde e pela evapotranspiração. Além disso, promovem benefício paisagístico, regulação térmica, aprimoramento do desempenho das construções e valor ecológico (Righetto, 2009; Woods Ballard *et al.*, 2015).

Como ilustra a Figura 3.10, na concepção dos telhados verdes costumam-se utilizar coberturas planas, onde a laje é recoberta com uma manta impermeabilizante, recebendo o substrato, a rede de contenção e o sistema de drenagem. Sendo as plantas escolhidas, resistentes à baixas umidades do solo, à altas temperaturas e à pequenos eventos de inundação (Righetto, 2009).

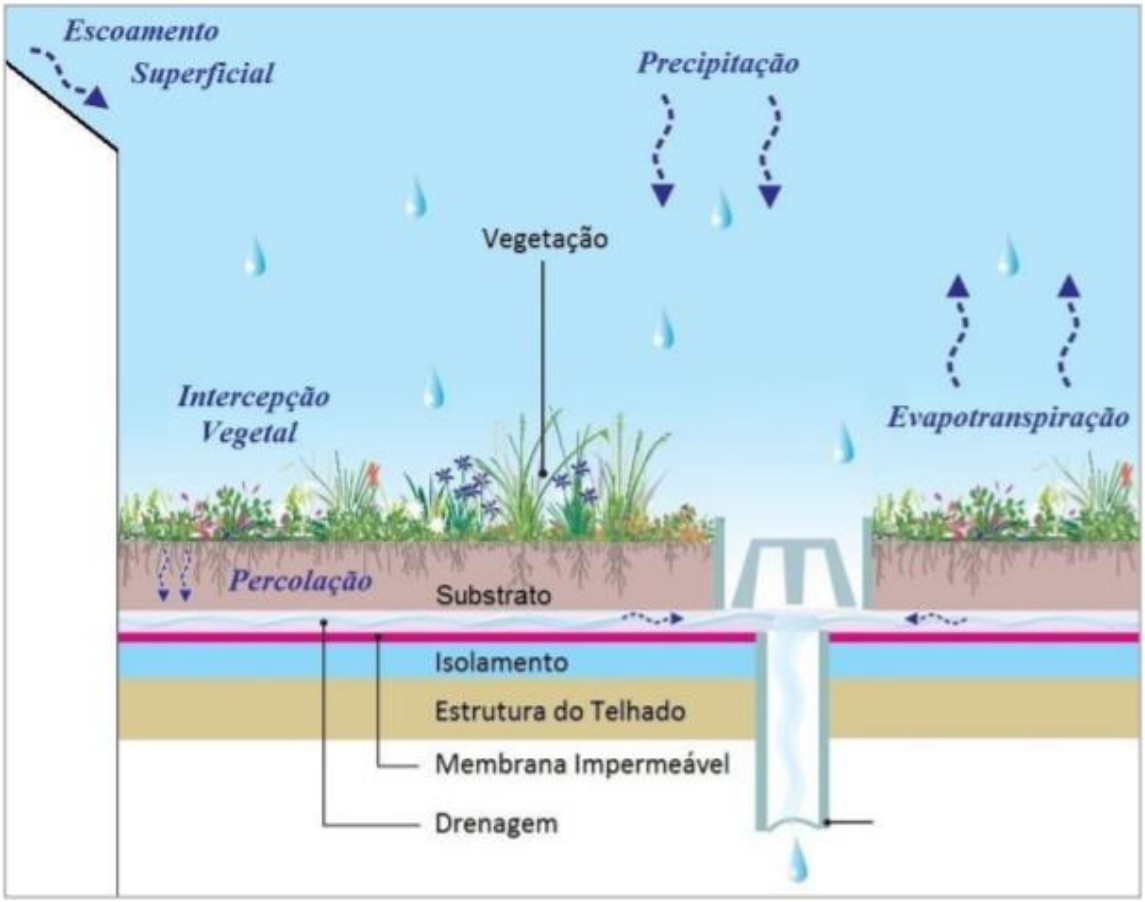


Figura 3.10 - Esquematização de um telhado verde (Tominaga, 2013).

A necessidade de uma resistência estrutural maior é um grande desafio na implantação desse dispositivo, especialmente em casos de instalação em telhados já existentes. Porém, por meio da seleção adequada de materiais e plantas, é possível se obter a otimização quantitativa e qualitativa da água, proporcionando significativos resultados ao passo que minimiza o esforço sobre a estrutura (Cahill, 2012; Tominaga, 2013).

Os tipos de telhados verdes podem ser divididos em duas categorias principais: extensivos e intensivos. Os primeiros, apresentam substratos menos profundos, com plantas simples e, por consequência, menor requerimento estrutural dos telhados. Normalmente os extensivos não são acessíveis e demandam baixa manutenção. Já os intensivos, apresentam substratos de maior profundidade que suportam uma grande variedade de plantas, acarretando em maiores sobrecargas estruturais e manutenção mais intensiva. Esse segundo tipo, quase sempre, é de fácil acesso (Woods Ballard *et al.*, 2015).

3.2.4. Legislação pertinente

A ADASA através da Resolução nº 9, de 8 de abril de 2011, estabeleceu diretrizes e critérios para a obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal. A Resolução define que para terrenos com área igual ou superior a 600m² faz-se necessária a instalação de um reservatório de qualidade e um de quantidade, dispostos em série nessa respectiva ordem, ou medidas alternativas que gerem resultados similares.

O reservatório de quantidade tem como objetivo principal, reter determinado volume de água originado pelo escoamento superficial, reduzindo as vazões de pico e retardando o escoamento das águas pluviais provenientes de impermeabilização do solo, de forma a amenizar possíveis impactos no corpo hídrico receptor. Já o de qualidade tem a função de reduzir a carga poluente a ser lançada no curso hídrico (ADASA, 2011).

Para o dimensionamento dos reservatórios deverão ser observados o tamanho do terreno e seu percentual de impermeabilização. Segundo o Capítulo III, artigo 7º desta Resolução, o dimensionamento e a vazão de saída do reservatório devem ser calculados a partir das Equações 3.1 e 3.2 respectivamente (ADASA, 2011).

$$V_{qa} = (33{,}8 + 1{,}80 * A_i) * A_c \qquad \text{Equação 3.1}$$

Sendo: V_{qa} = Volume [m³];

A_i = Percentual de área impermeável do terreno;

A_c = Área de contribuição [ha].

$$Q = V_{qa}/86{,}4 \qquad \text{Equação 3.2}$$

Sendo: Q = Vazão de saída [L/s];

V_{qa} = Volume [m³].

Para o de quantidade, as características da bacia devem também serem observadas, não podendo o lançamento do corpo hídrico ultrapassar a vazão máxima específica de 24,4 L/(s.ha), conforme estabelecido no Capítulo IV, artigo 8º (ADASA, 2011).

Quando a medida adotada para o controle de vazão de lançamento no corpo hídrico for o reservatório de quantidade e a área de contribuição for inferior a 200 ha, seu volume será determinado por meio da Equação 3.3 (ADASA, 2011).

$$V = 4{,}705 * A_i * A_c \qquad \text{Equação 3.3}$$

Sendo: V = Volume [m³];

A_i = Percentual de área impermeável do terreno;

A_c = Área de contribuição [ha].

No Capítulo V, artigo 9º, são citadas medidas que podem ser implementadas a fim de reduzir o percentual de área impermeável a ser computado no cálculo dos reservatórios de qualidade e quantidade, tais como:

- Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em até 60% a área que utiliza estes pavimentos;
- Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em até 80% as áreas drenadas para as trincheiras;
- Aplicação de outras medidas a serem avaliadas pela ADASA.

No caso de implementação de algumas medidas, o usuário deverá apresentar à ADASA estudos técnicos que subsidiem a análise do percentual de área impermeável a ser reduzido, conforme disciplina o parágrafo único do artigo 9º (ADASA, 2011).

Em Decisão da Diretoria Colegiada da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP), foi normatizado conforme Sessão Extraordinária nº 4.284ª de 30/01/2017, que os projetos de dimensionamento do reservatório de amortecimento de vazão de água pluviais serão aprovados pela Diretoria de Urbanização da NOVACAP, bem como a emissão da

declaração de Habite-se. Para o dimensionamento desse reservatório também se utiliza a Equação 3.3 (NOVACAP, 2017).

Essa Decisão se refere ao cumprimento da vazão máxima de lançamentos no sistema público de drenagem de 24,4L/(s.ha), afim de se evitar a sobrecarga e também a necessidade de ampliação da capacidade de escoamento da rede pluvial pública. Prevendo também que no caso de instalação de medidas que favoreçam a infiltração de água no solo, poderá ser reduzido o percentual de área impermeável, conforme especificado no Capítulo V, da Resolução nº 9, da ADASA (NOVACAP, 2017).

Em 28 de julho de 2017, foi publicado a Lei Complementar nº 929, em que estabelece as diretrizes para o uso de dispositivos destinados à infiltração artificial de águas pluviais para a recarga de aquíferos e para sua retenção e seu aproveitamento com vistas a assegurar, no máximo, a vazão de pré-desenvolvimento na saída do lote urbano ou da projeção (GDF, 2017).

As licenças de obras iniciais ou os alvarás de construção para lotes ou projeção com área igual ou superior a 600m², ficam condicionados à previsão de instalação de dispositivos de recarga artificial e de retenção de águas pluviais, sendo a sua instalação necessária para à concessão da Carta de Habite-se (GDF, 2017).

O parágrafo 3º do artigo 5º dessa Lei Complementar, prevê que a instalação dos dispositivos de retenção dentro dos lotes ou das projeções é opcional nos casos de loteamentos que possuam esses dispositivos coletivos instalados (GDF, 2017).

Assim sendo, caso comprovada a eficiência dos Sistemas Agroflorestais como uma medida alternativa de dispositivo para favorecer a infiltração de água no solo, os SAFs podem se enquadrar no Capítulo V, artigo 9º da Resolução nº 9 da ADASA, de forma a reduzir o percentual de área impermeável a ser computado no cálculo do reservatório de amortecimento a ser instalado.

3.3. AGROECOLOGIA

A natureza tem um propósito e a vida tende à complexificação, sendo que cada espécie, a humana entre elas, é responsável por uma diferente função dentro deste sistema inteligente ao qual fazem parte. Esses processos, que vão do simples ao complexo, remetem ao conceito de sintropia, oposto de entropia, aumentando a quantidade e qualidade de vida consolidada (QQVC) através da sucessão natural (Götsch, 1997).

Justamente nesse contexto é apresentada a agroecologia, que busca, a partir de ciências multidisciplinares, de saberes populares e da observação e replicação de ecossistemas naturais, instrumentos para subsidiar as atividades humanas sobre os recursos naturais de maneira sustentável (Peneireiro, 1999).

A agroecologia é uma ciência que se baseia nos conhecimentos científicos sociais, biológicos e agrícolas, ao mesmo passo que valoriza a integração desses com saberes de comunidades tradicionais e indígenas (Altieri, 2015). Sua origem é tão antiga quanto a da agricultura, mas só passou a ganhar notoriedade terminológica a partir dos anos 70, tornando-se mais evidenciada a cada ano (Hecht, 1999). Esse fenômeno se deu devido à eminente necessidade de transição do modelo de agricultura convencional para um mais sustentável, menos agressivo ao meio ambiente e que promova melhorias econômicas e sociais aos agricultores (Azevedo e Netto, 2015).

3.3.1. Desequilíbrio e problemáticas atuais

O planeta como um todo está enfrentando múltiplas crises inter-relacionadas: econômica, financeira, energética, ecológica e social. As mudanças climáticas representam apenas uma dimensão da crise ecológica. Essas instabilidades não evoluem aleatoriamente, mas são resultantes de um sistema capitalista dominante e explorador que promove o crescimento econômico às custas das pessoas, da natureza e do planeta (Altieri, 2015).

A crise ambiental, que tem seu efeito refletido especialmente na agricultura, é consequência das problemáticas ecossistêmicas induzidas pela Revolução Verde, que pressupunha a não mutação de fatores climáticos e infinitude de água e energia barata, suposições que hoje são inválidas (Peneireiro, 1999; Altieri, 2015). O emprego intenso de fertilizantes inorgânicos, motomecanização, agrotóxicos, instrumentos pesados de irrigação, da disjunção entre agricultura e pecuária e da expansão das monoculturas, ocasionou a devastação de diversos biomas, a perda de biodiversidade, o aumento descontrolado de taxas de erosão e degradação, compactação e desestruturação dos solos, a contaminação dos alimentos e o prejuízo quanto à qualidade e quantidade dos recursos hídricos (Veiga *et al.*, 2003).

Os processos erosivos, resultantes da desestruturação física do solo são oriundos de manejos inadequados. A transformação de florestas em pastagens naturais e sistemas agrícolas de monocultura contínua e a exposição do solo sem práticas de conservação (como terraceamento e curvas de nível) são exemplos de carência de manejo. Estima-se que a cada ano o Brasil perde milhões de toneladas de terra fértil por carreamento de águas precipitadas,

de irrigação e uma pequena parcela pelo vento. Essa terra chega até os corpos hídricos provocando assoreamento e contaminação por lixiviação com fertilizantes químicos e agrotóxicos. A utilização indiscriminada desses defensivos agrícolas ainda é responsável pela degradação dos alimentos, dos solos, dos trabalhadores rurais e das cadeias alimentares (Veiga *et al.*, 2003).

Solos que sofreram processos erosivos necessitam de mais fertilizantes, os quais, nem sempre, são capazes de prover nutrientes de acordo com as exigências das plantas, deixando-as mais vulneráveis às pragas e doenças. Assim gera-se um ciclo vicioso onde a demanda por agrotóxicos sempre aumenta e acaba por exterminar os predadores naturais das pragas, facilitando a reprodução delas, especialmente nas monoculturas. Por fim, os indivíduos que sobrevivem se tornam resistentes aos defensivos, já que raras vezes são eliminados por completo (Ehlers, 1999 *apud* Veiga *et al.*, 2003).

Dessa forma, a agricultura convencional mostra-se bastante ineficiente, além de não suprir o consumo humano global, já que grande parte é direcionada para biocombustíveis e alimentação de gados e outros animais. Esse panorama aliado ao êxodo rural, explicam os altos índices de fome e desnutrição no mundo, não sendo insuficiência de produção o fator limitante, mas sim a desigualdade social e a pobreza, uma vez que o sistema alimentar é controlado por um pequeno grupo de corporações multinacionais (Altieri, 2015).

3.3.2. Beneficiamento do solo

O manejo agroecológico utiliza-se de práticas conservacionistas que, quando empregadas de modo integrado, melhoram as condições de qualidade do solo, física, biológica e quimicamente. Essas práticas podem ocorrer no âmbito vegetativo, mecânico e edáfico. No primeiro é utilizada a vegetação para defender o solo da erosão. Já no mecânico, são concebidas estruturas, adequando a distribuição de partes de terra, para reduzir a velocidade do escoamento e facilitar a infiltração. E por fim, as técnicas de caráter edáfico, são aquelas que melhoram a fertilidade do solo através de mudanças no sistema de cultivo (São Paulo, 2014).

O principal objetivo da agroecologia é melhorar a saúde do solo. Isso infere ter uma boa estrutura, bastante matéria orgânica e alta atividade biológica e microbiológica, buscando sempre a maximização da eficiência dos recursos naturais e a não utilização de insumos industrializados (Altieri, 2015).

A matéria orgânica produz substâncias que permitem a agregação de partículas do solo, com muitos microporos por onde a água e o ar podem permear. A micro, meso e macrofauna utilizam essa matéria como energia para, através da decomposição, mineralizar nutrientes que são absorvidos pelas plantas. Em apenas 10 gramas de solo, milhões de organismos são contidos, os quais interagem em cadeias alimentares muito complexas. Como a massa microbiana está concentrada na camada superior do solo, deve-se proteger essa superfície, tanto com culturas de cobertura quanto com cobertura morta, evitando altas temperaturas do solo e que a erosão cause a perda de microrganismos além de nutrientes (Altieri, 2015).

Existem dois tipos de material orgânico, lábil e não lábil. A matéria orgânica lábil se decompõe mais rapidamente e geralmente vem das folhas e palha. Já o não lábil, tem sua decomposição lenta, como ligninas e galhos das árvores. Um bom composto orgânico é derivado da associação entre essas duas categorias, uma vez que o processo rápido fornece nutrientes enquanto que o lento provê a estruturação do solo (Altieri, 2015).

Plantas são capazes de gerar e liberar no solo algumas substâncias químicas que podem ajudar outras espécies a se desenvolverem, essa capacidade conhecida como alelopatia, muitas vezes molda relações de mutualismo. Espécies companheiras se ajudam também no consumo de água, luz e nutrientes (São Paulo, 2014). Essas relações podem, também, ser facilitadas por bactérias e micorrizas, que são associações entre fungos e os sistemas radiculares, criando uma grande rede subterrânea, onde compartilham nutrientes e hormônios. Assim, plantar espécies biodiversas que se complementam, causa um crescimento horizontal das raízes que, ao seguir a água, aumentam o seu comprimento radicular, evitando a compactação do solo e facilitando a infiltração (Primavesi, 2009).

3.3.3. Agricultura urbana

Quando se fala em agricultura, quase que imediatamente, é feita a associação com o ambiente rural, o que pode levar a uma sensação de inconformidade entre agricultura e meio urbano. Porém, é um equívoco esse julgamento, a agricultura sempre esteve presente nas cidades, mesmo que de forma sutil, não sendo uma novidade. Urbanistas, pesquisadores e responsáveis pela elaboração de políticas públicas têm, cada vez mais, se interessado nessa atividade agrícola, pois são bastante relevante os casos nos quais ela se estabeleceu eficientemente, fornecendo alimento e assegurando a sobrevivência de populações urbanas (FAO, 1999 *apud* Aquino e Assis, 2007).

O Projeto de Lei nº 906/2015, que institui a Política Nacional de Agricultura Urbana e dá outras providências, define agricultura urbana como uma "atividade agrícola e pecuária desenvolvida nos limites da cidade e integrada ao sistema ecológico e econômico urbano, destinada à produção de alimentos e de outros bens para o consumo próprio ou para a comercialização em pequena escala" (Brasil, 2015).

Então, infere-se que não é a localização que distingue a agricultura urbana da rural, mas sim sua efetiva interação com o meio urbanizado. Um ótimo exemplo dessa interrelação seria um cenário no qual se destinasse o resíduo orgânico de origem domiciliar, comercial e até mesmo industrial, gerados no âmbito urbano, para compostagem, sendo o composto gerado utilizado como adubo nos sistemas agrícolas urbanos (Aquino e Assis, 2007).

A agricultura urbana deve ser guiada pelo apreço aos saberes populares, pelo estímulo à equidade de gênero, utilizando tecnologias apropriadas e processos participativos, de modo a melhorar a qualidade de vida da população promovendo a gestão urbana, social e ambiental das cidades. Essa atividade é desempenhada por indivíduos ou entidades formais ou informais, podendo ser executada em área pública e privada, dentro do perímetro urbano ou na zona periurbana. Assim, o objetivo é promover a segurança alimentar e nutricional respeitando a diversidade cultural, além de poder ser objeto de lazer, educação ambiental e geração de novos empregos (Santandreu e Lovo, 2007).

O cultivo urbano traz diversas vantagens ambientais, como: infiltração de águas pluviais, regulação de umidade e temperatura, redução de processos erosivos e riscos de alagamento, filtração da água, recarga de lençóis freáticos, e aumento de biodiversidade, atraindo microrganismos, insetos, aves e até mamíferos (Alencar e Cardoso, 2015). Outros aspectos positivos interessantes observados são a redução na importação de alimentos e o aproveitamento de vazios urbanos com a ocupação dessas áreas (Aquino e Assis, 2007).

Dessa maneira, são vários elementos que a agricultura urbana engloba, com uma vasta abrangência sustentável, com base na agricultura familiar, fornecendo diversidade de hortaliças, ervas medicinais e aromáticas, frutas, plantas ornamentais, mudas para reflorestamento, e outros alimentos minimamente processados (Barreto, 2016).

3.4. SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Os Sistemas Agroflorestais são modelos de produção que ao longo de milênios vêm se aperfeiçoando, sobretudo, por povos tradicionais (Nair, 1984). São responsáveis pelo sustento de no mínimo 1,2 bilhões de pessoas ao redor do planeta, cerca de um sexto de toda

humanidade. Porém, apenas a partir de meados dos anos 60 é que a ciência vem desempenhado com mais afinco os estudos acerca dos benefícios, dos custos e das complexas relações entre os componentes vegetais, animais e humanos, visto que os SAFs podem gerar renda além de prover variados serviços ambientais (Miccolis *et al.*, 2016).

Segundo o Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF), SAFs são sistemas que promovem a diversidade da produção com benefícios sociais, econômicos e ambientais para todos os atores que utilizam o solo através da integração de árvores nas propriedades, pautados na gestão dos recursos naturais, nos aspectos dinâmicos e ecológicos (Miccolis *et al.*, 2016).

Um sistema produtivo integrado às formações florestais é inteligente quanto ao gerenciamento e aproveitamento dos recursos, conservando as principais dinâmicas naturais instituídas pela natureza e reduzindo o consumo de energia com o manejo. Como é mostrado na Figura 3.11, existem muitas vantagens ambientais advindas do emprego de SAFs como: a proteção do solo, criado um ambiente favorável para a microbiota e a ciclagem de nutrientes; a proteção hídrica, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, devido à facilidade de infiltração e armazenamento; o aumento da biodiversidade vegetal, que por si só já é de grande valia, melhorando a estabilidade do solo e atraindo também, uma alta diversidade da fauna (Caldeira e Chaves, 2011).

Os seres humanos são diretamente favorecidos por insumos florestais, como madeiras e produtos medicinais, além de serviços florestais como sombra, regulação climática e a proteção dos recursos naturais, mencionados anteriormente. Com um planejamento adequado que leva em conta fatores específicos locais de clima, solo e topografia de onde os SAFs serão implantados, diferentes consórcios entre variadas espécies vegetais podem ser escolhidos, de modo a otimizar os resultados, gerando renda familiar, segurança alimentar, saúde e qualidade de vida (May *et al.*, 2008).

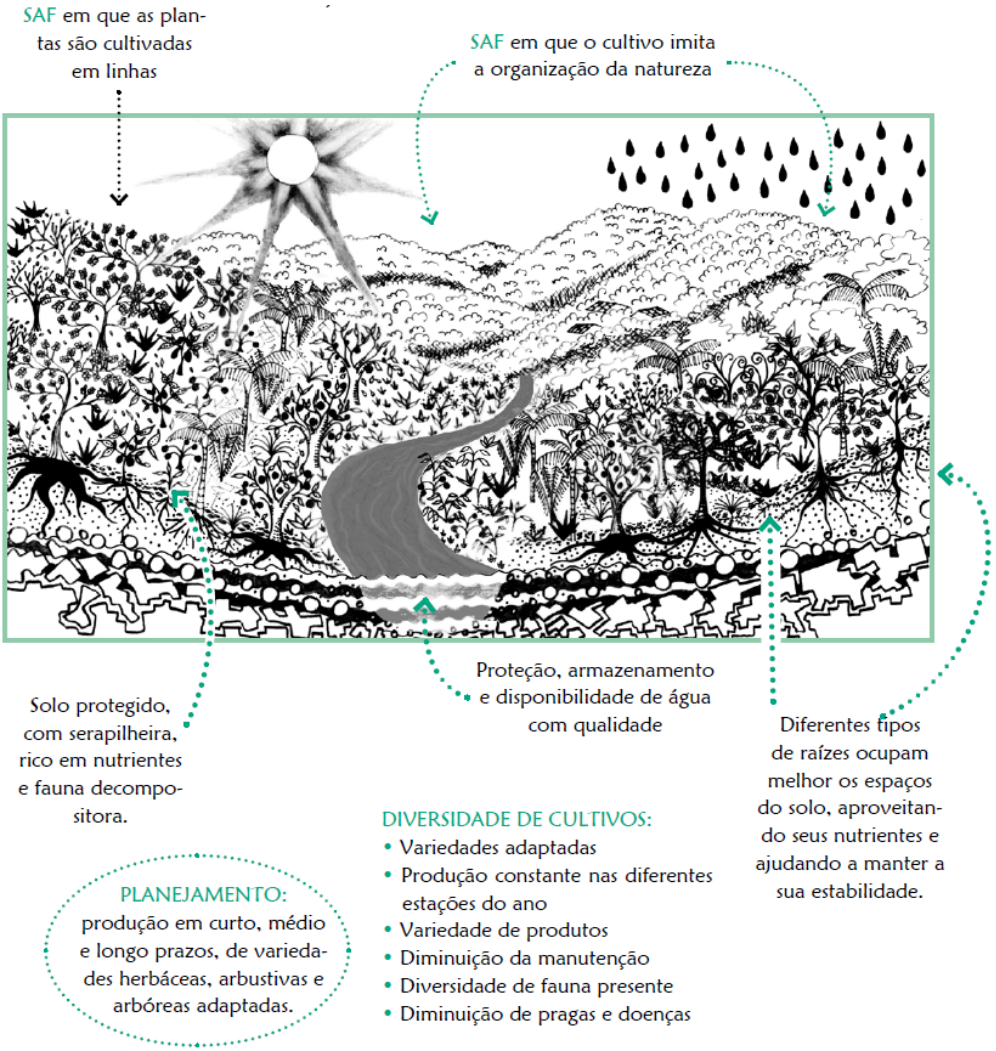


Figura 3.11 - Cooperação entre agricultura e floresta nos SAFs (Caldeira e Chaves, 2011).

3.4.1. Agricultura Sintrópica, Princípios e Fundamentos

O agricultor e pesquisador suíço Ernst Götsch, que vive no Brasil desde 1982, iniciou suas experimentações com SAFs espelhando a natureza e sua sucessão natural em 1984 numa fazenda no sul da Bahia, onde mora com sua família. Após anos observando e conhecendo as especificidades sinérgicas que promoviam a evolução de sua agrofloresta, cunhou o termo "Agricultura Sintrópica". Sintropia refere-se à tendência de complexificação dos seres vivos, que é evidenciada nas agroflorestas pelo acréscimo de água, nutrientes e energia disponíveis no sistema (Pasini, 2017).

A sucessão natural ou ecológica, é o processo de regeneração natural que ocorre de forma gradual e contínua, sendo responsável pela transformação fisionômica da vegetação no

espaço e no tempo, desde o surgimento das espécies mais simples até a comunidade clímax, resultante da sinergia entre os seres e os fatores ambientais (Götsch, 1996; Peneireiro, 1999).

De tempos em tempos, ocorre a abertura de clareiras nas matas devido à morte e queda de algum indivíduo arbóreo de idade avançada, o que se faz iniciar um novo ciclo sucessional. A cada ciclo desse, o índice de qualidade e quantidade de vida consolidada (QQVC) é incrementado, tornando o ambiente afetado mais rico e próspero para a próxima geração que virá (Peneireiro, 1999; Vaz da Silva, 2002).

Götsch propõe uma analogia aos sistemas produtivos com o ato respiratório de inspirar e expirar, sendo a captação de energia e nutrientes que promove o crescimento referentes à inspiração enquanto a expiração seria a transferência da biomassa e energia adquiridas e acumuladas para o próximo ciclo que se segue. Esse fenômeno fica perceptível na Figura 3.12. A mesma ilustração mostra como todas as espécies do sistema crescem juntas, sejam elas pioneiras, secundárias (I e II), intermediárias ou transicionais, mas, a cada etapa da sucessão haverá uma comunidade dominante, que dirigirá o processo. As plantas mais avançadas na sucessão servem como tutoras para as mais jovens, no sentido de prover condições necessárias para o seu correto desenvolvimento. Essa sequência cronológica, faz com que haja interação entre todos os indivíduos de todas as espécies durante a série sucessional. Dessa forma, é importante selecionar, baseando-se nas necessidades individuais, quais plantas irão compor cada grupo (Götsch, 1996; Peneireiro, 1999; Vaz da Silva, 2002).

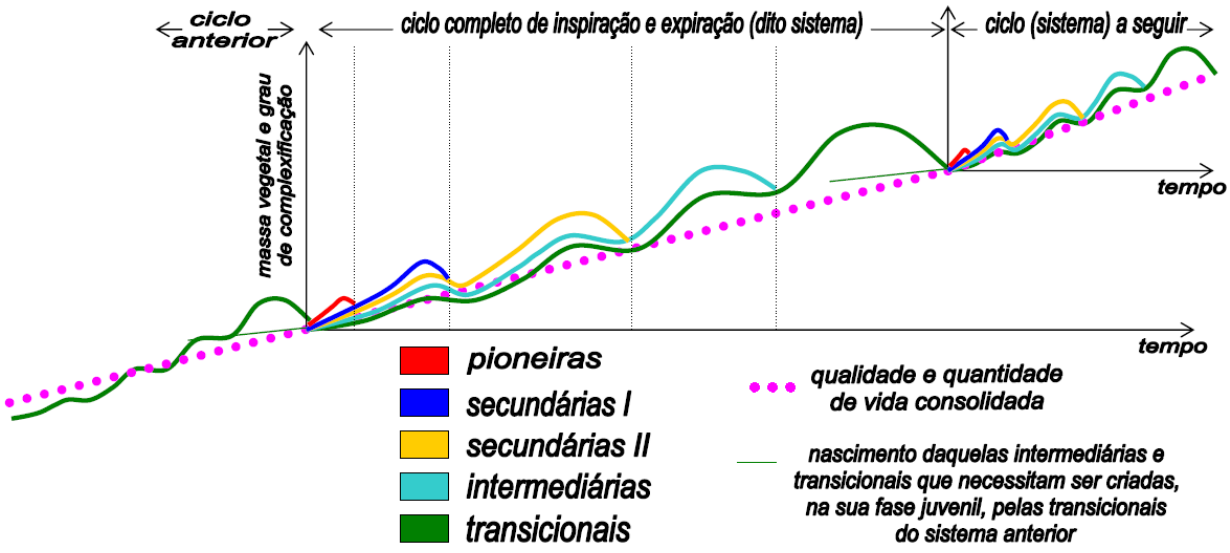


Figura 3.12 - Desenvolvimento dos processos sucessionais dentro de um ciclo completo de inspiração e expiração, exemplificado num ecossistema com floresta (Peneireiro, 1999).

Além de se atentar às corretas escolhas de espécies para compor as etapas sucessionais anteriormente descritas, deve-se levar em conta a altura relativa do indivíduo adulto, através da qual se rotulam as espécies nos seguintes estratos: rasteiro, baixo, médio, alto e emergente (Figura 3.13). Essa estratificação é importante para a eficiência dos mecanismos sintrópicos de absorção de energia e complexificação, otimizando processos termodinâmicos e maximizando a fotossíntese, além de proporcionar um melhor aproveitamento do espaço vertical. Assim um correto consórcio favorece todas as espécies, como por exemplo gerar sombra e umidade para mudas se desenvolverem até ocupar seu devido andar (Pasini, 2017).

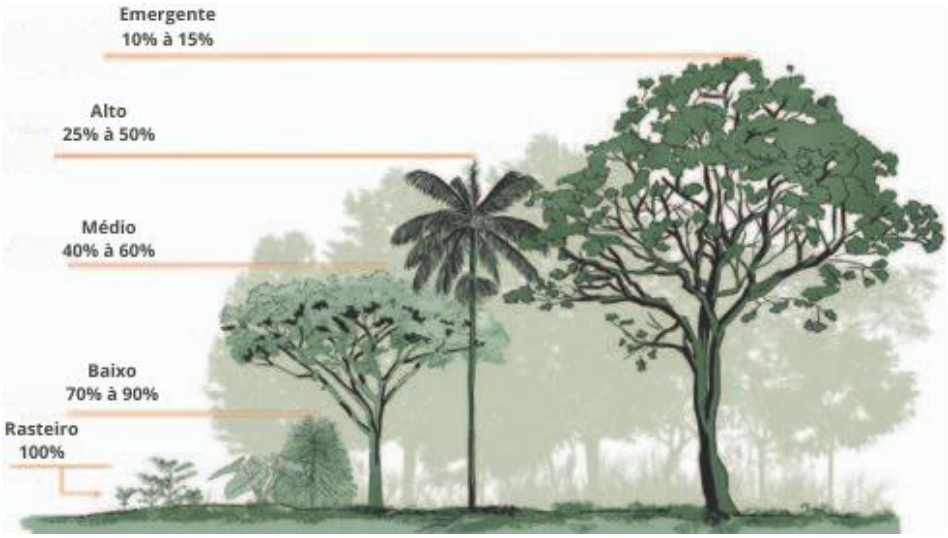


Figura 3.13 - Porcentagem recomendada de ocupação dos estratos dentro de um sistema agroflorestal (modificado de Miccolis *et al.*, 2016).

A principal atividade de manejo, que é indispensável nos SAFs, é a prática da poda. Ela rejuvenesce árvores e arbustos que já estão em estágio de maturidade estimulando o desenvolvimento do sistema radicular que bombeia nutrientes das camadas mais profundas para a planta e também pode ser executada como artifício de regulagem da estratificação. Os indivíduos arbóreos e arbustivos que já cumpriram sua função de potencializar qualidades do solo e deram lugar a outros do próximo ciclo sucessional, são cortados e sua biomassa é picotada e bem distribuída sobre a superfície, colocando-se galhos e troncos por baixo das folhas, em contato direto com a terra, afim de agilizar a decomposição (Peneireiro, 1999).

Ao ser disponibilizada, essa biomassa proveniente das podas promove a ciclagem de nutrientes e alimenta a vida do solo, aumentando a QQVC que propicia o desenvolvimento

vegetal e a sucessão ecológica. Assim fecha-se o ciclo e é dispensada a utilização de fertilizantes e outros insumos externos ao sistema (Götsch, 1996; Peneireiro, 1999).

3.4.2. Tipos

Existem diferentes variedades de SAFs, dos mais simples, com espécies reduzidas e menor necessidade de manejo, passando por tipos intermediários, até sistemas de complexidade elevada, com grande biodiversidade nos quais o manejo intenso e frequente é indispensável. Para cada um deles dá-se uma nomeação específica, pautada nos produtos principais que fornecem, sendo eles: (Miccolis *et al.*, 2016).

- Sistemas Silvipastoris: SAFs que combinam espécies florestais com criação animal através da integração de pastagens e árvores;
- Sistemas Agrossilvipastoris: Quando os componentes são espécies agrícolas e florestais combinadas de forma simultânea ou sequencial à criação de animais;
- Sistemas Agrossilviculturais: Onde se fazem associações entre espécies florestais com culturas agrícolas anuais;
- Agroflorestas ou Sistemas Agroflorestais Sucessionais: Denominação criada no Brasil que diz respeito a SAFs mais diversificados, estratificados e similares aos ecossistemas florestais naturais da região. Procuram reproduzir a estrutura e função das florestas nativas, seguindo a lógica da sucessão natural e têm sido desenvolvidos no Brasil por Ernst Götsch e outros técnicos e agricultores;
- Quintais Agroflorestais: Também são um tipo de sistema agroflorestal que reúne árvores associadas com espécies agrícolas, pequenos animais, plantas medicinais, aromáticas e outras de uso doméstico. Localizam-se próximos às casas e geralmente são altamente diversificados e produtivos, podendo contribuir significativamente para a segurança alimentar e a qualidade de vida das famílias.

3.5. GEOTECNOLOGIAS E CÁLCULO DE VAZÃO

Nesse trabalho foram empregados *softwares* que foram importantes para alcançar os objetivos propostos. Nesse tópico apresentam-se breves revisões bibliográficas sobre o ArcGIS e o Agisoft Metashape, além dos métodos para estimar a vazão do escoamento superficial.

3.5.1. Geoprocessamento e o ArcGIS

Segundo Câmara *et al.* (2001), o geoprocessamento é uma disciplina do conhecimento que integra técnicas matemáticas e computacionais com o objetivo de tratar certas informações geográficas para a geração de produtos que otimizam atividades em diversas áreas como: cartografia, transportes, comunicações, energia, análise de recursos naturais e planejamento urbano.

As ferramentas computacionais para geoprocessamento compõem os Sistemas de Informação Gráfica (SIG). Esses foram desenvolvidos para se executar o processamento digital conforme aspectos topológicos, temporais e geométricos, além de potencializar a aquisição de dados geográficos, pesquisa, análise espacial e gerar cartas, mapas, plantas digitais, servindo como insumo para relatórios que integrem os dados em vários níveis temáticos (Ribeiro, 2005).

O ArcGIS foi o SIG utilizado para processamento nesse estudo. Dentre centenas de funções, as principais do ArcGIS são: criação e utilização de mapas; compilação de dados geográficos; análise de informações mapeadas; gestão de informações geográficas em uma base de dados; compartilhamento e descoberta de informações geográficas (ESRI, 2005).

3.5.2. Sensoriamento remoto e o Agisoft Metashape

O sensoriamento remoto é a ciência que compreende técnicas e procedimentos tecnológicos que têm como objetivo a obtenção de informações sobre uma determinada área da superfície terrestre através de um dispositivo sem a necessidade de um contato direto (Ribeiro, 2005).

A utilização de satélites confere uma fonte atualizada de dados para um SIG, já a utilização de drones ou veículos aéreos não tripulados, permitem a aquisição de imagens com níveis maiores de detalhamento. A escolha da imagem deve ser feita considerando o objetivo a ser alcançado pelo produto do processamento. O SIG necessita das imagens aéreas ou de satélite em sua base de dados para criar sistemas de informações mais ricos e sofisticados (Câmara *et al.*, 2001).

O Agisoft Metashape é um *software* que realiza o processamento fotogramétrico de imagens digitais com o objetivo de gerar modelos 3D e ortomosaicos a serem utilizados em diferentes análises por SIG. E consiste em três etapas principais: o alinhamento, que converge pontos comuns e os sobrepõem; a geração de uma superfície 3D ou de um modelo digital de elevação; a criação do ortomosaico, que gera um produto com a sobreposição da imagem na superfície (Agisoft, 2021).

3.5.3. Métodos para estimar o escoamento superficial

A estimativa da vazão do escoamento é essencial para o dimensionamento de instrumentos de drenagem. Os métodos para estimar o escoamento superficial podem ser separados em quatro grupos: medição do nível de água; modelo chuva-vazão calibrados; modelo chuva-vazão não calibrados e fórmulas empíricas. Dentre todos, a medição do nível de água é a mais precisa, porém requer vários postos fluviométricos. As fórmulas empíricas tem a menor precisão, o modelo calibrado, baseado no hidrograma unitário, boa precisão e o não calibrado, baseado no método racional, apresenta média precisão (Collischonn e Dornelles, 2013).

Nesse trabalho utilizou-se o método racional (Equação 3.4), que é um modelo chuva-vazão não calibrado. Esse método, desenvolvido pelo irlandês Thomas Mulvaney em 1851, é recomendado para bacias com áreas pequenas de até 80 hectares e geralmente empregado quando se têm poucos dados de vazão. A equação racional se baseia na utilização de uma intensidade máxima de precipitação, com um determinado tempo de concentração (Tucci, 2001).

$$Q = \frac{C * i * A}{3600} \qquad \text{Equação 3.4}$$

Sendo: Q = Vazão [L/s];

C = Coeficiente de escoamento superficial [adimensional];

i = Intensidade da chuva [mm/h];

A = Área total da bacia [m²].

A fórmula racional possui algumas limitações que influenciam em sua precisão, como: não considerar a umidade antecedente do solo, a variação do armazenamento da chuva, o efeito da intensidade da chuva no coeficiente de escoamento superficial, a distribuição espacial e temporal das chuvas entre outros (Tucci, 2001).

4) METODOLOGIA

Para se alcançar uma resposta quanto à viabilidade do enquadramento de SAFs na legislação como dispositivo de infiltração, a fim de se instalar em condomínios horizontais do DF e substituir ou complementar outras técnicas compensatórias, a Figura 4.1 exibe o fluxograma das etapas que foram executadas na metodologia deste trabalho.

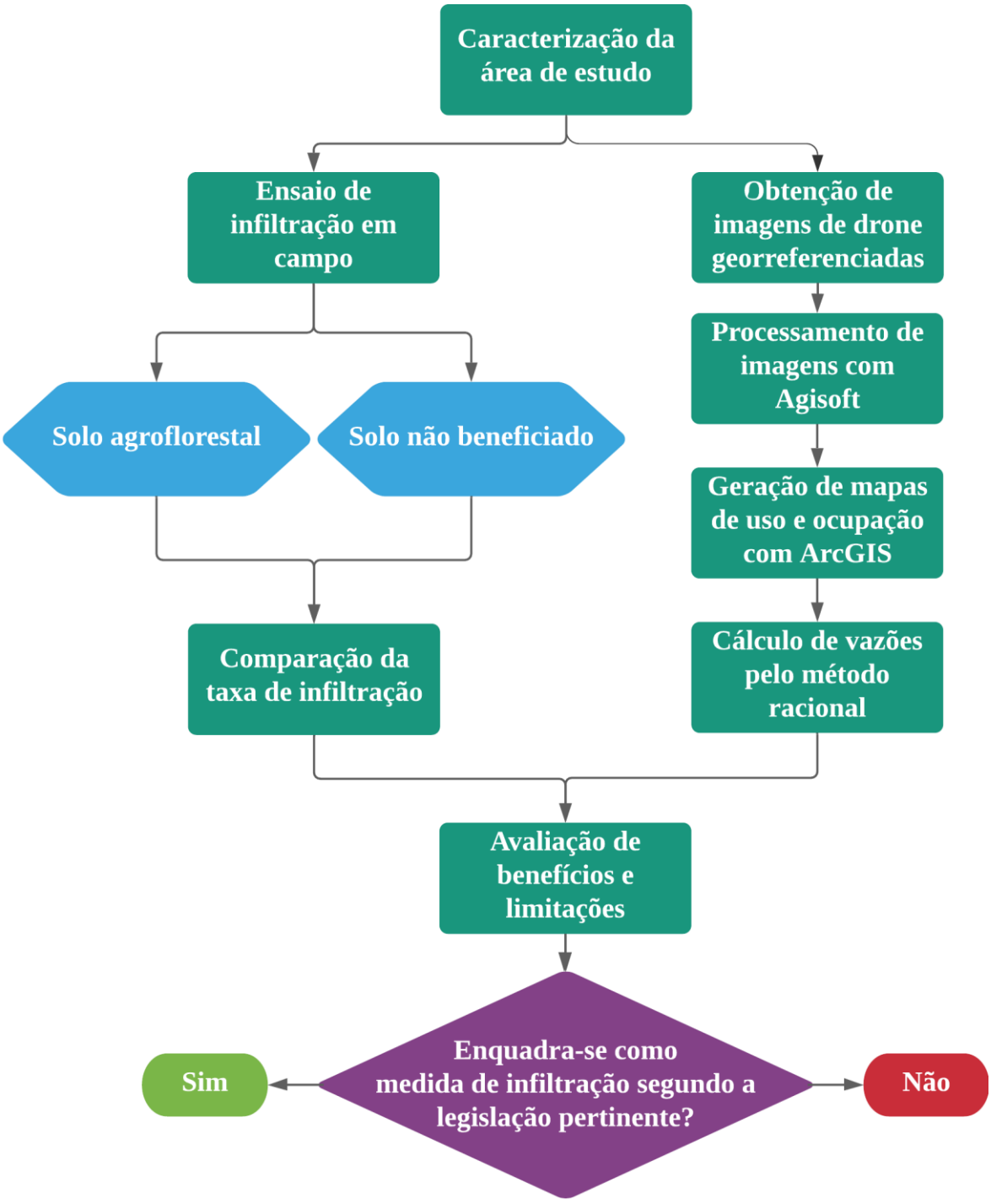


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia desenvolvida.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local avaliado para estudo de caso é o Sítio Terra do Sol, localizado em uma zona urbanizada de Arniqueira, Região Administrativa XXXIII do DF (Figura 4.2). O endereço do sítio é: Setor Habitacional Arniqueira, Conjunto 5, Chácara 36. Os sócios-proprietários do sítio desenvolvem atividades pautadas pela agroecologia, na busca de se tornarem referência como modelo de um condomínio sustentável.

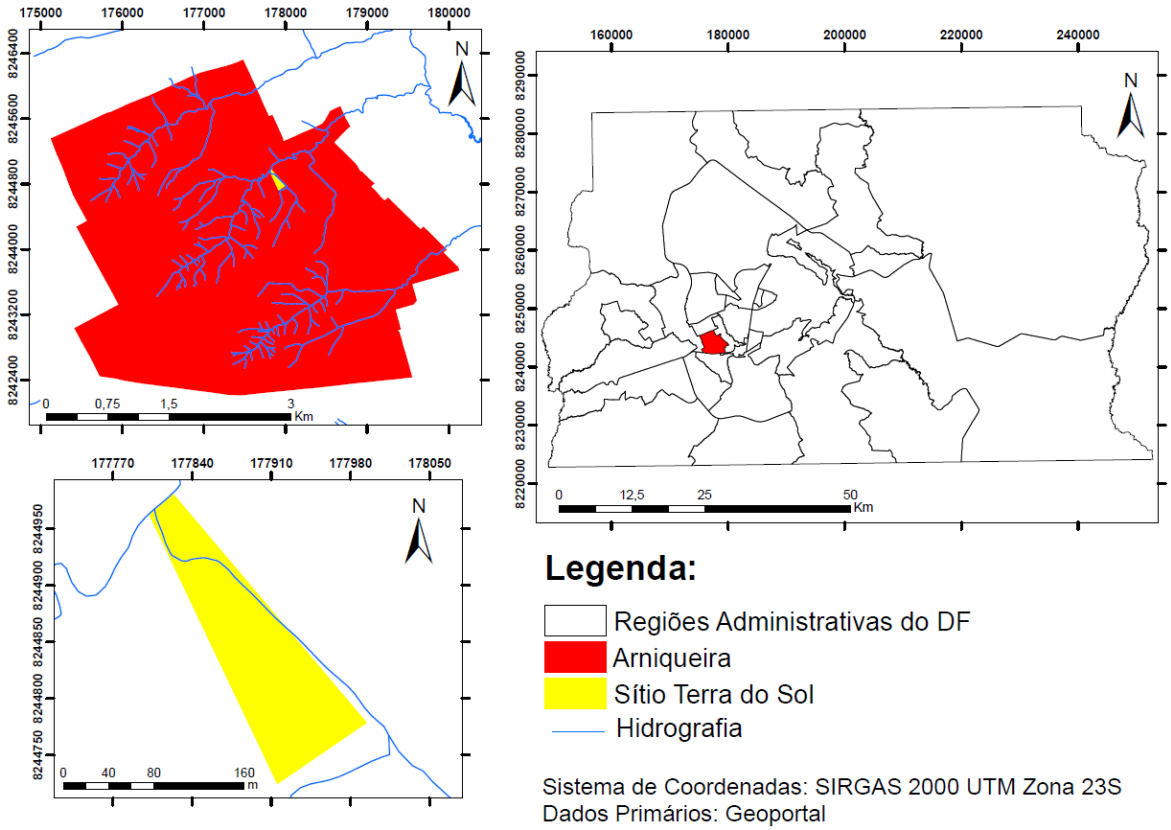


Figura 4.2 - Mapa de localização da área de estudo.

Como se nota na Figura 4.2, o fundo do lote é limitado pelo Córrego Arniqueira, afluente do Córrego Vicente Pires, componente da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo que faz parte da Bacia do Lago Paranoá/DF. Já a outra linha de drenagem que passa por dentro do terreno, apesar de classificada como fluvial pelo banco de dados do Geoportal, é considerada como pluvial pela NOVACAP, que executa obras de contenção de uma erosão no local.

Como pode ser observado na Figura 4.3, Reatto *et al.* (2004) classificam os solos da região de Arniqueira em dois tipos: Latossolo Vermelho e Cambissolo. O sítio está completamente compreendido na tipologia Cambissolo, que representa 30,98% do total do solo do DF.

Apresenta, em geral, elevado teor de silte e textura variada, desde muito argilosa até franco-arenosa, podendo conter, ou não, cascalhos. Sua profundidade varia entre 0,2 a 1 m e na classificação hidrológica de solos integram o Grupo C, que reúne os solos com textura mais fina e baixa taxa de infiltração (Reatto *et al.*, 2004; Sartori *et al.*, 2005).

De acordo com Reatto *et al.* (2004), os Cambissolos, por serem mais rasos e presentes em relevos mais íngremes, devem ser destinados à preservação permanente, e reflorestados com espécies nativas em áreas já desmatadas.

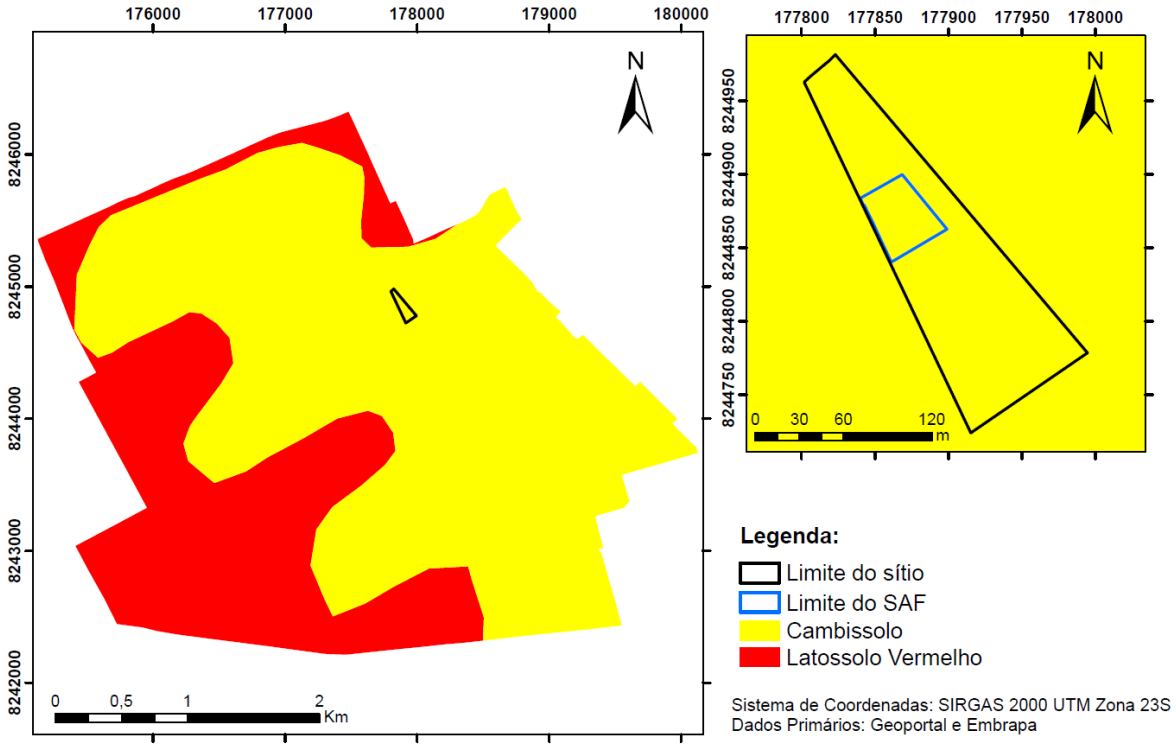


Figura 4.3 - Mapa pedológico de Arniqueira com detalhamento da área de estudo.

Quanto ao relevo, a Figura 4.4 apresenta a declividade da área de estudo. Essa análise foi baseada na caracterização da área de estudo a partir das classes de declividade propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA, 1979a). O terreno da área de estudo é majoritariamente categorizado como suave ondulado, referente a declividades entre 3% e 8%. Quanto mais próximo do córrego, há um acréscimo da declividade, com relevos ondulados (8%-20%) e até mesmo forte ondulados (20%-45%). A superfície onde se encontra o sistema agroflorestal é apontada como suave ondulada em sua maior parte, sendo a terça fração mais próxima do corpo hídrico classificada como ondulada.

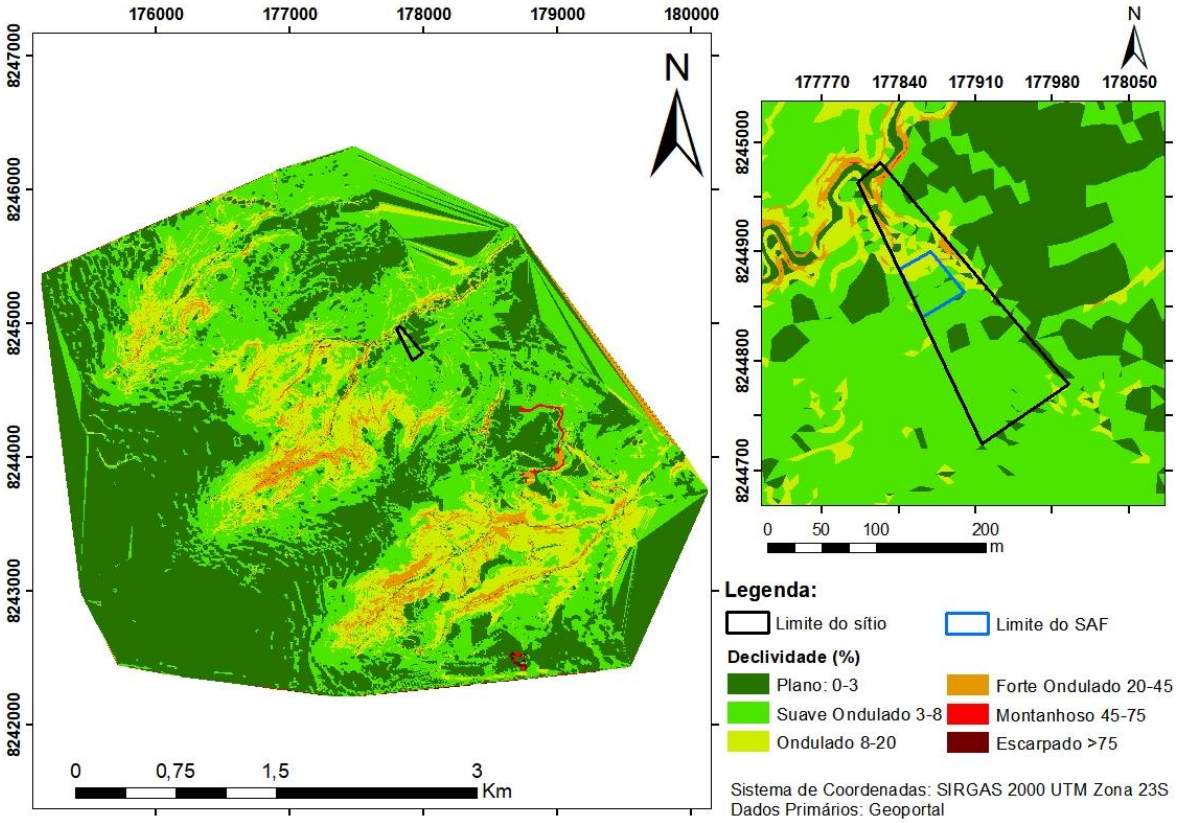


Figura 4.4 - Mapa de declividade de Arniqueira com detalhamento da área de estudo.

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental do Setor Habitacional Arniqueira (TOPOCART, 2013), o clima predominante da região é o Tropical de Savana, caracterizado por altas temperaturas durante a maior parte do ano resultante da grande radiação solar. As médias anuais de temperatura estão entre 19ºC e 22ºC e existem duas estações bem definidas: uma seca durante o inverno e outra chuvosa no verão. A Tabela 4.1 mostra a média mensal das chuvas.

Tabela 4.1 - Média mensal das chuvas (TOPOCART, 2013).

Chuvas (mm)													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Total	241	215	189	124	40	9	12	13	52	172	238	248	1.553

Já quanto à umidade relativa do ar, a Tabela 4.2 revela que a média mensal anual é de 59,5% e os meses de novembro a fevereiro têm os maiores valores, enquanto o período seco entre agosto e setembro registram as menores porcentagens.

Tabela 4.2 - Média mensal da Umidade Relativa do Ar (TOPOCART, 2013).

Umidade Relativa do Ar (%)													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
%	78	80	63	66	57	52	52	40	37	48	70	71	59,5

A área do sítio é de 16.085m² (1,6 hectare) sendo que a fração voltada para a produção agroflorestal, objeto de estudo desse trabalho, compõe 1.900m² (0,19 hectare). A transformação da área em SAF pelos proprietários do condomínio teve início com o preparo da terra e dos canteiros no primeiro semestre de 2018; já no segundo semestre foram executados os primeiros plantios. A Figura 4.5 mostra uma imagem de satélite do dia 28/05/2020 e indica a delimitação do sítio e do SAF.

Figura 4.5 - Delimitação da área de estudo a partir de imagem de satélite tirada no dia 28/05/2020 (Google Earth Pro).

De forma a otimizar o espaço da área destinada ao SAF, os proprietários do condomínio implementaram canteiros com extensões não-uniformes. Ao total são 53 glebas que se dividem em três diferentes tipologias, sendo: 23 de roça; 14 de sub-bosque e 16 de dossel. Cada um deles possui características e função diferentes dentro da agrofloresta.

- Roça: Cultivo de hortaliças e culturas de ciclo curto como milho e feijão. Ocupação dos estratos rasteiro e baixo. Solos mais aerados;
- Sub-bosque: Predominância de espécies arbustivas e de ciclo longo como o café e a banana. Prevalecem os estratos baixo e médio;
- Dossel: Dominação de espécies arbóreas, que apresentam dossel mais denso. Preenchimento dos estratos alto e emergente, tendo como exemplos o ipê e o eucalipto respectivamente.

4.2. ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM CAMPO

A metodologia utilizada para a determinação da infiltração em campo foi a de infiltrômetros de duplo anel (EMBRAPA, 1979b). Para a realização do experimento, foram necessários quatro dias completos em campo. O primeiro dia, 24/01/2021, serviu como reconhecimento de área, para conhecer a área de estudo, avaliar os pontos amostrais a serem escolhidos, realizar ensaios-teste, identificar possíveis problemas, buscar soluções, selecionar todos os materiais necessários e planejar a campanha de campo. Depois, nos dias 27/01/2021, 28/01/2021 e 03/02/2021, foram efetuados todos os ensaios nos pontos eleitos (Figura 4.6), como indica a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Identificação dos pontos amostrais do ensaio de infiltração.

nº	Localização	Latitude	Longitude	Canteiro/ Tipo	Dia	Hora início	Temperatura	Umidade
1	SAF	-15,854491	-48,007454	Sub-bosque	27/01	10:06	29,9°	65%
2	SAF	-15,854496	-48,007508	Dossel	27/01	12:02	32,6°	56%
3	SAF	-15,854466	-48,007491	Roça	27/01	15:59	32,6°	38%
4	SAF	-15,854436	-48,007557	Roça	27/01	16:33	32,3°	39%
5	Gramado ao lado do SAF	-15,854569	-48,007432	Gramado	27/01	17:12	32,1°	39%
6	SAF	-15,854422	-48,007501	Dossel	28/01	11:46	30,9°	53%
7	SAF	-15,854354	-48,007552	Sub-bosque	28/01	15:22	29,8°	45%
8	Solo exposto ao lado do SAF	-15,854324	-48,007246	Solo exposto	28/01	17:19	26,7°	43%
9	Gramado superior	-15,855150	-48,006653	Gramado	03/02	10:01	27,3°	62%
10	Gramado inferior	-15,855068	-48,006652	Gramado	03/02	14:08	30,5°	53%

Figura 4.6 - Mapa de localização dos pontos de amostragem (imagem gerada a partir de fotos de drone, tiradas no dia 13/03/2021).

A primeira etapa consistiu em escolher os pontos de amostragem. Os principais fatores considerados foram:

- Proximidade de torneiras para disponibilização de água durante o decorrer do ensaio;
- Declividade mais suave possível;
- Atender os diferentes tipos de canteiros agroflorestais bem como pontos fora do SAF.

Assim, escolheram-se seis pontos dentro da agrofloresta (dois para canteiros tipo roça, dois para canteiros tipo sub-bosque e dois para canteiros tipo dossel) e mais quatro fora do SAF (dois localizados em um gramado próximo à entrada do sítio e mais dois próximos ao limite da agrofloresta, sendo um em um solo coberto por grama e outro em um solo exposto), totalizando 10 pontos amostrais.

Os materiais utilizados para executar os ensaios foram:

- Dois anéis de aço galvanizado, sendo o maior com diâmetro de 56cm e o menor de 28cm, ambos com 25cm de altura e 2mm de espessura (Figura 4.7);
- Porrete de madeira para fixar os anéis (Figura 4.7);
- Nível de bolha (Figura 4.10);
- Trena (Figura 4.9);
- Adesivos de marcação de uma escala graduada em centímetros (Figura 4.8);
- Cronômetros (celulares) (Figura 4.7);
- Reservatórios de água (capacidade total de 100L) (Figura 4.7);
- Duas mangueiras, ambas de 35 metros de comprimento (Figura 4.7);
- Prancheta e planilhas para registro dos dados (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Execução de ensaio de infiltração no ponto 5 e indicação de materiais.

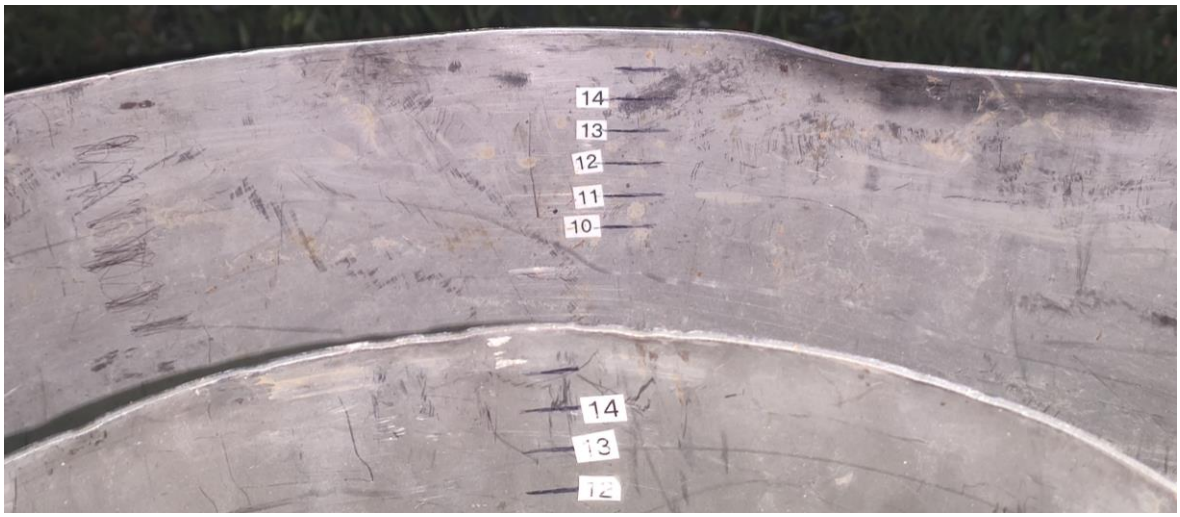


Figura 4.8 - Adesivos de marcação de uma escala graduada em centímetros.

O ensaio se iniciou com o enchimento dos reservatórios de água com o auxílio das mangueiras ao lado do ponto que seria observado. Utilizou-se a trena para verificar se os anéis estavam centralizados antes da fixação (Figura 4.9) e o nível bolha para conferir o nivelamento dos anéis (Figura 4.10). Logo após, foram fixados os anéis no solo de forma concêntrica (Figura 4.11), a uma profundidade de aproximadamente 8,8cm (previamente delimitada no exterior dos anéis com uma fita adesiva vermelha). Então iniciou-se o enchimento do anel externo de forma cautelosa, para não comprometer a estrutura do solo natural, até a marca de 10cm, a qual foi mantida durante todo o ensaio. No instante em que se começou a encher o anel interno, iniciou-se a contagem do cronômetro. Com o auxílio da planilha, foram registrados dois instantes de tempo para cada leitura: t_1 (tempo de enchimento até a marca de 14cm) e t_2 (tempo de passagem da marca de 14cm até a marca de 12cm).

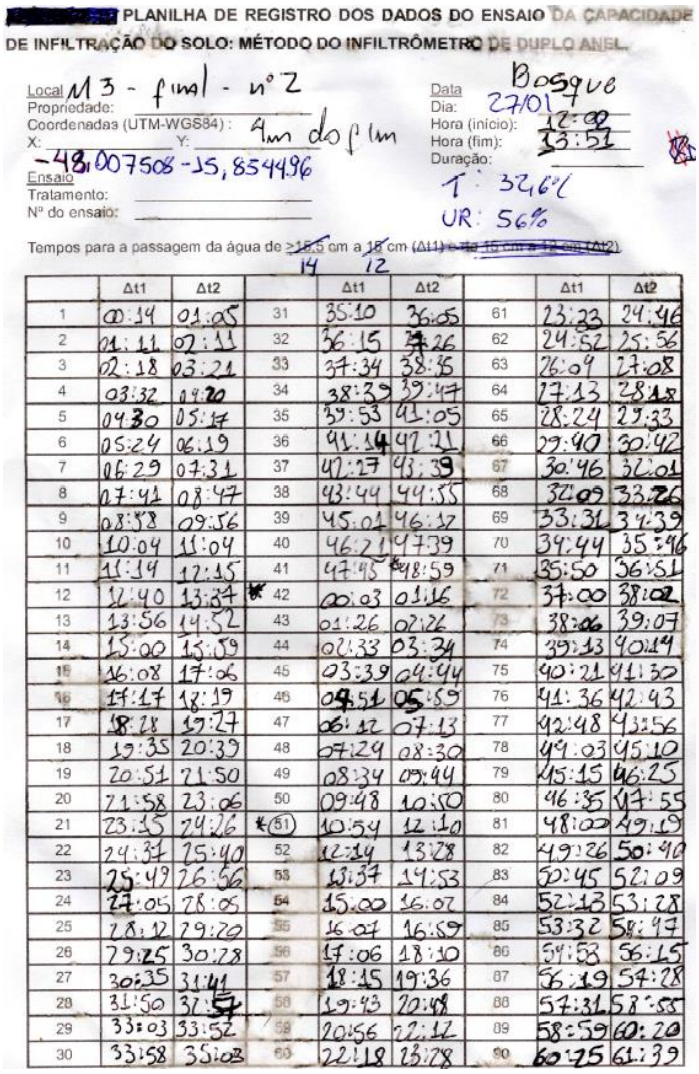
Figura 4.9 - Verificação do correto posicionamento dos anéis

Figura 4.10 - Conferência do nivelamento dos anéis.

Figura 4.11 - Fixação dos anéis no solo.

O experimento foi conduzido até que a taxa de infiltração chegasse à um valor constante, ou seja, um mesmo intervalo de tempo entre t_1 e t_2. Com intenção de gerar um gráfico mais representativo da taxa de infiltração, buscou-se obter 90 leituras para cada ponto, mas em casos em que a velocidade de infiltração era muito reduzida, o tempo necessário (excessivamente longo) era inviável. Em função do ensaio ser vulnerável à erros experimentais aleatórios, além de conter erros instrumentais, a probabilidade de presenciar dois valores do intervalo $t_1 - t_2$ exatamente iguais é rara. Assim, criou-se um critério para a interrupção do experimento: se a flutuação do intervalo em questão representasse no máximo 5% do valor anterior por cinco vezes consecutivas, considerava-se atingida a VIB.

Na Figura 4.12 é mostrado um exemplo de planilha de campo que foi utilizada para o registro dos dados do ensaio de infiltração.



PLANILHA DE REGISTRO DOS DADOS DO ENSAIO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO SOLO: MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE DUPLO ANEL

Local: M3 - final - nº 2 — Bosque
Propriedade:
Coordenadas (UTM-WGS84): X: -48,007508 Y: -15,854496 — 4m do final
Ensaio
Tratamento:
Nº do ensaio:
Data
Dia: 27/01
Hora (início): 12:00
Hora (fim): 13:51
Duração:
T: 32,6°C
UR: 56%

Tempos para a passagem da água de ~~>18,5~~ 14 cm a ~~18~~ 12 cm (Δt1) ~~e 15 cm a 12 cm~~ (Δt2)

	Δt1	Δt2		Δt1	Δt2		Δt1	Δt2
1	00:14	01:05	31	35:10	36:05	61	23:23	24:46
2	01:11	02:11	32	36:15	37:26	62	24:52	25:56
3	02:18	03:21	33	37:34	38:35	63	26:09	27:08
4	03:32	04:30	34	38:39	39:47	64	27:13	28:18
5	04:30	05:17	35	39:53	41:05	65	28:24	29:33
6	05:24	06:19	36	41:14	42:21	66	29:40	30:42
7	06:29	07:31	37	42:27	43:39	67	30:46	32:01
8	07:41	08:47	38	43:44	44:55	68	32:09	33:26
9	08:58	09:56	39	45:01	46:17	69	33:31	34:39
10	10:04	11:04	40	46:21	47:39	70	34:44	35:46
11	11:14	12:15	41	47:45	48:59	71	35:50	36:51
12	12:40	13:37	42	00:03	01:16	72	37:00	38:02
13	13:56	14:52	43	01:26	02:26	73	38:06	39:07
14	15:00	15:59	44	02:33	03:34	74	39:13	40:14
15	16:08	17:06	45	03:39	04:44	75	40:21	41:30
16	17:17	18:19	46	04:51	05:59	76	41:36	42:43
17	18:28	19:27	47	06:12	07:13	77	42:48	43:56
18	19:35	20:39	48	07:24	08:30	78	44:03	45:10
19	20:51	21:50	49	08:34	09:44	79	45:15	46:25
20	21:58	23:06	50	09:48	10:50	80	46:35	47:55
21	23:15	24:26	51	10:54	12:10	81	48:00	49:19
22	24:37	25:40	52	12:14	13:28	82	49:26	50:40
23	25:49	26:56	53	13:37	14:53	83	50:45	52:09
24	27:05	28:05	54	15:00	16:07	84	52:13	53:28
25	28:12	29:20	55	16:07	16:59	85	53:32	58:47
26	29:25	30:28	56	17:06	18:10	86	54:58	56:15
27	30:35	31:41	57	18:15	19:36	87	56:19	54:28
28	31:50	32:57	58	19:43	20:48	88	57:31	58:55
29	33:03	33:52	59	20:56	22:12	89	58:59	60:20
30	33:58	35:03	60	22:18	23:28	90	60:25	61:39

Figura 4.12 - Exemplo de preenchimento de planilha de campo para ensaio de infiltração com anéis concêntricos.

Nos casos em que a água infiltrava de maneira lenta, o teste pôde ser executado por duas pessoas, uma para informar os instantes das marcas de 14cm e 12cm do anel interno, além de manter a altura do anel externo constante e encher o interno quando necessário, e outra para verificar os tempos no cronômetro e anotá-los na planilha. Já para os casos em que a infiltração era acelerada, foram necessárias 3 pessoas, sendo duas responsáveis pelos níveis dos anéis e a terceira pelas anotações.

As coordenadas de cada ponto foram obtidas através de um aplicativo de celular chamado *Mobile Topographer*, uma vez que não se dispunha de um sistema de posicionamento global (GPS) de navegação. Já para as temperaturas e umidades relativas do ar, observadas no momento do ensaio de cada ponto, utilizou-se um termo higrotermômetro digital de parede, localizado no cômodo mais próximo da agrofloresta (Tabela 4.3).

Para analisar os dados coletados em campo, criou-se uma planilha no Microsoft Excel para cada ponto observado, onde transcreveram-se todos os valores de tempo para as leituras t_1 e t_2, convertendo-as para minutos. Então pôde-se calcular a velocidade de infiltração através da variação da altura da lâmina d'água sobre a variação do tempo entre as leituras t_1 e t_2 (Equação 4.1).

$$V = \frac{h_1 - h_2}{\Delta t} * 60 \qquad \text{Equação 4.1}$$

Sendo: V = Velocidade de infiltração [cm/h];

h_1 = Altura da lâmina d'água superior [cm];

h_2 = Altura da lâmina d'água inferior [cm];

Δt = Variação do tempo entre as leituras t_1 e t_2 [min].

A seguir, calculou-se o tempo médio para cada leitura através da (Equação 4.2).

$$t_{med} = \frac{t_1 - t_2}{2} \qquad \text{Equação 4.2}$$

Sendo: t_{med} = Tempo médio entre as leituras t_1 e t_2 [min];

t_1 = Tempo de enchimento até a marca de 14cm [min];

t_2 = Tempo de passagem da marca de 14cm até a marca de 12cm [min].

Com os valores de velocidade de infiltração e tempo médio entre as leituras, foram gerados gráficos V [cm/h] x t_{med} [min]. A fim de se obter um ajuste mais preciso dos valores de

VIB, foram testadas regressões não-lineares, sendo essas a partir de funções exponencial, logarítmica e potencial. Para cada ajuste, foi calculado o R^2 a partir do qual se analisou o quanto cada linha de tendência gerada se aproximou dos pontos experimentais. Também foi utilizado um eixo y secundário do gráfico para representar a infiltração acumulada [mm] ao longo do tempo.

Por fim as velocidades de infiltração aqui observadas foram comparadas àquelas geradas pelos experimentos de Moura (2005), para pavimentos permeáveis e de Puzzi (2015) para trincheiras de infiltração, detalhados em 3.2.3.2 e em 3.2.3.1 respectivamente.

4.3. PROCESSAMENTO DE IMAGENS GEORREFERENCIADAS DE DRONES POR MEIO DO SOFTWARE AGISOFT METASHAPE

Foram geradas imagens a partir de dois levantamentos aéreos com o drone DJI Mavic Pro na área de estudo, sendo um realizado no dia 22/01/2020 e outro no dia 13/03/2021. Para o mais recente, os sócios do sítio já possuíam a imagem sobreposta e processada, com o ortomosaico pronto, o qual foi disponibilizado. Já para o levantamento anterior, tinham posse apenas das fotos.

Para realizar o processamento das imagens de 2020, foi utilizado o *software* Agisoft Metashape e foi seguida a metodologia apresentada no manual do próprio programa (Agisoft, 2021). Haviam 736 fotos tiradas a partir de diferentes planos de voo configurados para altitudes diferentes. Porém, o ideal é se utilizar fotos de um único planejamento para evitar distorções ocasionadas pela variação do *Ground Sample Distance* (GSD), que se referre ao tamanho de cada pixel da foto capturada com o drone. Após analisar as imagens, optou-se por realizar o processamento com dois planos de voo, um na altitude de 1153m e outro a 1177m.

Primeiramente verificou-se a qualidade das fotos. Como todas apresentaram valores acima de 0,5, não foi preciso eliminar nenhuma do processamento. O passo seguinte foi o alinhamento das fotos; optou-se pela precisão média para esse e todos os processamentos seguintes, uma vez que para a análise de uso e ocupação não se necessita de um produto com uma precisão alta no sentido topográfico, inclusive para facilitar o reconhecimento dos pontos homólogos pelo ArcGIS. No caso do levantamento a 1177m de altitude, todas as fotos alinharam-se; já para o de 1153, três fotos não alinhadas foram excluídas para não interferirem na continuação do processamento.

Logo após construiu-se a nuvem densa de pontos e utilizou-se o filtro “agressivo” para aumentar o detalhamento, que reduz distorções sem necessariamente aumentar a quantidade de pixels. Esse último pode ser um fator complicador para o processamento no ArcGIS. A etapa posterior foi a criação do modelo digital de elevação (DEM) (Figura 4.13) a partir da nuvem densa, que informa valores de altitude do terreno. Nesse momento, informou-se o tipo de sistema de coordenadas e o Datum, foi utilizado SIRGAS 2000 UTM Zona 23S. Por fim, utilizou-se o DEM como superfície para gerar o ortomosaico de 2020 (Figura 4.14). Após finalizar os ortomosaicos dos dois planos de voo, escolheu-se o de 1177m para a análise de cobertura de solo, uma vez que esse apresentou menos distorções e maior qualidade visual de imagem.

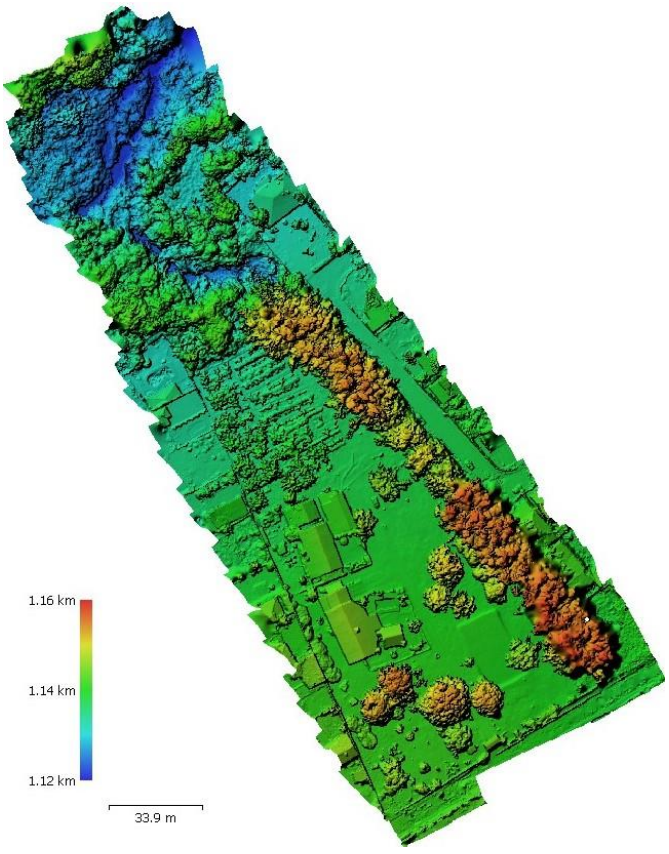


Figura 4.13 - Modelo digital de elevação (DEM) do Sítio Terra do Sol.

Figura 4.14 - Ortomosaico gerado no *software* Agisoft Metashape a partir de fotos aéreas do Sítio Terra do Sol em 2020.

4.4. ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO COM IMAGENS GEORREFERENCIADAS DE DRONE ATRAVÉS DO SOFTWARE ARCGIS

De posse dos ortomosaicos de 2020 e 2021, iniciou-se o processamento no ArcGIS. Para esta análise de uso e cobertura do solo, foram determinadas cinco classes a serem observadas: vegetação densa; vegetação não-densa; corpo hídrico; área impermeável e área antropizada.

Inicialmente, os ortomosaicos foram importados como *raster* e esforços foram empreendidos em um método de classificação supervisionado por máxima verossimilhança, no qual são fornecidos ao programa um conjunto de amostras de treinamento para cada classe para ajudar o *software* a identificar pixels homólogos por comparação de valores (Richards, 2013). Porém, devido à alta qualidade e consequente grande quantidade de pixels na imagem gerada por drone, a classificação não foi satisfatória, e foi necessário recorrer a métodos manuais para a caracterização de uso e ocupação.

Assim, foi adaptada e utilizada a metodologia de Freitas *et al.* (2011). Alterou-se a exibição de composição RGB do *raster* para *Streched*, no qual utilizou-se a banda 1 para criar dez intervalos de valores e por tentativa e erro, variaram-se os limites de cada intervalo até se atingir a melhor configuração possível. Foi necessário fazer a divisão em quatro cores e não considerar a classe corpo hídrico no primeiro momento, já que os valores de pixels eram muito próximos e até idênticos a alguns das classes área impermeável e área antropizada.

Subsequentemente, com a ferramenta *reclassify*, os dez intervalos iniciais foram afunilados em quatro classes utilizando os valores limites observados anteriormente e assim gerado um novo *raster* (Freitas *et al.*, 2011). Após isso, converteu-se o *raster* em *shapefile* e para dar continuidade ao processamento foi fundamental aplicar a ferramenta *dissolve*, para unir todos os polígonos de igual classe e tornar o arquivo mais leve.

O produto do *reclassify* classificou algumas áreas impermeáveis, como telhados de tonalidade mais claras e alguns pavimentos, conforme área antropizada por se assemelharem às cores dos solos expostos presentes no terreno. Então foi preciso converter o *raster* gerado em um *shapefile* e criar um outro *shapefile* de polígonos para delimitar essas áreas a serem ajustadas para a classe correta, assim como a área compreendida pelo corpo hídrico.

Depois, adicionou-se uma coluna na tabela de atributos referenciando cada polígono à sua devida classe. Com os polígonos criados e identificados, usou-se a ferramenta *erase* para apagar as classificações equivocadas e por fim *merge* para unir os dois *shapefiles*. Esse sequenciamento foi efetuado para ambos ortomosaicos, obtendo como resultado um mapa de uso e ocupação da área de estudo para 2020 e outro para 2021.

Por fim, foi adicionada à tabela de atributos de cada *shapefile* final uma coluna de área e calculados os valores referentes à cada classe para cada ano.

4.5. MÉTODO RACIONAL COM DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Uma vez gerados os mapas de uso e ocupação para os anos de 2020 e 2021 e calculadas as áreas equivalentes a cada classe de cobertura de solo, buscou-se estimar a vazão de escoamento referente a cada ano. Já que a área em questão era pequena, o mais adequado, segundo a literatura, foi a utilização do método racional (Equação 4.3). Não existe um consenso sobre a área máxima em que esse método pode ser aplicado com precisão aceitável, porém, o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal (ADASA, 2018) adota como limite 100 ha, que é notadamente maior que área de estudo em

questão que possui 1,6 ha com uma área de 0,19 ha referente à atividade agroflorestal com aproximadamente três anos de idade.

$$Q = \frac{C * i * A}{3600} \qquad \text{Equação 4.3}$$

Sendo: Q = Vazão [L/s];

C = Coeficiente de escoamento superficial [adimensional];

i = Intensidade da chuva [mm/h];

A = Área total da bacia [m²].

A precipitação de projeto aplicada ao método racional deve ser constante, sendo assim, a intensidade da chuva (i) foi calculada através de um bloco de chuva único, diretamente da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) do DF (Equação 4.4), descrita no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (GDF, 2009).

$$i = \frac{1574{,}7 * {T_R}^{0{,}207}}{(t + 11)^{0{,}884}} \qquad \text{Equação 4.4}$$

Sendo: i = Intensidade da chuva [mm/h];

T_R = Tempo de retorno [anos];

t = Duração da chuva [min].

O Manual de Drenagem da ADASA (2018) sugere a utilização de um tempo de retorno de 10 anos, já o Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba, publicado pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA, 2002), recomenda, para o emprego do método racional, o uso de um tempo de retorno de 2 anos. Dessa forma, escolheu-se realizar os cálculos com T_R para 2 e 10 anos, a fim de se gerar mais dados para comparação e análise. Já para o tempo de duração da chuva, a recomendação é a utilização de um tempo equivalente ao de concentração da bacia (t_c) (ADASA, 2018; SUDERHSA, 2002). Assim, calculou-se o tempo de concentração pela fórmula de Kirpich (Equação 4.5), como recomendado pela SUDERHSA (2002). Os dados de extensão longitudinal do escoamento da bacia (L) e de diferença de alturas (H) foram obtidos com ferramentas do *software* Agisoft Metashape através do DEM (Figura 4.5).

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$ Equação 4.5

Sendo: t_c = Tempo de concentração [min];

L = Extensão longitudinal do escoamento da bacia [km];

H = Diferença de alturas [m].

Utilizou-se L = 0,3km e H = (1145-1122) metros, o que resultou em um valor de t_c = 4,24 minutos. Como sugestão da SUDERHSA (2002), para o emprego do método racional, o tempo de duração da chuva deve ser limitado a 10 minutos no mínimo. Dessa forma, adotou-se t = 10 minutos para o cálculo da intensidade da chuva.

De volta à Equação 4.3, optou-se por não utilizar um valor tabelado de coeficiente de escoamento superficial, uma vez que os valores encontrados na literatura são generalizações e poderiam não representar bem certas características da área e dos tipos de cobertura de solo presentes na área de estudo. Então, foi aplicada uma metodologia proposta por Oliveira e Braga (2018) na qual utilizou-se o método da Curva Número (CN) do Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos (NRCS) para determinar a infiltração potencial, a precipitação efetiva e por fim, o coeficiente de escoamento superficial.

Os valores de CN propostos pelo NRCS (2004), variam de acordo com o grupo hidrológico do solo e apresentam uma gama extensa de opções que diferem para os tipos de cobertura e sua condição. Dessa forma, foi possível determinar um coeficiente de escoamento superficial mais verossímil, que representasse melhor as peculiaridades do contexto analisado.

Primeiramente, foram adotados valores de CN referentes ao grupo hidrológico do solo presente na área de estudo (grupo C) que melhor representassem cada classe de cobertura de solo gerada anteriormente no mapa de uso e ocupação (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Valores de CN para cada classe de cobertura do solo (modificado de NRCS, 2014).

Classe	CN
Área impermeável	98
Corpo hídrico	98
Área antropizada	91
Vegetação não densa	86
Vegetação densa	70

Após definidos esses valores, foram calculados CN ponderados para 2020 e 2021 considerando as classes com suas respectivas áreas, conforme a Equação 4.6.

$$CN_{pond} = \frac{\Sigma(CN_c * A_c)}{A} \qquad \text{Equação 4.6}$$

Sendo: CN_{pond} = Valor de CN ponderado [adimensional];

CN_c = Valor de CN de cada classe de cobertura de solo [adimensional];

A_c = Área de cada classe de cobertura de solo [m²];

A = Área total da bacia [m²].

Através dos valores de CN_{pond} para os diferentes anos, obteve-se os valores de infiltração potencial (Equação 4.7) para 2020 e 2021, com os quais foi possível calcular a precipitação efetiva (Equação 4.8).

$$S = \frac{25400}{CN_{pond}} - 254 \qquad \text{Equação 4.7}$$

$$P_e = \frac{(P - 0{,}2 * S)^2}{(P + 0{,}8 * S)} \qquad \text{Equação 4.8}$$

Sendo: S = Infiltração potencial [mm];

CN_{pond} = Valor de CN ponderado [adimensional];

P_e = Precipitação efetiva [mm];

P = Precipitação total do evento [mm].

Para a determinação da precipitação total do evento, utilizou-se a equação IDF (Equação 4.4) com tempo de duração da chuva de 24 horas e para tempos de retorno de 2 e 10 anos. Aqui adotou-se 24 horas como recomendação por boas práticas para dimensionamento de sistemas de drenagem (ADASA, 2018) e com a finalidade de avaliar precipitações máximas diárias em cenários críticos para ambos intervalos de recorrência. As precipitações totais dos eventos calculadas foram: 69,95mm para um tempo de retorno de 2 anos e 97,61 para 10 anos. Dessa forma, foram obtidos dois valores de precipitação efetiva para cada ano, sendo um referente a 2 anos de tempo de retorno e o outro a 10 anos.

Então, a partir da razão entre a precipitação efetiva e a precipitação total do evento, foram obtidos os coeficientes de escoamento superficial (Equação 4.9), sendo dois para 2020, com

tempos de retorno de 2 e 10 anos e mais dois para 2021 com os mesmos períodos de recorrência.

$$C = \frac{P_e}{P} \qquad \text{Equação 4.9}$$

Sendo: C = Coeficiente de escoamento superficial [mm];

P_e = Precipitação efetiva [mm];

P = Precipitação total do evento [mm].

Finalmente, de posse de todos valores necessários, foi possível calcular as vazões para os tempos de retorno de 2 e 10 anos para 2020 e 2021. A área de estudo, mesmo antes do início das práticas agroflorestais, já apresentava uma alta porcentagem de vegetação densa, devido à filosofia conservacionista do Sítio Terra do Sol, que se preocuparam em preservar não só a mata ciliar do córrego e a vegetação em torno da erosão próxima, mas também outras porções do terreno. Dessa forma, para gerar dados comparativos mais destoantes em questões percentuais de cobertura de solo, optou-se por avaliar, também, a vazão de escoamento para um cenário hipotético, onde para a mesma área, a vegetação densa foi reduzida e reclassificada como vegetação não densa (áreas cobertas por gramíneas) e área antropizada (solo exposto).

A área de vegetação densa foi considerada como 10% da superfície do terreno, valor que compreendia com folga a Área de Preservação Permanente (APP) do córrego e a vegetação ao redor da erosão, ambas áreas foram calculadas a partir de polígonos no ArcGIS. O valor da diferença foi redistribuído para as classes vegetação não densa e área antropizada, de forma a se manter a proporção entre os dois tipos de cobertura. Como valores base foram utilizadas as áreas referentes ao mapa de uso e ocupação gerado para o ano de 2020.

5) RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguida a sequência de metodologia apresentada, obtiveram-se dados para fins comparativos, com objetivo de avaliar a eficiência do SAF como dispositivo de infiltração na dinâmica pluvial do Sítio Terra do Sol e verificar se essa seria uma opção viável para lotes e condomínios no DF.

5.1. ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM CAMPO

As Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 expõem os gráficos gerados a partir dos dados dos testes de infiltração com a infiltração acumulada (linha contínua vermelha), a velocidade de infiltração (pontos azuis) e sua respectiva linha de tendência ajustada pela função potencial (linha pontilhada azul), que foi a regressão não-linear dentre as avaliadas que gerou valores de R^2 maiores e assim demonstrou uma maior correspondência com os dados experimentais. As tabelas com os valores registrados nos ensaios e utilizados para a confecção desses gráficos encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

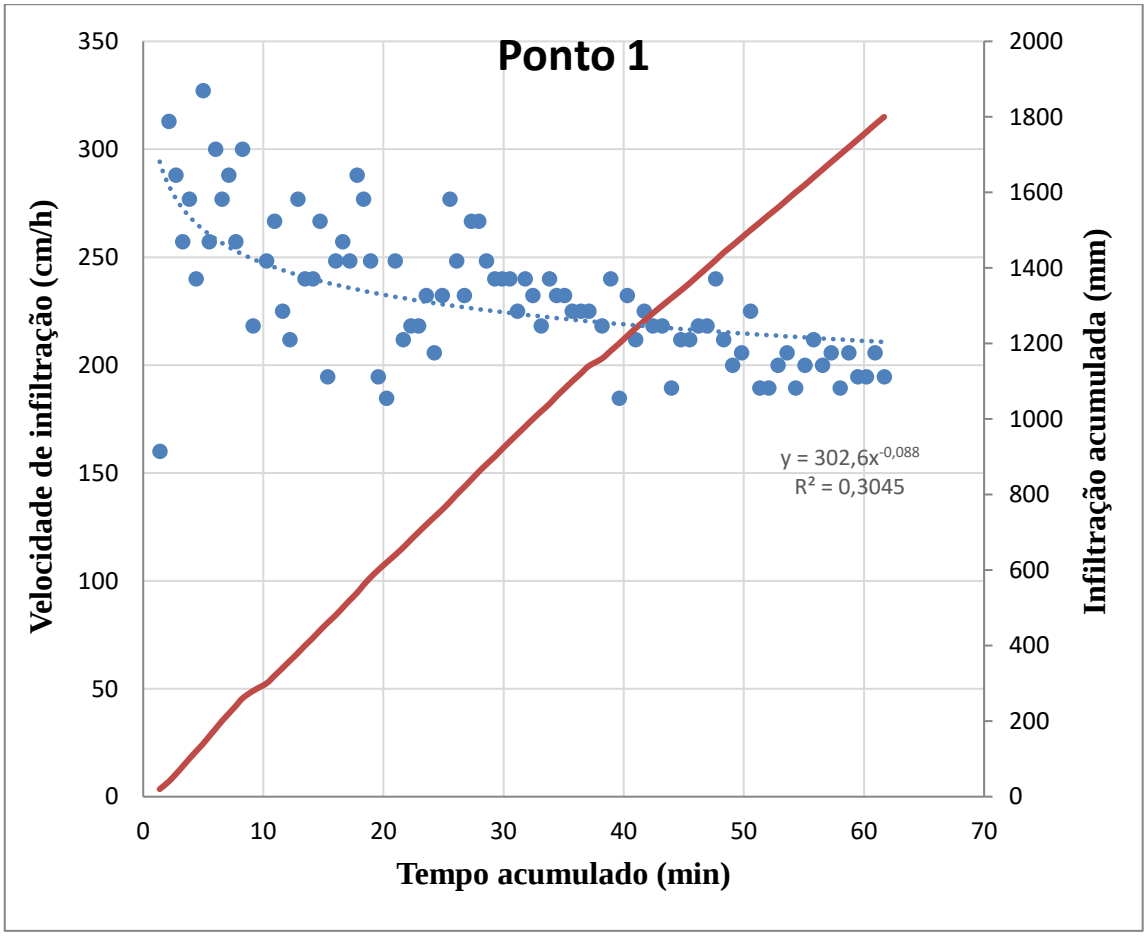


Figura 5.1 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 1.

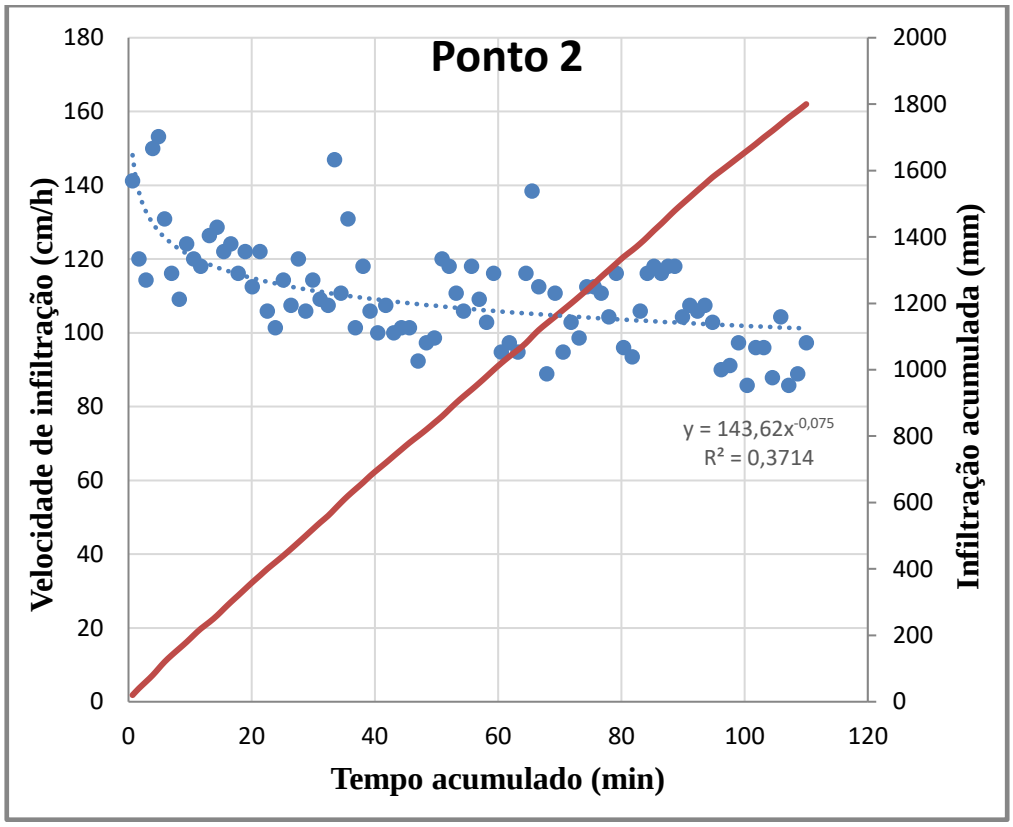


Figura 5.2 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 2.

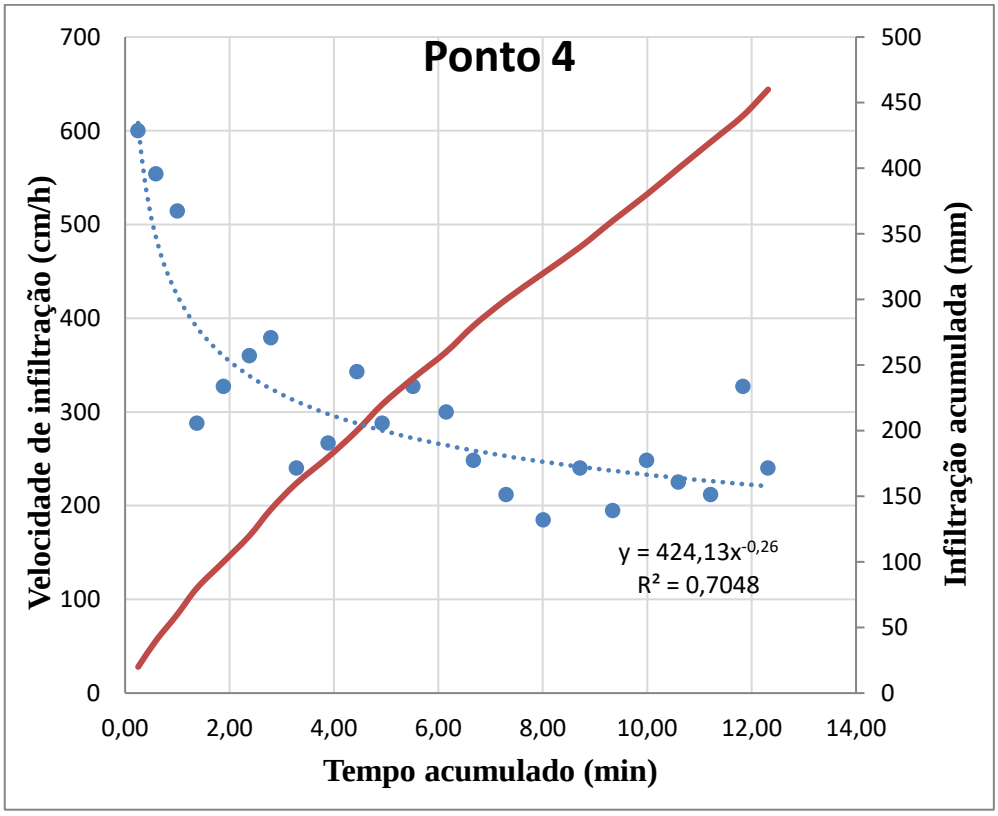


Figura 5.3 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 4.

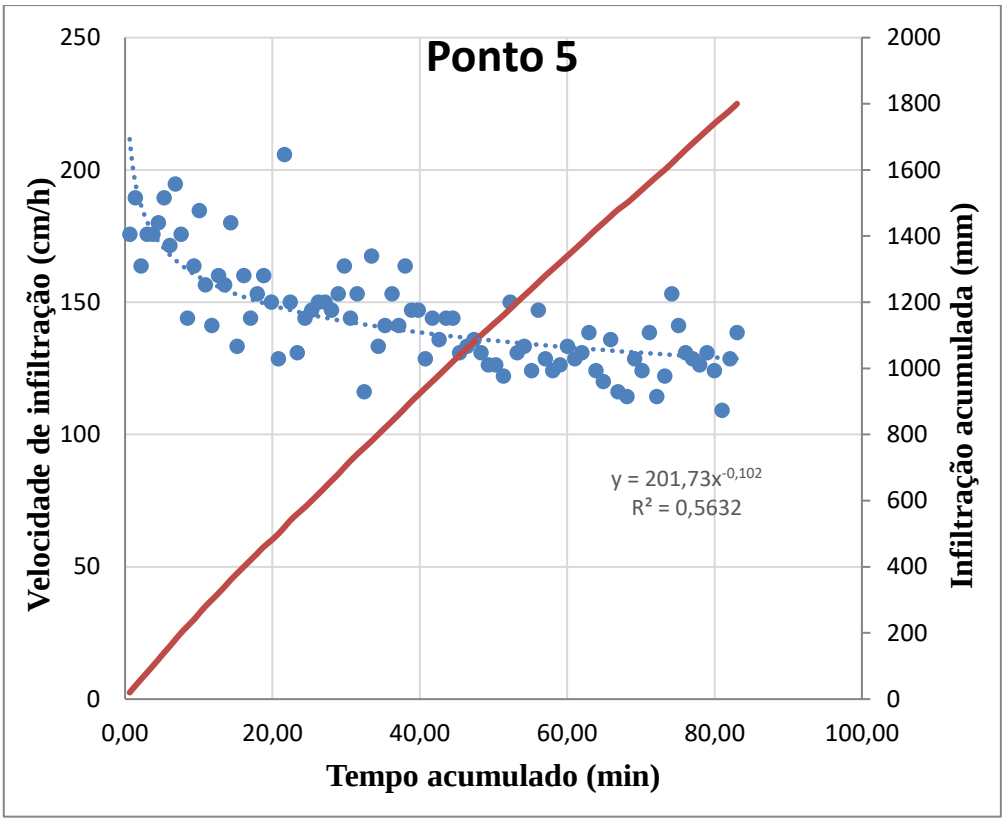


Figura 5.4 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 5.

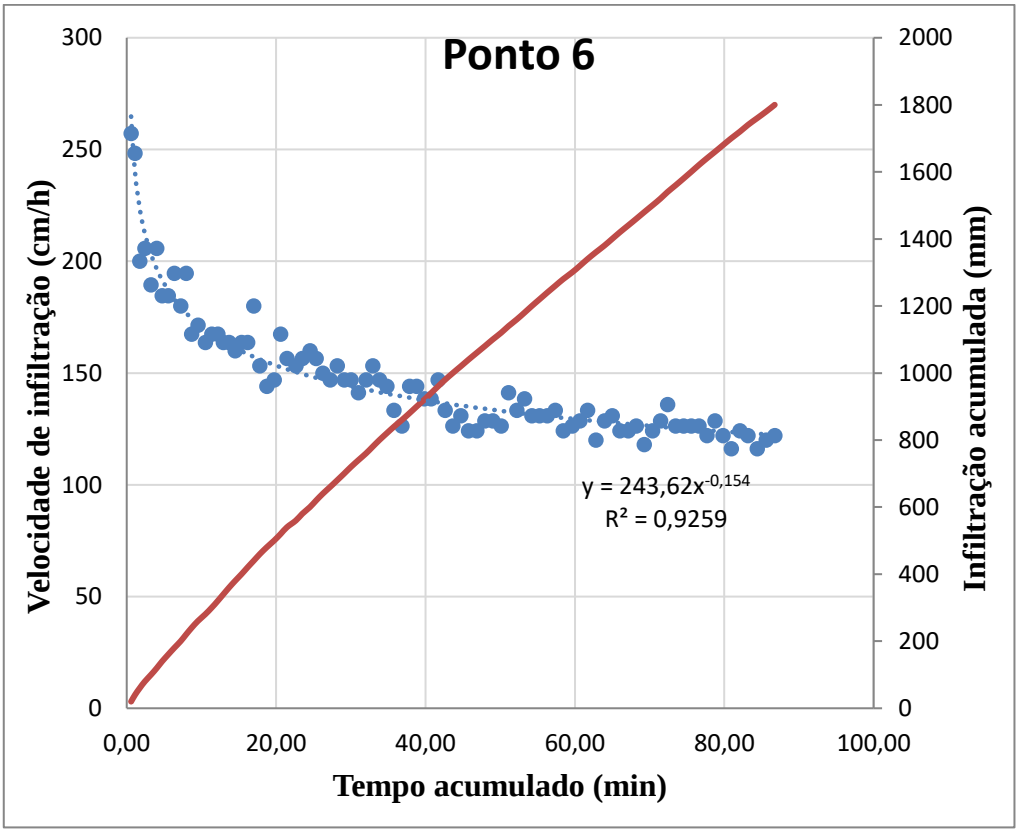


Figura 5.5 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 6.

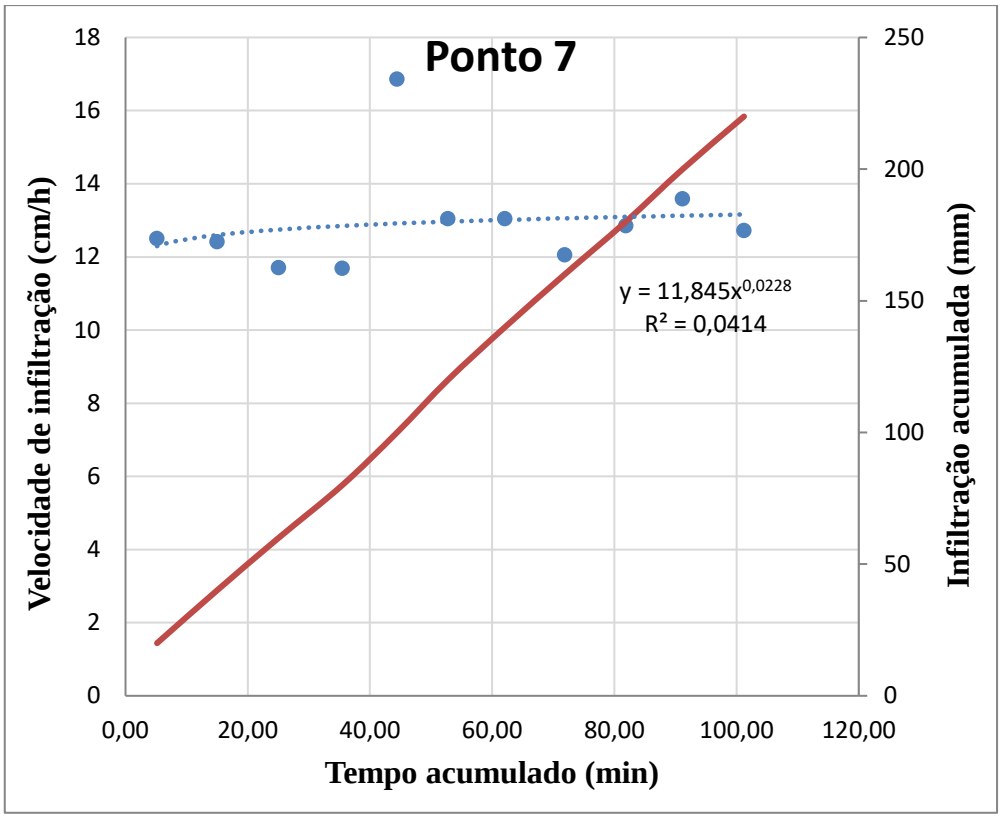


Figura 5.6 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 7.

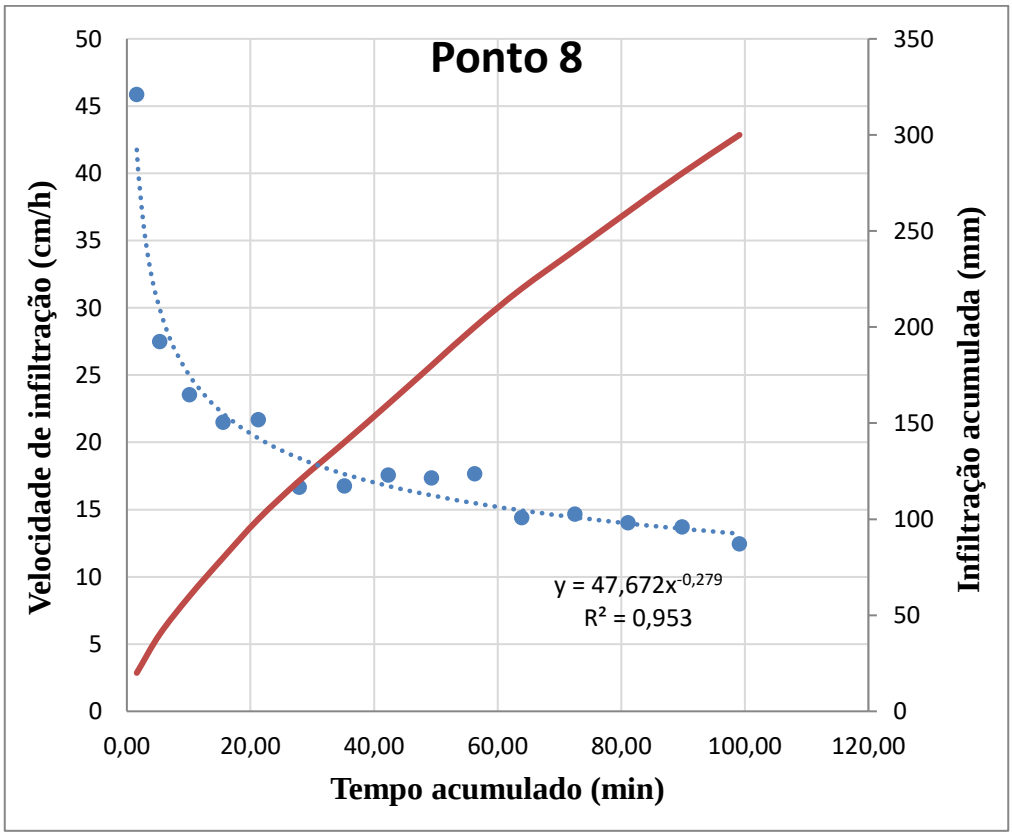


Figura 5.7 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 8.

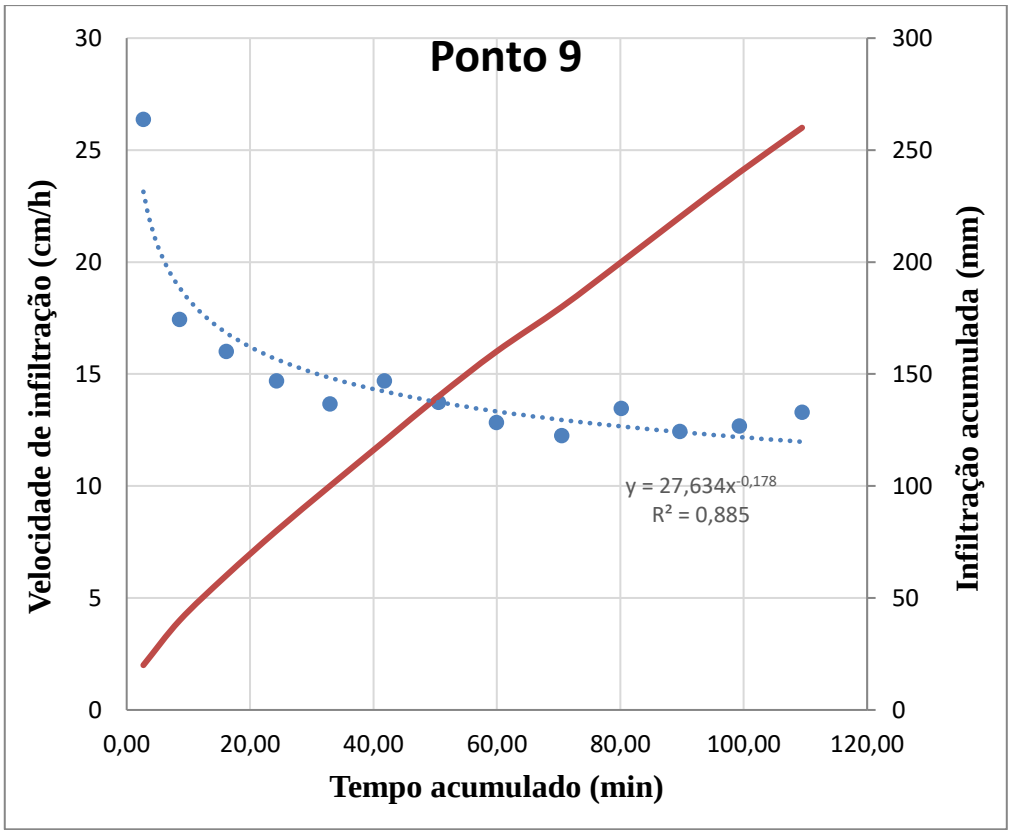


Figura 5.8 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 9.

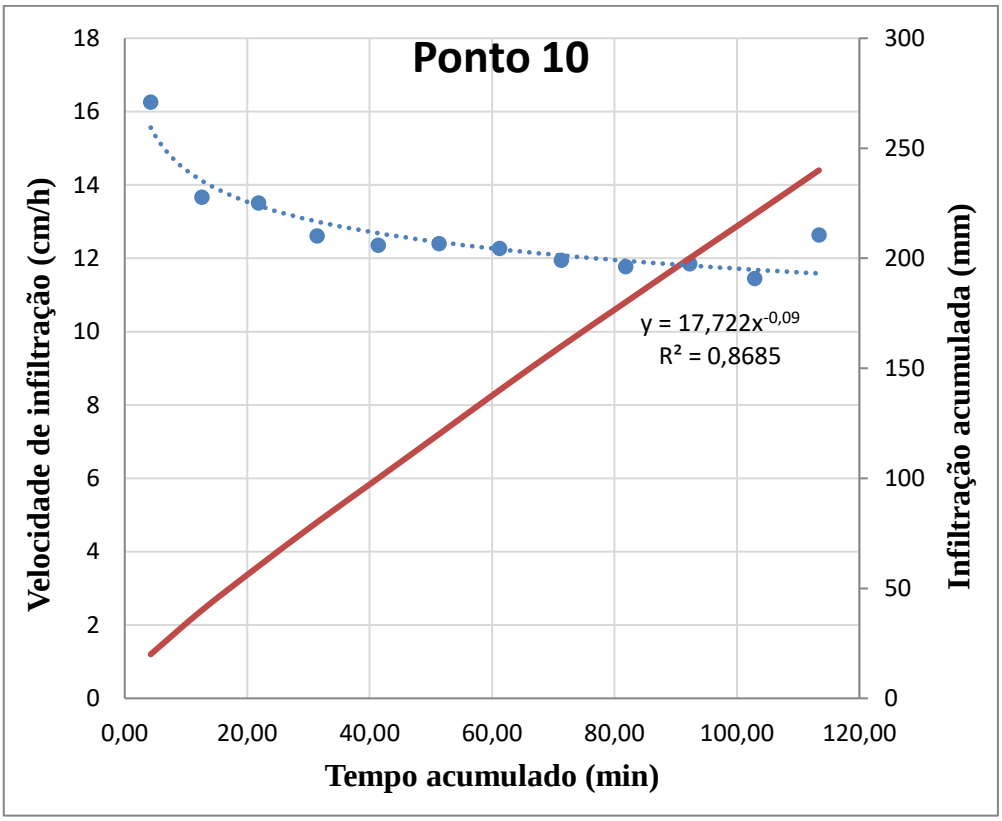


Figura 5.9 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 10.

A Tabela 5.1 classifica os gráficos quanto ao grau de satisfação referente à correlação do comportamento da velocidade de infiltração esperado ao longo do tempo com os resultados obtidos a partir dos dados experimentais observados.

Para os pontos 6, 8, 9 e 10, obteve-se o grau de correlação muito satisfatório, primeiro por apresentar valores de R^2 acima de 0,86. Segundo que a velocidade de infiltração também sofreu uma notável redução no início do experimento e com o decorrer do tempo aproximou-se de um valor de estabilidade com a evolução da saturação do solo, exatamente o que se espera desse ensaio.

Já os pontos 4 e 5 apresentaram valores medianos de R^2 entre 0,56 e 0,71, além de ser nítida a queda da velocidade de infiltração, em um primeiro momento, e a tendência de estabilização da mesma com o passar do tempo. Assim foram classificados como satisfatório.

Nos pontos 1 e 2, apesar de se ter percebido muita dispersão acima e abaixo da linha de tendência, o que gerou valores baixos de R^2 entre 0,30 e 0,38, foi possível observar uma certa convergência dos valores de velocidade de infiltração e uma redução gradual dos mesmos, o que lhes atribuiu o grau razoável.

O ponto 7, a despeito de se ter sido seguido o mesmo método de ensaio dos outros pontos, apresentou um resultado incompatível, já que a taxa de infiltração cresceu com o passar do tempo, uma vez que essa deveria reduzir com a saturação do solo. Dessa maneira o ponto perdeu o caráter comparativo, uma vez que qualquer interpretação a partir dele poderia representar aspectos inverossímeis, então foi classificado como não satisfatório

Nos pontos 3 e 4, ambos referentes à canteiros do tipo roça, a água infiltrou rapidamente. No ponto 4 toda a reserva de 100L disponível, mais a vazão que saia pelas duas mangueiras infiltrou toda em menos de 13 minutos, não foi possível assim manter o experimento até o critério para a interrupção do experimento. Já no ponto 3, esse volume todo infiltrou em questão de segundos, o que impossibilitou manter os níveis de observação e registrar qualquer dado.

Ressalta-se que seria de grande importância a realização de uma análise granulométrica para cada ponto amostral, uma vez que o solo urbano pode ter sido alterado anteriormente, não apresentando mais as características que definem um cambissolo. Assim compromete a inferência a partir, exclusivamente, da relação entre a cobertura vegetal e velocidade de infiltração.

Tabela 5.1 - Grau de satisfação do comportamento da velocidade de infiltração obtido em cada gráfico referente à cada ponto de amostragem.

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muito Satisfatório						X		X	X	X
Satisfatório				X	X					
Razoável	X	X								
Não Satisfatório							X			

A Tabela 5.2 mostra os valores de VIB para os pontos agrupados de acordo com os seus respectivos tipos de canteiros. Para o ponto 7 não foi possível obter, nem estimar uma VIB, já que não se alcançou estabilidade de velocidade e a equação gerada pela regressão potencial sugeriu uma tendência de crescimento da velocidade.

Apesar de não ter sido possível registrar dados para o ponto 3, uma interpretação concebível foi desse ponto possuir uma VIB mais alta do que os outros, já que foi onde todo o volume de água disponível (o mesmo para todos os pontos) infiltrou em um tempo menor. O outro ponto onde a água infiltrou rapidamente foi o 4, que dos valores medidos foi o que apresentou maior VIB. Porém, como no ponto 4 todo o volume de água infiltrou antes de ser atingida a VIB, utilizou-se a equação do ajuste potencial para se estimar esse valor, o que pode ter incorrido em um certo erro atribuído. Ambos os pontos 3 e 4 eram do canteiro tipo roça, o que sugere que o solo presente nessa tipologia tem uma taxa de infiltração alta, talvez maior que os demais.

Tabela 5.2 - Valores de VIB para cada ponto amostral

Canteiro/ Tipo	Roça		Sub-bosque		Dossel		Gramado			Solo exposto
Ponto	3	4	1	7	2	6	5	9	10	8
VIB (cm/h)	-	219,71	191,44	-	97,30	123,67	118,66	11,90	11,53	13,06

O ponto 1, referente ao canteiro sub-bosque, também registrou uma VIB alta, que pode inclusive ser maior do que o canteiro de roça, uma vez que o valor aqui obtido foi alcançado pela estabilização da velocidade de infiltração e não estimado como para o ponto 4. A variação dessa taxa no tempo para o ponto 1 foi menor do que no ponto 4, assim se houvesse água suficiente para continuar o experimento em 4 até o ponto de interrupção, seria possível que a VIB obtida fosse menor que a estimada, devido à maior oscilação nesse ponto.

Os pontos 2 e 6, relativos ao canteiro dossel, também tiveram resultados expressivos de VIB, mas menores que os pontos situados nos canteiros de roça e sub-bosque. Os canteiros de

roça em geral apresentaram capacidades iniciais de infiltração bem superiores aos outros, o que pode ser explicado pelo fato de terem sido submetidos por mais vezes ao processo de reviramento do solo, enquanto que os canteiros de sub-bosque e dossel foram revirados em menor quantidade. Como sub-bosque e dossel tiveram seus solos revirados igualmente, o que se pode concluir sobre a diferenciação de infiltração nos mesmos seria o fato das espécies de dossel serem em sua maioria nativas e de clímax, que geralmente possuem raízes pivotantes enquanto as espécies presentes no sub-bosque têm, em geral, raízes fasciculadas. As raízes fasciculadas proporcionam uma quantidade maior de caminhos e aumentam a eficácia da infiltração por serem mais numerosas, enquanto as axiais ou pivotantes são mais escassas.

Para os ensaios realizados nos gramados, enquanto os pontos 9 e 10, que são distantes do SAF, apontaram uma VIB bem abaixo daquelas mostradas nos canteiros agroflorestais, o ponto 5, escolhido próximo à agrofloresta (Figura 4.6), apresentou valores similares aos observados nos canteiros de dossel. Uma possível explicação seria o fato da área anteriormente à instalação do SAF ter sido utilizada para o plantio de algumas espécies e ter passado por processo de reviramento do solo. Durante o ensaio no ponto 5, com a saturação do solo, apareceram alguns indivíduos da macrofauna do solo que são bioindicadores de qualidade, como havia acontecido nos pontos dentro do SAF. Já nos pontos 9 e 10 nenhum animal foi observado durante todo o ensaio. Esses animais são bastantes importantes para a melhora das características estruturais do solo, que beneficiam a infiltração.

Por último, o ponto 8 sobre um solo exposto vizinho à agrofloresta, apresentou VIB mais baixa, muito similar aos pontos 9 e 10 realizados nos gramados.

5.1.1. Comparação das taxas de infiltração com outros dispositivos

As maiores taxas de infiltração para cada superfície obtidas por Moura (2005) são mostradas na Tabela 5.3. Em média, os maiores valores de VIB se deram para a superfície de blocos vazados, que foram inferiores apena a uma taxa de infiltração referente a grama de 12,4cm/h. Ao comparar os valores obtidos por Moura (2005) com os alcançados nos ensaios realizados nesse trabalho, verifica-se uma certa correlação na ordem de grandeza com os valores encontrados nos pontos 9, 10 e 8, com solos não beneficiados pelo SAF (Tabela 5.2).

Tabela 5.3 - Maiores valores de VIB obtidas para cada superfície analisada por Moura (2005).

Superfícies	Intensidade (mm/h)	VIB (cm/h)
Grama	120 a 156	8,8 a 12,4
Chão batido	120 a 156	3,8 a 6,4
Bloco maciço	84 a 120	6,6 a 7,0
Bloco vazado	84 a 156	11,7 a 11,8

Já os valores obtidos por Puzzi (2015) são mostrados na Tabela 5.4. Todos eles são bem superiores aos valores encontrados para os pontos desse trabalho não beneficiados por SAF, o que era esperado. Mas ainda assim são significativamente menores que os pontos observados nos canteiros agroflorestais. O menor valor em ponto de SAF nesse trabalho foi referente ao ponto 2 de dossel, igual a 97,30cm/h, que é 43% maior em relação ao ensaio 2 da trincheira com brita, que foi a maior VIB observada por Puzzi (2015). Como esses valores de velocidade de infiltração dependem de vários fatores característicos do solo observado, não se pode afirmar que o SAF em geral apresentar maior VIB que trincheiras de infiltração, mas é inegável que favorece o processo de ingresso da água no solo.

Tabela 5.4 - Valores de VIB das trincheiras de infiltração com e sem brita obtidas para os ensaios realizados por Puzzi (2015).

Trincheira	Ensaio	VIB (cm/h)
Sem brita	1	37,74
	2	29,76
	3	35,28
Com brita	1	68,04
	2	61,84
	3	61,86

5.2. ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO COM IMAGENS GEORREFERENCIADAS DE DRONE ATRAVÉS DO SOFTWARE ARCGIS

A Figura 5.10 e 5.11 ilustram, respectivamente, a evolução da cobertura do solo para o sítio e para o SAF, a distância temporal entre as imagens geradas por drone é de aproximadamente um ano e dois meses, visto que o primeiro levantamento aéreo ocorreu dia 22/01/2020 e outro no dia 13/03/2021. As diferenças de saturação das cores nas imagens ocorreram devido ao horário em que foram realizados os planos de voo, o primeiro foi por volta de 16:50, com

a luz do Sol mais dispersa e o segundo em torno de 12:47, com os raios solares mais perpendiculares à superfície.

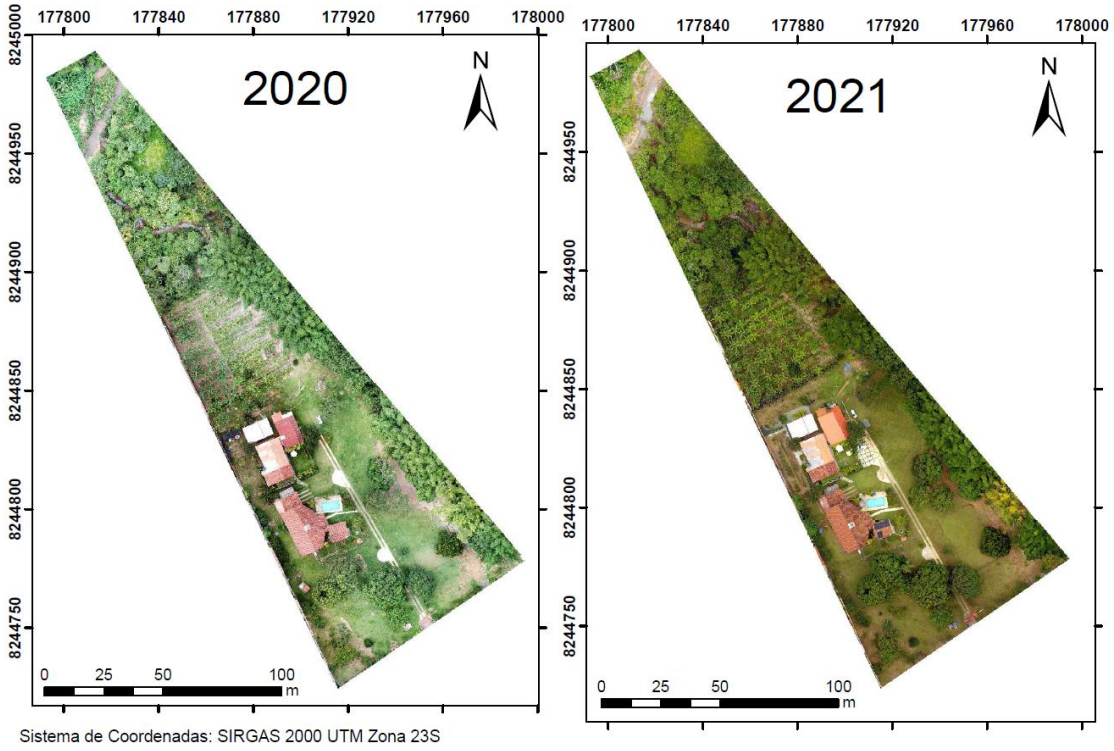


Figura 5.10 - Imagem de drone da evolução da cobertura do solo do Sítio Terra do Sol entre 2020 e 2021.

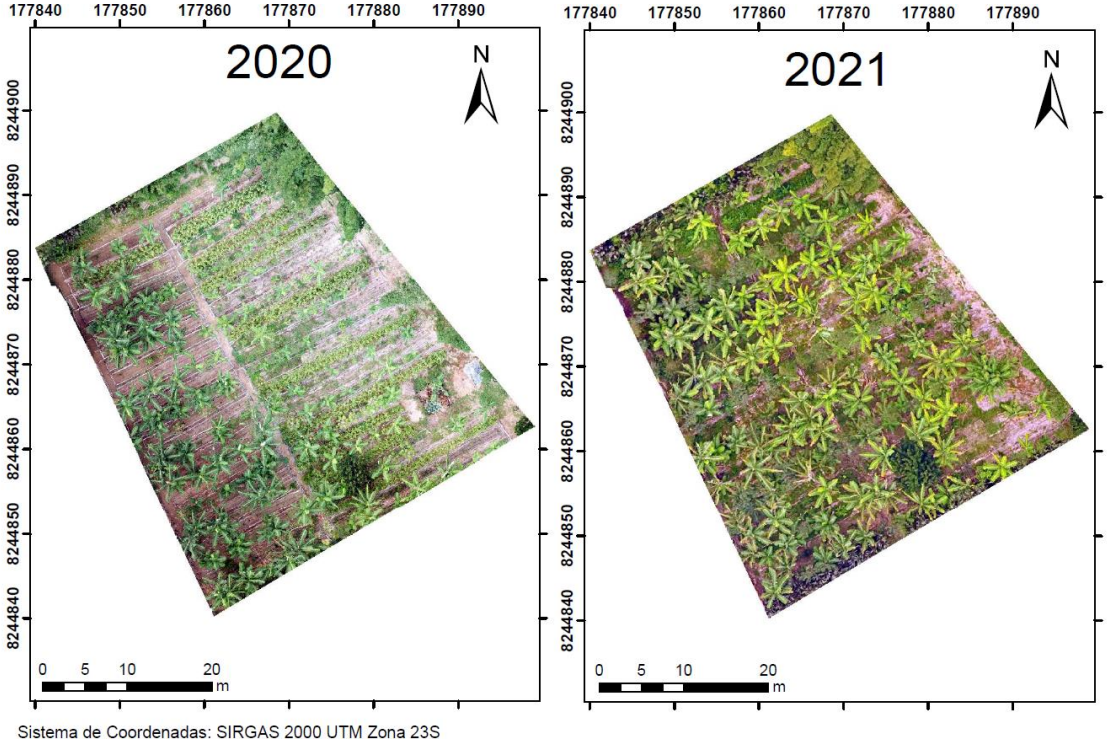


Figura 5.11 - Detalhamento da evolução da cobertura do solo do SAF entre 2020 e 2021.

A Figura 5.12 apresenta os mapas de uso e ocupação da área de estudo gerados com o *software* ArcGIS para ambos os anos analisados e com as classes adotadas no tópico 4.4 desse trabalho. Já a Figura 5.13 mostra o detalhamento desses mapas à nível do sistema agroflorestal do sítio.

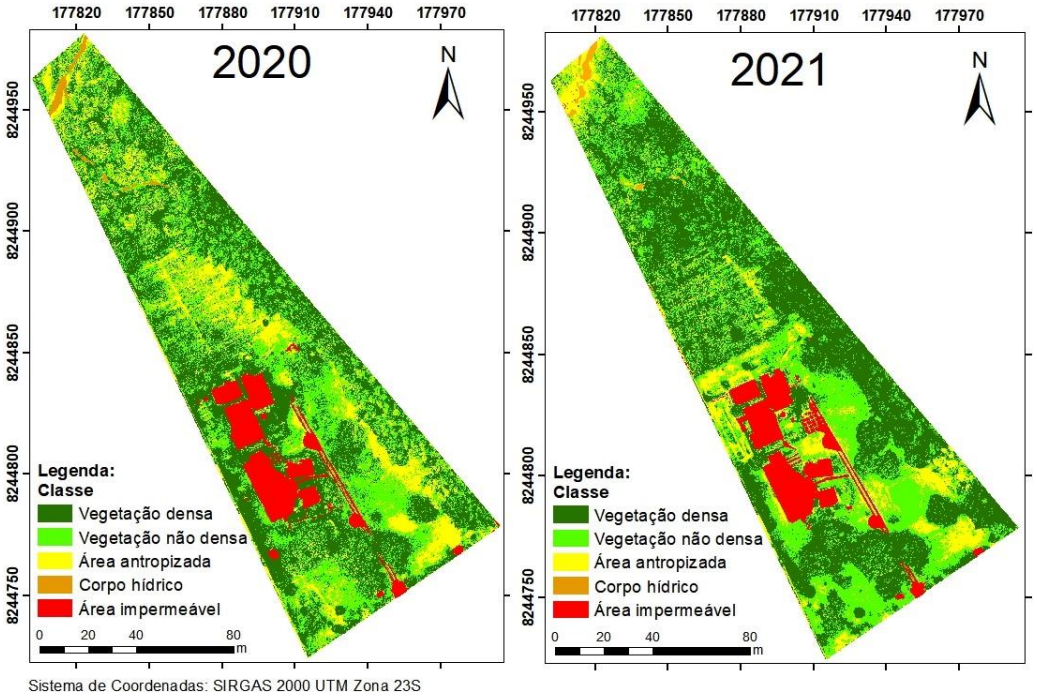


Figura 5.12 - Mapa de uso e ocupação do Sítio Terra do Sol para os anos de 2020 e 2021.

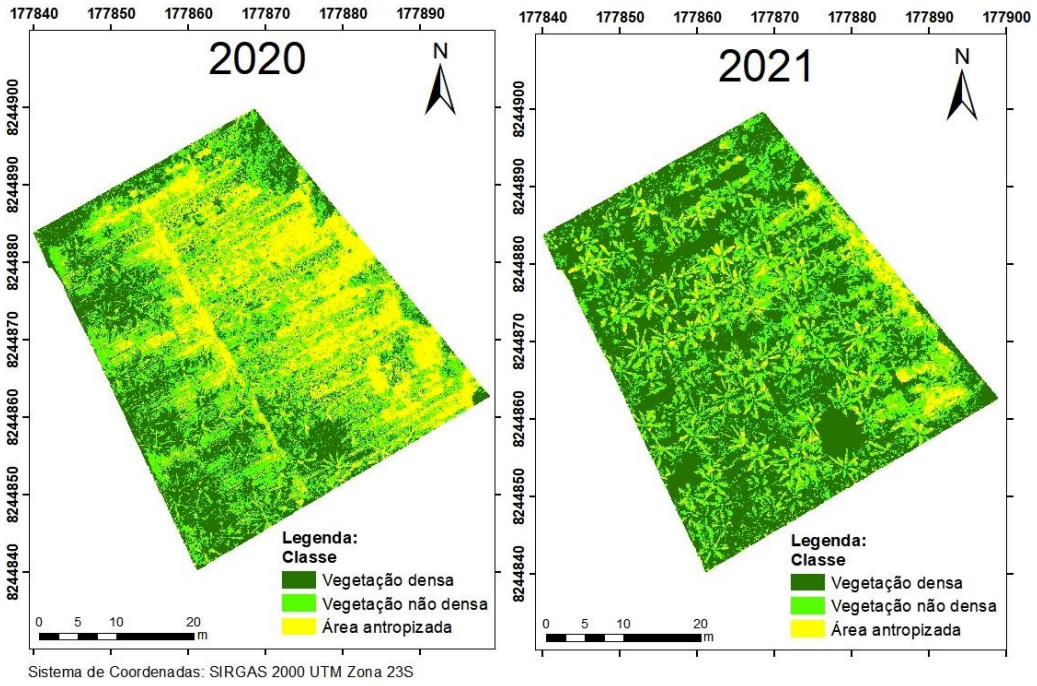


Figura 5.13 - Mapa de uso e ocupação com detalhamento do SAF para os anos de 2020 e 2021.

A Tabela 5.5 apresenta as áreas calculadas com o ArcGIS para cada classe de cobertura do solo da área de estudo para os dois anos analisados e suas respectivas variações em metros quadrados e em porcentagem para cada categoria. Já a Tabela 5.6 mostra esses valores referentes ao SAF.

Como pode ser observado na Figura 5.12 e constatado na Tabela 5.5, houve uma redução da área antropizada em metros quadrados que em sua maior parte deu lugar a coberturas vegetais, sendo essas densas ou não densas. Mesmo assim, a vegetação não densa permaneceu praticamente constante, pois ao mesmo tempo deu lugar à vegetação densa com o passar do tempo. Por esses motivos, a vegetação densa foi a categoria que apresentou um crescimento superior às outras. A maior parte dessa expansão da vegetação densa foi atribuída à área do sistema agroflorestal, que registrou um aumento de 26,86% dessa classe (Tabela 5.6). Praticamente metade da redução da área antropizada em metros quadrados ocorreu dentro dos limites da agrofloresta, onde se registrou um decréscimo de 21,41% (Tabela 5.6).

O corpo hídrico apresentou uma redução de superfície que provavelmente foi influenciada por dois fatores, o primeiro seria o aumento da densidade vegetal, que encobriu certas partes do curso hídrico e essas deixaram de ser detectáveis pela vista aérea. O segundo fator seria o assoreamento de frações do córrego, desencadeado pela atividade erosiva presente na linha de drenagem afluente. A área impermeável aumentou devido a algumas pavimentações e extensões das edificações realizadas.

Tabela 5.5 - Áreas referentes a cada classe de cobertura do solo da área de estudo para 2020 e 2021 e suas variações entre os dois anos.

Classe	Área 2020 (m²)	Área 2020 (%)	Área 2021 (m²)	Área 2021 (%)	Variação (m²)	Variação (%)
Vegetação densa	6994,45	43,49	7776,40	48,35	781,95	4,86
Vegetação não densa	5129,67	31,89	5126,26	31,87	-3,41	-0,02
Área antropizada	2673,67	16,62	1843,29	11,46	-830,38	-5,16
Corpo hídrico	81,11	0,50	37,22	0,23	-43,89	-0,27
Área impermeável	1205,91	7,50	1301,64	8,09	95,73	0,59
Total	16084,81	100,00	16084,81	100,00	-	-

Tabela 5.6 - Áreas referentes a cada classe de cobertura do solo do SAF para 2020 e 2021 e suas variações entre os dois anos.

Classe	Área 2020 (m²)	Área 2020 (%)	Área 2021 (m²)	Área 2021 (%)	Variação (m²)	Variação (%)
Vegetação densa	580,71	30,56	1091,07	57,42	510,35	26,86
Vegetação não densa	703,77	37,04	600,16	31,59	-103,62	-5,45
Área antropizada	615,52	32,40	208,77	10,99	-406,74	-21,41
Total	1900,00	100,00	1900,00	100,00	-	-

5.3. MÉTODO RACIONAL COM DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Foram calculadas as vazões de escoamento a partir das áreas de 2020, 2021 e do cenário hipotético explicitado no tópico 4.5; para esse último foram utilizados os valores apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Áreas das classes de cobertura do solo no cenário hipotético e suas porcentagens.

Classe	Área (m²)	Área (%)
Área impermeável	1205,91	7,50
Corpo hídrico	81,11	0,50
Área antropizada	4519,07	28,10
Vegetação não densa	8670,24	53,90
Vegetação densa	1608,48	10,00
Total	16084,81	100,00

A Tabela 5.8 mostra os valores de intensidade da chuva calculados pela equação IDF (Equação 4.4) para os tempos de retorno de 2 e 10 anos, com o tempo de duração de 10 minutos.

Tabela 5.8 - Valores de intensidade da chuva para tempos de retorno de 2 e 10 anos.

Tempo de retorno (anos)	2	10
Intensidade da chuva (mm/h)	123,22	171,93

A Tabela 5.9 apresenta os parâmetros encontrados e utilizados até se chegar aos coeficientes de escoamento superficial de cada cenário. Como utilizaram-se dois valores de precipitações totais de evento, um para o tempo de retorno de 2 anos e outro para 10 anos, obtiveram-se

também dois valores de precipitação efetiva e de coeficiente de escoamento superficial para cada cenário.

Como se pode observar na Tabela 5.9, as variações das classes entre os anos 2020 e 2021, citadas no tópico 5.2, não incorreram em uma diferenciação significativa do CN ponderado. Mesmo as maiores mudanças da superfície, de vegetação densa (aumento de 4,86%) e de área antropizada (redução de 5,16%), relativas a valores de CN destoantes, 70 e 91 respectivamente, a média ponderada não sofreu grandes alterações por representarem uma fração percentual pequena.

Porém, quando o CN ponderado é comparado com o cenário hipotético, que simula um terreno do mesmo tamanho com valores percentuais de vegetação densa menores, percebe-se um nítido crescimento dessa média.

As observações comparativas do valor de CN ponderado refletem as variações nos parâmetros seguintes, e a análise para os coeficientes de escoamento superficial é a mesma. Pode-se acrescentar que, para os mesmos cenários, houve um aumento, em média, de aproximadamente 23% para o valor do coeficiente de escoamento superficial entre os tempos de retorno de 2 e 10 anos.

Tabela 5.9 - Valores de CN ponderado, infiltração potencial, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento calculados para os tempos de retorno de 2 e 10 anos para cada cenário.

Tempo de retorno (anos)	2			10		
Cenário	Hipotético	2020	2021	Hipotético	2020	2021
CN ponderado	86,76	80,83	79,84	86,76	80,83	79,84
Infiltração potencial (mm)	38,74	60,23	64,15	38,74	60,23	64,15
Precipitação efetiva (mm)	38,33	28,39	26,91	62,79	50,22	48,26
Coeficiente de escoamento superficial	0,55	0,41	0,38	0,64	0,51	0,49

Por fim, a Tabela 5.10 mostra os valores de vazões obtidos pelo método racional (Equação 4.3) referentes aos tempos de retorno de 2 e 10 anos para os três cenários analisados e a Tabela 5.11 aponta as reduções ocorridas entre os cenários comparativos 2020-2021 e hipotético-2021 em litros por segundo e em porcentagem.

Como a intensidade da chuva e a área total consideradas permanecem constantes, o coeficiente de escoamento superficial é o responsável pela variação dos valores de vazões

calculados. Dessa maneira, verifica-se um padrão análogo ao observado na Tabela 5.9. Os valores de vazão entre os cenários 2020 e 2021 para ambos tempos de retorno são muito próximos (Tabela 5.10), com uma redução no cenário comparativo 2020-2021 de 5,21% para 2 anos e de 3,90% para 10 anos (Tabela 5.11). Essa variação é de ordem pequena, porém como o período observado é curto, apenas um ano, pode ser caracterizada como um decréscimo.

Ainda é importante salientar que o método racional e a utilização de coeficientes de escoamento estimados, não consideram com boa precisão a interceptação e a retenção da água da chuva pela vegetação. Efeitos esses que podem gerar um amortecimento do pico de cheia e achatamento da curva do hidrograma, de forma a beneficiar a drenagem da bacia (Pinto *et al.*, 1976).

Já entre os cenários hipotético e 2021, observa-se uma notável diferença de vazões (Tabela 5.10). Na Tabela 5.11, verifica-se que as variações das vazões para o cenário comparativo hipotético-2021 apresentam reduções significativas, de 29,80% para 2 anos de tempo de retorno e de 23,14% para 10 anos. Esse decréscimo está diretamente ligado ao crescimento da área de vegetação densa entre os dois cenários, que no hipotético era de 10% (Tabela 5.7) e passou para 48,35% (Tabela 5.5) em 2021, o que representa um aumento de 38,35%.

Tabela 5.10 - Valores de vazões calculados a partir do método racional para os tempos de retorno de 2 e 10 anos para cada cenário.

Tempo de retorno (anos)	2			10		
Cenário	Hipotético	2020	2021	Hipotético	2020	2021
Vazão (L/s)	301,66	223,40	211,75	494,15	395,22	379,82

Tabela 5.11 - Reduções de vazões calculadas para os tempos de retorno de 2 e 10 anos entre os cenários 2020-2021 e hipotético-2021.

Tempo de retorno (anos)	2		10	
Cenário comparativo	2020 - 2021	Hipotético - 2021	2020 - 2021	Hipotético - 2021
Redução de vazão (L/s)	11,64	89,90	15,40	114,33
Redução de vazão (%)	5,21	29,80	3,90	23,14

5.4. ENQUADRAMENTO DOS SAFS COMO MEDIDA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO DE ACORDO COM LEGISLAÇÃO DO DF

O Capítulo V, da Resolução 9 da ADASA que trata da redução da área impermeabilizada para o dimensionamento dos reservatórios de qualidade e quantidade, no caso de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos, e para reservatório de amortecimento, no caso de lançamento de águas pluviais na rede de drenagem pública, estabelece que essa redução poderá ocorrer com a instalação de outros medidas que favoreçam a infiltração de água no solo não citadas a serem avaliadas pela ADASA.

No caso da implementação dessas medidas alternativas, o usuário deverá apresentar à ADASA, dados que subsidiem a análise do percentual de área impermeável a ser reduzido. Porém, a Resolução não deixa claro exatamente quais dados seriam necessários para essa análise. Assim, afim de se sugerir o enquadramento de SAFs como outros instrumentos de infiltração, realizou-se a comparação desses com outras medidas que são abordadas pelo Capítulo V, como: trincheiras de infiltração (redução de até 80% das áreas drenadas para as trincheiras) e pavimentos permeáveis (redução de até 60% das áreas que utilizam esses pavimentos).

Como visto no tópico 5.1.1, os SAFs apresentam benefícios quanto à infiltração no mínimo similares à trincheira de infiltração observada por Puzzi (2015) e superiores aos pavimentos permeáveis experimentados por Moura (2005). Além disso, notou-se no item 5.3 que o acréscimo do percentual de área de vegetação densa pode reduzir a vazão de escoamento superficial no lote em questão.

A partir dessas observações, entendeu-se que, a depender das análises realizadas pela ADASA, os SAFs poderiam se enquadrar como medida de infiltração de água no solo, segundo previsto pelo Capítulo V, da Resolução nº 9, da ADASA, e assim possibilitarem uma certa porcentagem de redução da área impermeável para o dimensionamento dos reservatórios de qualidade, quantidade e amortecimento.

Constata-se a presença de condomínios residenciais oriundos de loteamentos em várias regiões do Distrito Federal, como por exemplo: Park Way; Jardim Botânico; Grande Colorado; Sobradinho e Arniqueira. Dessa maneira, uma estratégia interessante caso confirmado o enquadramento proposto, seria a implantação de SAFs nas áreas comuns desses condomínios, o que poderia reduzir substancialmente o volume dos reservatórios a serem instalados de forma a tornar opcional a inserção de sistemas de infiltração em cada lote individual, como prevê o Parágrafo 3º do artigo 5º da Lei Complementar nº 929.

6) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em geral, pôde-se verificar pelos ensaios em campo que os solos beneficiados com atividade agroflorestal são mais propícios à infiltração de água no solo em comparação àqueles sem beneficiamento para experimento realizado em um SAF de 0,19 ha localizado em um condomínio de 1,6 ha. Os valores de VIB observados nos canteiros do sistema agroflorestal do Sítio Terra do Sol apresentaram, no mínimo, um aumento 7,4 vezes em relação àqueles fora do SAF (relação entre o ponto de SAF com menor VIB e o externo ao SAF com maior VIB). Sendo excluído o Ponto 5, referente à um gramado que apresentou VIB mais alta, porém o mesmo já passou por atividade de reviramento do solo e plantio de espécies alimentícias antes do início da agrofloresta.

Ao se comparar as VIBs observadas no SAF com as verificadas em outros estudos para pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, nota-se que a agrofloresta sugere valores significativamente maiores em relação aos primeiros e pelo menos similares em relação às últimas.

As análises de uso e ocupação realizadas no ArcGIS entre 2020 e 2021 evidenciaram um crescimento alto de 26,86% da vegetação densa para a área do SAF, e a redução da área antropizada e da vegetação não densa em 21,41% e 5,45% respectivamente. Assim, como a agrofloresta em questão é jovem, com idade aproximada de 3 anos foi possível concluir que a evolução do SAF quanto a cobertura vegetal se dá em ritmo acelerado.

Concluiu-se também que o aumento da porcentagem de vegetação densa reduz a vazão de escoamento. Como observado, o aumento de 38,35% da área dessa classe entre o cenário hipotético e 2021, proporcionou uma redução da vazão do escoamento superficial de 29,80% para uma chuva e projeto com tempo de retorno de 2 anos e de 23,14% para 10 anos de tempo de retorno.

Dessa forma, entendeu-se que os Sistemas Agroflorestais são boas opções para promover a infiltração sustentável em um condomínio horizontal com as condições de contorno apontadas na descrição da área de estudo. Pois além de propiciar esse ingresso das águas pluviais no solo, trazem diversos outros benefícios ambientais e socioeconômicos como referenciado na fundamentação teórica desse trabalho. Alguns exemplos são as contribuições com: o conforto higrotérmico; a evapotranspiração; a redução de ilhas de calor; a paisagem; a qualidade do ar; a qualidade nutricional e estrutural dos solos; a geração de novos empregos; a educação ambiental e a saúde alimentar.

É importante a realização de outras pesquisas com diferentes condições de contorno para subsidiar melhor as análises. Mas os resultados desse trabalho mostram que os SAFs apresentam possibilidades extremamente positivas de beneficiamento, assim avaliou-se que a depender das análises realizadas pela ADASA, os SAFs podem ser incluídos como medidas viáveis de infiltração que podem reduzir o percentual de área impermeável a ser computado no cálculo de reservatórios que são exigidos em lotes em todo o DF para o lançamento de águas pluviais, seja em corpos hídricos ou no sistema público de drenagem. Além de surgir como possibilidades de utilização em outras áreas da drenagem, como por exemplo, em associação com bacias de retenção, sendo o planejamento dos canteiros executado de forma a criar barreiras físicas que otimizem o acúmulo e detenção de água em certos pontos.

Recomenda-se para pesquisas futuras repetir os experimentos de infiltração para diferentes condições de saturação do solo e para SAFs com idade mais avançada. Sugere-se também para trabalhos futuros a quantificação dos benefícios higrotérmicos da área gerados pelos SAFs, como aponta a bibliografia. Outro ponto interessante, seria avaliar a evolução da cobertura do SAF em um intervalo de tempo maior. Por fim, recomenda-se analisar e valorar os serviços ambientais promovidos pelos Sistemas Agrofloretais no que se refere à água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos. ABNT NBR 16416:2015. Rio de Janeiro, RJ.~

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Resolução n.º 9, de 8 de abril de 2011. *Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados.* DOE-DF, Brasília, DF, 11 abril 2011.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2018). Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal. ADASA, Brasília, DF.

Agisoft. (2021). Agisoft Metashape user manual: professional edition, version 1.7. Agisoft LLC. 180p.

Alencar, L.D. e Cardoso, J.C. (2015). "Paisagismo funcional: o uso de projetos que integram mais que ornamentação." *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, **1**(1), 1-7.

Altieri, M. (2015). *Agroecology: Key Concepts, Principles and Practices*. Third World Network & SOCLA, Malásia, 46p.

Aquino, A.M. e Assis, R.L. (2007). "Agricultura orgânica em áreas urbanas e periurbanas com base na agroecologia." *Ambiente & Sociedade*, **X**(1), Campinas, SP, 137-150.

Azevedo, L.F. e Netto, T.A. (2015). "Agroecologia: o 'caminho' para o desenvolvimento rural sustentável no processo de extensão rural." *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, **19**(3), 639-645.

Barbosa Junior, A.P. (2019). *Drenagem urbana sustentável: estudo de caso no setor habitacional d de Taguatinga sul - DF*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93p.

Barreto, W.S. (2016). *Agricultura urbana e periurbana em Dourados, MS*. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 24p.

Barrios, E.; Gemmil-Herren, B.; Bicksler, A.; Siliprandi, E.; Brathwaite, R.; Moller, S.; Batello, C. e Tittonell, P. (2020). "The 10 elements of agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives." *Ecosystems and People*, **16**(1), 230-247.

Braga, B.; Hespanhol, I.; Lotufo Conejo, J.G.; Mierzwa, J.C.; Barros, M.T.L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N. e Eiger, S. (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável*. 2ª ed., Prentice Hall, São Paulo, 318p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n.º 429, de 28 de fevereiro de 2011. *Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente - APPs.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 março 2011.

BRASIL. Congresso Nacional. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 906/2015. *Institui a Política Nacional de Agricultura Urbana e dá outras providências.* Brasília, DF, 2015.

Cahill, T.H. (2012). *Low Impact Development and Sustainable Stormwater Management.* John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, E.U.A., 312p.

Caldeira, P.Y.C. e Chaves, R.B. (2011). *Sistemas Agroflorestais em Espaços Protegidos*. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, São Paulo, SP, 36 p.

Câmara, G.; Davis, C. e Monteiro, A.M.V. (2001). *Introdução à ciência da geoinformação*. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos, SP, 345 p.

Camuzzi, V.T.M. (2017). *Avaliação da drenagem urbana no Riacho Fundo*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98p.

Carvalho, N.L. e Barcellos, A.L. (2018). "Educação ambiental: importância na preservação dos solos e da água." *Revista Monografias Ambientais*, **16**(2), 34-51.

Chahar, B.R.; Graillot, D. e Gaur. S. (2012). "Storm-water management through Infiltration trenches." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* American Society of Civil Engineers, **138** (3), 274-281.

Collischonn, W. e Dornelles, F. (2013). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.* ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, 350p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979a). *Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro, RJ, 83p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979b). *Manual de métodos de análise de solo*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro, RJ, 235p.

ESRI. (2005). ArcGIS 9: Getting Started With ArcGIS. ESRI, Nova Iorque, Estados Unidos, 265p.

Fetter, C.W. (2014). *Applied Hydrogeology: Pearson New International Edition*. 4ª ed., Pearson Education, Harlow, Reino Unido, 616p

Freitas, E.P.; Cinquni, J.A. e Moraes, J.F.L. (2011). "Mapeamento do uso e ocupação do solo do município de Campo Limpo Paulista/SP e estado das APPs." *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 184-190, Curitiba, PR, Brasil.

GDF - Governo do Distrito Federal. (2009). Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal. Secretaria de Obras do DF, Brasília, DF.

GDF - Governo do Distrito Federal. Câmara Legislativa do Distrito Federal. Lei Complementar nº 929, de julho de 2017. *Dispõe sobre dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias e empreendimentos localizados no Distrito Federal e dá outras providências.* Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 1 agosto 2017.

Götsch, E. (1996). *O Renascer da Agricultura.* 2ªed., Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, Rio de Janeiro, RJ, 24p.

Götsch, E. (1997). *Homem e Natureza: Cultura na Agricultura.* 2ªed., Centro Sabiá, Recife, PE, 12p.

Guimarães, H.M.A.; Cristo, S.S.V.; Paixão, R.B. e Santiago, A.M.A. (2012). "Educação ambiental: nossos solos, nossa vida." *Educação Ambiental em Ação,* nº 41, **11**(3). Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1270>. Acesso em: 12/11/2020.

Hecht, S. (1999). "La evolución del pensamiento agroecológico." Altieri, M.A. *Agroecologia: Bases Científicas para uma Agricultura Sustentable*. Nordan Comunidad, Montevidéu, Uruguai, 15-30.

Kazay, D.F. e Oliveira, L.A. (2014). *Avaliação da capacidade de infiltração e do pagamento por serviços ambientais em sistemas agroflorestais sucessionais: o caso da Cooperafloresta*. Projeto de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 168p.

Lawall, S. (2010). *Modificações na hidrologia dos solos em resposta as alterações de uso e cobertura na bacia hidrográfica do Bonfim, região serrana do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 197p.

Leal, I.F. (2011). *Classificação e mapeamento física-hídricos de solos do assentamento agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim - RJ.* Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 126p.

Lin, H.; Bouma, J.; Pachepsky, Y.; Western, A.; Thompson, J.; van Genuchten, R.; Vogel, H.-J. e Lilly A. (2006). "Hydropedology: synergistic integration of pedology and hydrology." *Water Resources Research*, **42**(5), 13p.

Lovelock, J. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford University Press, Inglaterra, 157p.

May, P.H.; Trovatto, C.M.M.; Deitenbach, A.; Floriani, G.S.; Dubois, J.C.L. e Vivan, J.L. (2008). *Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica*. Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, Brasília, DF, 196p.

Melo, T.A.T.; Coutinho, A.P.; Cabral, J.J.S.P.; Antonino, A.C.D. e Cirilo, J.A. (2014). "Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas." *Ambiente Construído*, **14**(4), Porto Alegre, RS, 147-165.

Melo, T.A.T.; Coutinho, A.P.; Santos, J.B.F.; Cabral, J.J.S.P.; Antonino, A.C.D. e Lassabatere, L. (2016). "Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas." *Ambiente Construído*, **16** (3), Porto Alegre, RS, 53-72.

Miccolis, A.; Peneireiro, F.M.; Marques, H.R.; Vieira, D.L.M.; Arco-Verde, M.F.; Hoffmann, M.R.; Rehder, T. e Pereira, A.V.B. (2016). *Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como Conciliar Conservação com Produção, Opções para Cerrado e Caatinga*. ICRAF, Brasília, DF, 266 p.

Mota, M.B.R.; Manzanares, M.D. e Silva, R.A.L. (2006). "Viabilidade de reutilização de água para vasos sanitários." *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, **2**(2). Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/>. Acesso em: 12/11/2020.

Moura, T.A.M. (2005). *Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.

Nair, P.K.R. (1984). "Tropical agroforestry systems and practices." Furtado, J.I. e Ruddle, K. *Tropical Resource Ecology and Development*. John Wiley, Chichester, Inglaterra, 39p.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. Decisão da Diretoria Colegiada em sessão extraordinária n.º 4284ª, de 30 de janeiro de 2017. *Normatiza os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados.* DODF nº26, Brasília, DF, 06 fevereiro 2017.

NYDF Assessment Partners. (2019). “Protecting and restoring forests: a story of large commitments yet limited progress.” *New York Declaration on Forests Five-Year Assessment Report*. Climate Focus. Disponível em: <https://forestdeclaration.org/>. Acesso em 05/11/2020.

Oliveira, M.F. e Braga, E.M. (2018). “Estudo do coeficiente de run-off no processo de urbanização, trecho localizado no bairro de flores, município de Manaus.” *Anais do V Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia – CONTECC*, Vol. 1, Civil, 126, Maceió, AL, Brasil.

Ottoni, M.V. (2005). *Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 141p.

Pasini, F.S. (2017). *A agricultura sintrópica de Ernst Götsch: história, fundamentos e seu nicho no universo da agricultura sustentável*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 104p.

Peneireiro, F.M. (1999). *Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 138p.

Pinto, N.L.S.; Holtz, A.C.T.; Martins, J.A. e Gomide, F.L.S. (1976) *Hidrologia Básica*. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP, 278p.

Porto, R.M. (2003). “Metodologia de cálculo para o planejamento de bacias de detenção”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **8**(3), 135-149.

Primavesi, A. (1980). *O Manejo Ecológico do Solo: Agricultura em Regiões Tropicais.* 2 ed., Nobel, São Paulo, SP, 541p.

Primavesi, A. (2009). *Cartilha do Solo: Como Reconhecer e Sanar seus Problemas*. MST, São Paulo, SP, 68p.

Puzzi, L.C.M. (2015). *Trincheiras de infiltração: experimento da aplicação na área da UTFPR – Câmpus Londrina*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, 58p.

Reatto, A.; Martins, E.S.; Farias, M.F.R.; Silva, A.V. e Carvalho Júnior O.A. (2004). *Mapa pedológico digital: SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 31p.

Reichardt, K. (1987). *A Água em Sistemas Agrícolas*. Manole, São Paulo, SP, 188p.

Renner, R.M.; Bittencourt, S.M.; Oliveira, E.B. e Radomski, M.I. (2010). *Programa Mata Ciliar no Estado do Paraná: Comportamento de Espécies Florestais Plantadas*. Embrapa Florestas, Colombo, PR, 38 p.

Ribeiro, G.P. (2005). *Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro*. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 215p.

Ribeiro, K.A.; Padovan, M.P. e Feiden, A. (2019). "Avaliação da estrutura de solos sob sistemas agroflorestais biodiversos na região oeste do Paraná." *Revista GeoPantanal,* **14**(26), Corumbá, MS, 49-65.

Richards, J.A. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. 5 ed., Springer, Berlim, Alemanha, 494p.

Righetto, A.M. (2009). *Manejo De Águas Pluviais Urbanas*. Projeto PROSAB, Editora ABES, Rio de Janeiro, RJ, 396p.

Santandreu, A. e Lovo, I.C. (2007). *Panorama da Agricultura Urbana e Periurbana no Brasil e Diretrizes Políticas para sua Promoção: Identificação e Caracterização de Iniciativas de AUP em Regiões Metropolitanas Brasileiras*. FAO/MDS/SESAN/DPSD, Belo Horizonte, MG, 89p.

SÃO PAULO. (2011). *Cadernos de Educação Ambiental: Agricultura Sustentável*. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, SP, 76p.

Sartori, A.; Neto, F.L. e Genovez, A.M. (2005). "Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte 1: classificação." *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos,* **10**(4), Porto Alegre, RS, 05-18.

Shiklomanov, I.A. (1998). *World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century. A Summary of the Monograph: World Water Resources*. Unesco, Paris, France, 37p.

Shiklomanov, I.A. e Rodda, J.C. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge University Press, Reino Unido, 435p.

Silva, H.A. (2006). "Os problemas fundiários do Distrito Federal." Mundo Jurídico. São Paulo, SP. Disponível em: <https://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/29839-29855-1-PB.pdf>. Acesso em 26/05/2021.

SINGAPURA. (2018). *Active, Beautiful, Clean Waters Design Guidelines*. 4ªed., PUB - Public Utilities Board, Singapura, 108p.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. (2002). Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba-PR. CH2M Hill, Curitiba, PR.

Tominaga, E.N.S. (2013). *Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 137p.

TOPOCART. (2013). Estudo de impacto ambiental: Setor Habitacional Arniqueira. TERRACAP, Brasília, DF.

Tucci, C.E.M. (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação.* 2 ed., Editora da Universidade UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS, 943p.

Tucci, C.E.M. (2005). *Gestão de Águas Pluviais Urbanas*. Ministério das Cidades, Brasília, DF, 270p.

Tucci, C.E.M. (2008). "Águas urbanas." *Estudos Avançados*, **22(**63), 97-112.

Tucci, C.E.M. (2016). "Regulamentação da drenagem urbana no Brasil." *REGA*, **13(**1), Porto Alegre, RS, 29-42.

Tucci, C.E.M. e Mendes, C.A. (2006). *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.* Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 302p.

Vargas, A.C.V.; Werneck, B.R. e Ferreira, M.I.P. (2008). "Controle de cheias urbanas." *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego,* **2**(2), Campo dos Goytacazes, RJ, 107-132.

Vaz da Silva, P.F. (2002). *Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 98p.

Veiga, J.E.; Abramovay, R. e Ehlers, E. (2003). "Em direção a uma agricultura mais sustentável." Ribeiro, W.C. *Patrimônio Ambiental Brasileiro*. EDUSP/IMESP, São Paulo, SP, 305-333.

Villela, S.M. e Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada.* McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP, 245p.

Woods Ballard, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Ashley, R. e Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. CIRIA, Londres, 968p.

Zampronio, G.B. (2009). *Integração de técnicas para apoio à gestão de sistemas de drenagem urbana aplicada a uma bacia hidrográfica no município do Rio de Janeiro.* Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 145p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DADOS REGISTRADOS NO ENSAIO DE INFILTRAÇÃO UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DOS GRÁFICOS

As seguintes tabelas indicam os valores de tempo registrados durante o ensaio de infiltração de duplo anel e os parâmetros utilizados para a confecção dos gráficos apresentados no tópico 5.1 deste trabalho. Sendo: t1, o tempo de enchimento até a marca de 14cm; t2, o tempo de esvaziamento até a marca de 12cm; tmed, o tempo médio entre a marca de 14cm e 12cm; V, a velocidade de infiltração e I a infiltração acumulada.

Tabela A.1 - Dados de infiltração no Ponto 1

Ponto 1	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:01:00	00:01:45	60	105	82,50	1,38	00:45	45	160,00	20
2	00:01:56	00:02:19	116	139	127,50	2,13	00:23	23	313,04	40
3	00:02:31	00:02:56	151	176	163,50	2,73	00:25	25	288,00	60
4	00:03:03	00:03:31	183	211	197,00	3,28	00:28	28	257,14	80
5	00:03:37	00:04:03	217	243	230,00	3,83	00:26	26	276,92	100
6	00:04:09	00:04:39	249	279	264,00	4,40	00:30	30	240,00	120
7	00:04:48	00:05:10	288	310	299,00	4,98	00:22	22	327,27	140
8	00:05:16	00:05:44	316	344	330,00	5,50	00:28	28	257,14	160
9	00:05:50	00:06:14	350	374	362,00	6,03	00:24	24	300,00	180
10	00:06:20	00:06:46	380	406	393,00	6,55	00:26	26	276,92	200
11	00:06:55	00:07:20	415	440	427,50	7,13	00:25	25	288,00	220
12	00:07:28	00:07:56	448	476	462,00	7,70	00:28	28	257,14	240
13	00:08:03	00:08:27	483	507	495,00	8,25	00:24	24	300,00	260
14	00:08:52	00:09:25	532	565	548,50	9,14	00:33	33	218,18	280
15	00:10:01	00:10:30	601	630	615,50	10,26	00:29	29	248,28	300
16	00:10:42	00:11:09	642	669	655,50	10,93	00:27	27	266,67	320
17	00:11:19	00:11:51	679	711	695,00	11,58	00:32	32	225,00	340
18	00:11:56	00:12:30	716	750	733,00	12,22	00:34	34	211,76	360
19	00:12:39	00:13:05	759	785	772,00	12,87	00:26	26	276,92	380
20	00:13:13	00:13:43	793	823	808,00	13,47	00:30	30	240,00	400
21	00:13:52	00:14:22	832	862	847,00	14,12	00:30	30	240,00	420
22	00:14:29	00:14:56	869	896	882,50	14,71	00:27	27	266,67	440
23	00:15:02	00:15:39	902	939	920,50	15,34	00:37	37	194,59	460
24	00:15:46	00:16:15	946	975	960,50	16,01	00:29	29	248,28	480
25	00:16:22	00:16:50	982	1010	996,00	16,60	00:28	28	257,14	500
26	00:16:57	00:17:26	1017	1046	1031,50	17,19	00:29	29	248,28	520
27	00:17:36	00:18:01	1056	1081	1068,50	17,81	00:25	25	288,00	540
28	00:18:07	00:18:33	1087	1113	1100,00	18,33	00:26	26	276,92	560
29	00:18:40	00:19:09	1120	1149	1134,50	18,91	00:29	29	248,28	580
30	00:19:15	00:19:52	1155	1192	1173,50	19,56	00:37	37	194,59	600
31	00:19:56	00:20:35	1196	1235	1215,50	20,26	00:39	39	184,62	620
32	00:20:44	00:21:13	1244	1273	1258,50	20,98	00:29	29	248,28	640

33	00:21:22	00:21:56	1282	1316	1299,00	21,65	00:34	34	211,76	660
34	00:22:00	00:22:33	1320	1353	1336,50	22,28	00:33	33	218,18	680
35	00:22:38	00:23:11	1358	1391	1374,50	22,91	00:33	33	218,18	700
36	00:23:18	00:23:49	1398	1429	1413,50	23,56	00:31	31	232,26	720
37	00:23:56	00:24:31	1436	1471	1453,50	24,23	00:35	35	205,71	740
38	00:24:38	00:25:09	1478	1509	1493,50	24,89	00:31	31	232,26	760
39	00:25:18	00:25:44	1518	1544	1531,00	25,52	00:26	26	276,92	780
40	00:25:51	00:26:20	1551	1580	1565,50	26,09	00:29	29	248,28	800
41	00:26:28	00:26:59	1588	1619	1603,50	26,73	00:31	31	232,26	820
42	00:27:06	00:27:33	1626	1653	1639,50	27,33	00:27	27	266,67	840
43	00:27:42	00:28:09	1662	1689	1675,50	27,93	00:27	27	266,67	860
44	00:28:20	00:28:49	1700	1729	1714,50	28,58	00:29	29	248,28	880
45	00:29:00	00:29:30	1740	1770	1755,00	29,25	00:30	30	240,00	900
46	00:29:37	00:30:07	1777	1807	1792,00	29,87	00:30	30	240,00	920
47	00:30:15	00:30:45	1815	1845	1830,00	30,50	00:30	30	240,00	940
48	00:30:53	00:31:25	1853	1885	1869,00	31,15	00:32	32	225,00	960
49	00:31:33	00:32:03	1893	1923	1908,00	31,80	00:30	30	240,00	980
50	00:32:11	00:32:42	1931	1962	1946,50	32,44	00:31	31	232,26	1000
51	00:32:51	00:33:24	1971	2004	1987,50	33,13	00:33	33	218,18	1020
52	00:33:34	00:34:04	2014	2044	2029,00	33,82	00:30	30	240,00	1040
53	00:34:09	00:34:40	2049	2080	2064,50	34,41	00:31	31	232,26	1060
54	00:34:48	00:35:19	2088	2119	2103,50	35,06	00:31	31	232,26	1080
55	00:35:27	00:35:59	2127	2159	2143,00	35,72	00:32	32	225,00	1100
56	00:36:09	00:36:41	2169	2201	2185,00	36,42	00:32	32	225,00	1120
57	00:36:49	00:37:21	2209	2241	2225,00	37,08	00:32	32	225,00	1140
58	00:37:55	00:38:28	2275	2308	2291,50	38,19	00:33	33	218,18	1160
59	00:38:39	00:39:09	2319	2349	2334,00	38,90	00:30	30	240,00	1180
60	00:39:18	00:39:57	2358	2397	2377,50	39,63	00:39	39	184,62	1200
61	00:40:02	00:40:33	2402	2433	2417,50	40,29	00:31	31	232,26	1220
62	00:40:42	00:41:16	2442	2476	2459,00	40,98	00:34	34	211,76	1240
63	00:41:27	00:41:59	2487	2519	2503,00	41,72	00:32	32	225,00	1260
64	00:42:09	00:42:42	2529	2562	2545,50	42,43	00:33	33	218,18	1280
65	00:42:55	00:43:28	2575	2608	2591,50	43,19	00:33	33	218,18	1300
66	00:43:39	00:44:17	2619	2657	2638,00	43,97	00:38	38	189,47	1320
67	00:44:28	00:45:02	2668	2702	2685,00	44,75	00:34	34	211,76	1340
68	00:45:13	00:45:47	2713	2747	2730,00	45,50	00:34	34	211,76	1360
69	00:45:56	00:46:29	2756	2789	2772,50	46,21	00:33	33	218,18	1380
70	00:46:39	00:47:12	2799	2832	2815,50	46,93	00:33	33	218,18	1400
71	00:47:23	00:47:53	2843	2873	2858,00	47,63	00:30	30	240,00	1420
72	00:48:01	00:48:35	2881	2915	2898,00	48,30	00:34	34	211,76	1440
73	00:48:46	00:49:22	2926	2962	2944,00	49,07	00:36	36	200,00	1460
74	00:49:31	00:50:06	2971	3006	2988,50	49,81	00:35	35	205,71	1480
75	00:50:17	00:50:49	3017	3049	3033,00	50,55	00:32	32	225,00	1500
76	00:51:00	00:51:38	3060	3098	3079,00	51,32	00:38	38	189,47	1520
77	00:51:45	00:52:23	3105	3143	3124,00	52,07	00:38	38	189,47	1540
78	00:52:33	00:53:09	3153	3189	3171,00	52,85	00:36	36	200,00	1560

79	00:53:17	00:53:52	3197	3232	3214,50	53,58	00:35	35	205,71	1580
80	00:53:59	00:54:37	3239	3277	3258,00	54,30	00:38	38	189,47	1600
81	00:54:47	00:55:23	3287	3323	3305,00	55,08	00:36	36	200,00	1620
82	00:55:31	00:56:05	3331	3365	3348,00	55,80	00:34	34	211,76	1640
83	00:56:14	00:56:50	3374	3410	3392,00	56,53	00:36	36	200,00	1660
84	00:56:58	00:57:33	3418	3453	3435,50	57,26	00:35	35	205,71	1680
85	00:57:41	00:58:19	3461	3499	3480,00	58,00	00:38	38	189,47	1700
86	00:58:27	00:59:02	3507	3542	3524,50	58,74	00:35	35	205,71	1720
87	00:59:10	00:59:47	3550	3587	3568,50	59,48	00:37	37	194,59	1740
88	00:59:54	01:00:31	3594	3631	3612,50	60,21	00:37	37	194,59	1760
89	01:00:38	01:01:13	3638	3673	3655,50	60,93	00:35	35	205,71	1780
90	01:01:22	01:01:59	3682	3719	3700,50	61,68	00:37	37	194,59	1800

Tabela A.2 - Dados de infiltração no Ponto 2

Ponto 2	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:14	00:01:05	14	65	39,50	0,66	00:51	51	141,18	20
2	00:01:11	00:02:11	71	131	101,00	1,68	01:00	60	120,00	40
3	00:02:18	00:03:21	138	201	169,50	2,83	01:03	63	114,29	60
4	00:03:32	00:04:20	212	260	236,00	3,93	00:48	48	150,00	80
5	00:04:30	00:05:17	270	317	293,50	4,89	00:47	47	153,19	100
6	00:05:24	00:06:19	324	379	351,50	5,86	00:55	55	130,91	120
7	00:06:29	00:07:31	389	451	420,00	7,00	01:02	62	116,13	140
8	00:07:41	00:08:47	461	527	494,00	8,23	01:06	66	109,09	160
9	00:08:58	00:09:56	538	596	567,00	9,45	00:58	58	124,14	180
10	00:10:04	00:11:04	604	664	634,00	10,57	01:00	60	120,00	200
11	00:11:14	00:12:15	674	735	704,50	11,74	01:01	61	118,03	220
12	00:12:40	00:13:37	760	817	788,50	13,14	00:57	57	126,32	240
13	00:13:56	00:14:52	836	892	864,00	14,40	00:56	56	128,57	260
14	00:15:00	00:15:59	900	959	929,50	15,49	00:59	59	122,03	280
15	00:16:08	00:17:06	968	1026	997,00	16,62	00:58	58	124,14	300
16	00:17:17	00:18:19	1037	1099	1068,00	17,80	01:02	62	116,13	320
17	00:18:28	00:19:27	1108	1167	1137,50	18,96	00:59	59	122,03	340
18	00:19:35	00:20:39	1175	1239	1207,00	20,12	01:04	64	112,50	360
19	00:20:51	00:21:50	1251	1310	1280,50	21,34	00:59	59	122,03	380
20	00:21:58	00:23:06	1318	1386	1352,00	22,53	01:08	68	105,88	400
21	00:23:15	00:24:26	1395	1466	1430,50	23,84	01:11	71	101,41	420
22	00:24:37	00:25:40	1477	1540	1508,50	25,14	01:03	63	114,29	440
23	00:25:49	00:26:56	1549	1616	1582,50	26,38	01:07	67	107,46	460
24	00:27:05	00:28:05	1625	1685	1655,00	27,58	01:00	60	120,00	480
25	00:28:12	00:29:20	1692	1760	1726,00	28,77	01:08	68	105,88	500
26	00:29:25	00:30:28	1765	1828	1796,50	29,94	01:03	63	114,29	520
27	00:30:35	00:31:41	1835	1901	1868,00	31,13	01:06	66	109,09	540
28	00:31:50	00:32:57	1910	1977	1943,50	32,39	01:07	67	107,46	560
29	00:33:03	00:33:52	1983	2032	2007,50	33,46	00:49	49	146,94	580
30	00:33:58	00:35:03	2038	2103	2070,50	34,51	01:05	65	110,77	600

31	00:35:10	00:36:05	2110	2165	2137,50	35,63	00:55	55	130,91	620
32	00:36:15	00:37:26	2175	2246	2210,50	36,84	01:11	71	101,41	640
33	00:37:34	00:38:35	2254	2315	2284,50	38,08	01:01	61	118,03	660
34	00:38:39	00:39:47	2319	2387	2353,00	39,22	01:08	68	105,88	680
35	00:39:53	00:41:05	2393	2465	2429,00	40,48	01:12	72	100,00	700
36	00:41:14	00:42:21	2474	2541	2507,50	41,79	01:07	67	107,46	720
37	00:42:27	00:43:39	2547	2619	2583,00	43,05	01:12	72	100,00	740
38	00:43:44	00:44:55	2624	2695	2659,50	44,33	01:11	71	101,41	760
39	00:45:01	00:46:12	2701	2772	2736,50	45,61	01:11	71	101,41	780
40	00:46:21	00:47:39	2781	2859	2820,00	47,00	01:18	78	92,31	800
41	00:47:45	00:48:59	2865	2939	2902,00	48,37	01:14	74	97,30	820
42	00:49:02	00:50:15	2942	3015	2978,50	49,64	01:13	73	98,63	840
43	00:50:25	00:51:25	3025	3085	3055,00	50,92	01:00	60	120,00	860
44	00:51:32	00:52:33	3092	3153	3122,50	52,04	01:01	61	118,03	880
45	00:52:38	00:53:43	3158	3223	3190,50	53,18	01:05	65	110,77	900
46	00:53:50	00:54:58	3230	3298	3264,00	54,40	01:08	68	105,88	920
47	00:55:11	00:56:12	3311	3372	3341,50	55,69	01:01	61	118,03	940
48	00:56:23	00:57:29	3383	3449	3416,00	56,93	01:06	66	109,09	960
49	00:57:33	00:58:43	3453	3523	3488,00	58,13	01:10	70	102,86	980
50	00:58:47	00:59:49	3527	3589	3558,00	59,30	01:02	62	116,13	1000
51	00:59:53	01:01:09	3593	3669	3631,00	60,52	01:16	76	94,74	1020
52	01:01:13	01:02:27	3673	3747	3710,00	61,83	01:14	74	97,30	1040
53	01:02:36	01:03:52	3756	3832	3794,00	63,23	01:16	76	94,74	1060
54	01:03:59	01:05:01	3839	3901	3870,00	64,50	01:02	62	116,13	1080
55	01:05:06	01:05:58	3906	3958	3932,00	65,53	00:52	52	138,46	1100
56	01:06:05	01:07:09	3965	4029	3997,00	66,62	01:04	64	112,50	1120
57	01:07:14	01:08:35	4034	4115	4074,50	67,91	01:21	81	88,89	1140
58	01:08:42	01:09:47	4122	4187	4154,50	69,24	01:05	65	110,77	1160
59	01:09:55	01:11:11	4195	4271	4233,00	70,55	01:16	76	94,74	1180
60	01:11:17	01:12:27	4277	4347	4312,00	71,87	01:10	70	102,86	1200
61	01:12:32	01:13:45	4352	4425	4388,50	73,14	01:13	73	98,63	1220
62	01:13:51	01:14:55	4431	4495	4463,00	74,38	01:04	64	112,50	1240
63	01:15:03	01:16:07	4503	4567	4535,00	75,58	01:04	64	112,50	1260
64	01:16:12	01:17:17	4572	4637	4604,50	76,74	01:05	65	110,77	1280
65	01:17:23	01:18:32	4643	4712	4677,50	77,96	01:09	69	104,35	1300
66	01:18:39	01:19:41	4719	4781	4750,00	79,17	01:02	62	116,13	1320
67	01:19:45	01:21:00	4785	4860	4822,50	80,38	01:15	75	96,00	1340
68	01:21:08	01:22:25	4868	4945	4906,50	81,78	01:17	77	93,51	1360
69	01:22:30	01:23:38	4950	5018	4984,00	83,07	01:08	68	105,88	1380
70	01:23:43	01:24:45	5023	5085	5054,00	84,23	01:02	62	116,13	1400
71	01:24:49	01:25:50	5089	5150	5119,50	85,33	01:01	61	118,03	1420
72	01:25:59	01:27:01	5159	5221	5190,00	86,50	01:02	62	116,13	1440
73	01:27:05	01:28:06	5225	5286	5255,50	87,59	01:01	61	118,03	1460
74	01:28:12	01:29:13	5292	5353	5322,50	88,71	01:01	61	118,03	1480
75	01:29:20	01:30:29	5360	5429	5394,50	89,91	01:09	69	104,35	1500
76	01:30:35	01:31:42	5435	5502	5468,50	91,14	01:07	67	107,46	1520

77	01:31:47	01:32:55	5507	5575	5541,00	92,35	01:08	68	105,88	1540
78	01:33:02	01:34:09	5582	5649	5615,50	93,59	01:07	67	107,46	1560
79	01:34:14	01:35:24	5654	5724	5689,00	94,82	01:10	70	102,86	1580
80	01:35:34	01:36:54	5734	5814	5774,00	96,23	01:20	80	90,00	1600
81	01:36:59	01:38:18	5819	5898	5858,50	97,64	01:19	79	91,14	1620
82	01:38:25	01:39:39	5905	5979	5942,00	99,03	01:14	74	97,30	1640
83	01:39:44	01:41:08	5984	6068	6026,00	100,43	01:24	84	85,71	1660
84	01:41:12	01:42:27	6072	6147	6109,50	101,83	01:15	75	96,00	1680
85	01:42:31	01:43:46	6151	6226	6188,50	103,14	01:15	75	96,00	1700
86	01:43:52	01:45:14	6232	6314	6273,00	104,55	01:22	82	87,80	1720
87	01:45:18	01:46:27	6318	6387	6352,50	105,88	01:09	69	104,35	1740
88	01:46:30	01:47:54	6390	6474	6432,00	107,20	01:24	84	85,71	1760
89	01:47:58	01:49:19	6478	6559	6518,50	108,64	01:21	81	88,89	1780
90	01:49:24	01:50:38	6564	6638	6601,00	110,02	01:14	74	97,30	1800

Tabela A.3 - Dados de infiltração no Ponto 4

Ponto 4	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:09	00:00:21	9	21	15,00	0,25	00:12	12	600,00	20
2	00:00:29	00:00:42	29	42	35,50	0,59	00:13	13	553,85	40
3	00:00:53	00:01:07	53	67	60,00	1,00	00:14	14	514,29	60
4	00:01:10	00:01:35	70	95	82,50	1,38	00:25	25	288,00	80
5	00:01:42	00:02:04	102	124	113,00	1,88	00:22	22	327,27	100
6	00:02:13	00:02:33	133	153	143,00	2,38	00:20	20	360,00	120
7	00:02:38	00:02:57	158	177	167,50	2,79	00:19	19	378,95	140
8	00:03:02	00:03:32	182	212	197,00	3,28	00:30	30	240,00	160
9	00:03:40	00:04:07	220	247	233,50	3,89	00:27	27	266,67	180
10	00:04:16	00:04:37	256	277	266,50	4,44	00:21	21	342,86	200
11	00:04:43	00:05:08	283	308	295,50	4,93	00:25	25	288,00	220
12	00:05:20	00:05:42	320	342	331,00	5,52	00:22	22	327,27	240
13	00:05:57	00:06:21	357	381	369,00	6,15	00:24	24	300,00	260
14	00:06:26	00:06:55	386	415	400,50	6,68	00:29	29	248,28	280
15	00:07:01	00:07:35	421	455	438,00	7,30	00:34	34	211,76	300
16	00:07:41	00:08:20	461	500	480,50	8,01	00:39	39	184,62	320
17	00:08:28	00:08:58	508	538	523,00	8,72	00:30	30	240,00	340
18	00:09:02	00:09:39	542	579	560,50	9,34	00:37	37	194,59	360
19	00:09:45	00:10:14	585	614	599,50	9,99	00:29	29	248,28	380
20	00:10:20	00:10:52	620	652	636,00	10,60	00:32	32	225,00	400
21	00:10:56	00:11:30	656	690	673,00	11,22	00:34	34	211,76	420
22	00:11:39	00:12:01	699	721	710,00	11,83	00:22	22	327,27	440
23	00:12:04	00:12:34	724	754	739,00	12,32	00:30	30	240,00	460

Tabela A.4 - Dados de infiltração no Ponto 5

Ponto 5	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:17	00:00:58	17	58	37,50	0,63	00:41	41	175,61	20
2	00:01:04	00:01:42	64	102	83,00	1,38	00:38	38	189,47	40
3	00:01:48	00:02:32	108	152	130,00	2,17	00:44	44	163,64	60
4	00:02:38	00:03:19	158	199	178,50	2,98	00:41	41	175,61	80
5	00:03:25	00:04:06	205	246	225,50	3,76	00:41	41	175,61	100
6	00:04:12	00:04:52	252	292	272,00	4,53	00:40	40	180,00	120
7	00:04:58	00:05:36	298	336	317,00	5,28	00:38	38	189,47	140
8	00:05:44	00:06:26	344	386	365,00	6,08	00:42	42	171,43	160
9	00:06:31	00:07:08	391	428	409,50	6,83	00:37	37	194,59	180
10	00:07:15	00:07:56	435	476	455,50	7,59	00:41	41	175,61	200
11	00:08:02	00:08:52	482	532	507,00	8,45	00:50	50	144,00	220
12	00:08:58	00:09:42	538	582	560,00	9,33	00:44	44	163,64	240
13	00:09:46	00:10:25	586	625	605,50	10,09	00:39	39	184,62	260
14	00:10:30	00:11:16	630	676	653,00	10,88	00:46	46	156,52	280
15	00:11:21	00:12:12	681	732	706,50	11,78	00:51	51	141,18	300
16	00:12:18	00:13:03	738	783	760,50	12,68	00:45	45	160,00	320
17	00:13:08	00:13:54	788	834	811,00	13,52	00:46	46	156,52	340
18	00:13:59	00:14:39	839	879	859,00	14,32	00:40	40	180,00	360
19	00:14:45	00:15:39	885	939	912,00	15,20	00:54	54	133,33	380
20	00:15:44	00:16:29	944	989	966,50	16,11	00:45	45	160,00	400
21	00:16:36	00:17:26	996	1046	1021,00	17,02	00:50	50	144,00	420
22	00:17:32	00:18:19	1052	1099	1075,50	17,93	00:47	47	153,19	440
23	00:18:25	00:19:10	1105	1150	1127,50	18,79	00:45	45	160,00	460
24	00:19:28	00:20:16	1168	1216	1192,00	19,87	00:48	48	150,00	480
25	00:20:21	00:21:17	1221	1277	1249,00	20,82	00:56	56	128,57	500
26	00:21:21	00:21:56	1281	1316	1298,50	21,64	00:35	35	205,71	520
27	00:22:01	00:22:49	1321	1369	1345,00	22,42	00:48	48	150,00	540
28	00:22:55	00:23:50	1375	1430	1402,50	23,38	00:55	55	130,91	560
29	00:23:59	00:24:49	1439	1489	1464,00	24,40	00:50	50	144,00	580
30	00:24:55	00:25:44	1495	1544	1519,50	25,33	00:49	49	146,94	600
31	00:25:50	00:26:38	1550	1598	1574,00	26,23	00:48	48	150,00	620
32	00:26:44	00:27:32	1604	1652	1628,00	27,13	00:48	48	150,00	640
33	00:27:36	00:28:25	1656	1705	1680,50	28,01	00:49	49	146,94	660
34	00:28:32	00:29:19	1712	1759	1735,50	28,93	00:47	47	153,19	680
35	00:29:22	00:30:06	1762	1806	1784,00	29,73	00:44	44	163,64	700
36	00:30:10	00:31:00	1810	1860	1835,00	30,58	00:50	50	144,00	720
37	00:31:06	00:31:53	1866	1913	1889,50	31,49	00:47	47	153,19	740
38	00:31:57	00:32:59	1917	1979	1948,00	32,47	01:02	62	116,13	760
39	00:33:05	00:33:48	1985	2028	2006,50	33,44	00:43	43	167,44	780
40	00:33:54	00:34:48	2034	2088	2061,00	34,35	00:54	54	133,33	800
41	00:34:51	00:35:42	2091	2142	2116,50	35,28	00:51	51	141,18	820
42	00:35:49	00:36:36	2149	2196	2172,50	36,21	00:47	47	153,19	840
43	00:36:42	00:37:33	2202	2253	2227,50	37,13	00:51	51	141,18	860

44	00:37:38	00:38:22	2258	2302	2280,00	38,00	00:44	44	163,64	880
45	00:38:27	00:39:16	2307	2356	2331,50	38,86	00:49	49	146,94	900
46	00:39:23	00:40:12	2363	2412	2387,50	39,79	00:49	49	146,94	920
47	00:40:16	00:41:12	2416	2472	2444,00	40,73	00:56	56	128,57	940
48	00:41:16	00:42:06	2476	2526	2501,00	41,68	00:50	50	144,00	960
49	00:42:11	00:43:04	2531	2584	2557,50	42,63	00:53	53	135,85	980
50	00:43:08	00:43:58	2588	2638	2613,00	43,55	00:50	50	144,00	1000
51	00:44:03	00:44:53	2643	2693	2668,00	44,47	00:50	50	144,00	1020
52	00:44:57	00:45:52	2697	2752	2724,50	45,41	00:55	55	130,91	1040
53	00:45:56	00:46:50	2756	2810	2783,00	46,38	00:54	54	133,33	1060
54	00:46:54	00:47:47	2814	2867	2840,50	47,34	00:53	53	135,85	1080
55	00:47:51	00:48:46	2871	2926	2898,50	48,31	00:55	55	130,91	1100
56	00:48:50	00:49:47	2930	2987	2958,50	49,31	00:57	57	126,32	1120
57	00:49:50	00:50:47	2990	3047	3018,50	50,31	00:57	57	126,32	1140
58	00:50:50	00:51:49	3050	3109	3079,50	51,33	00:59	59	122,03	1160
59	00:51:52	00:52:40	3112	3160	3136,00	52,27	00:48	48	150,00	1180
60	00:52:45	00:53:40	3165	3220	3192,50	53,21	00:55	55	130,91	1200
61	00:53:43	00:54:37	3223	3277	3250,00	54,17	00:54	54	133,33	1220
62	00:54:40	00:55:38	3280	3338	3309,00	55,15	00:58	58	124,14	1240
63	00:55:41	00:56:30	3341	3390	3365,50	56,09	00:49	49	146,94	1260
64	00:56:34	00:57:30	3394	3450	3422,00	57,03	00:56	56	128,57	1280
65	00:57:33	00:58:31	3453	3511	3482,00	58,03	00:58	58	124,14	1300
66	00:58:34	00:59:31	3514	3571	3542,50	59,04	00:57	57	126,32	1320
67	00:59:35	01:00:29	3575	3629	3602,00	60,03	00:54	54	133,33	1340
68	01:00:34	01:01:30	3634	3690	3662,00	61,03	00:56	56	128,57	1360
69	01:01:33	01:02:28	3693	3748	3720,50	62,01	00:55	55	130,91	1380
70	01:02:31	01:03:23	3751	3803	3777,00	62,95	00:52	52	138,46	1400
71	01:03:25	01:04:23	3805	3863	3834,00	63,90	00:58	58	124,14	1420
72	01:04:25	01:05:25	3865	3925	3895,00	64,92	01:00	60	120,00	1440
73	01:05:28	01:06:21	3928	3981	3954,50	65,91	00:53	53	135,85	1460
74	01:06:23	01:07:25	3983	4045	4014,00	66,90	01:02	62	116,13	1480
75	01:07:36	01:08:39	4056	4119	4087,50	68,13	01:03	63	114,29	1500
76	01:08:41	01:09:37	4121	4177	4149,00	69,15	00:56	56	128,57	1520
77	01:09:40	01:10:38	4180	4238	4209,00	70,15	00:58	58	124,14	1540
78	01:10:43	01:11:35	4243	4295	4269,00	71,15	00:52	52	138,46	1560
79	01:11:38	01:12:41	4298	4361	4329,50	72,16	01:03	63	114,29	1580
80	01:12:44	01:13:43	4364	4423	4393,50	73,23	00:59	59	122,03	1600
81	01:13:48	01:14:35	4428	4475	4451,50	74,19	00:47	47	153,19	1620
82	01:14:41	01:15:32	4481	4532	4506,50	75,11	00:51	51	141,18	1640
83	01:15:35	01:16:30	4535	4590	4562,50	76,04	00:55	55	130,91	1660
84	01:16:32	01:17:28	4592	4648	4620,00	77,00	00:56	56	128,57	1680
85	01:17:31	01:18:28	4651	4708	4679,50	77,99	00:57	57	126,32	1700
86	01:18:31	01:19:26	4711	4766	4738,50	78,98	00:55	55	130,91	1720
87	01:19:29	01:20:27	4769	4827	4798,00	79,97	00:58	58	124,14	1740
88	01:20:29	01:21:35	4829	4895	4862,00	81,03	01:06	66	109,09	1760
89	01:21:38	01:22:34	4898	4954	4926,00	82,10	00:56	56	128,57	1780

90	01:22:37	01:23:29	4957	5009	4983,00	83,05	00:52	52	138,46	1800

Tabela A.5 - Dados de infiltração no Ponto 6

Ponto 6	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:21	00:00:49	21	49	35,00	0,58	00:28	28	257,14	20
2	00:00:52	00:01:21	52	81	66,50	1,11	00:29	29	248,28	40
3	00:01:26	00:02:02	86	122	104,00	1,73	00:36	36	200,00	60
4	00:02:08	00:02:43	128	163	145,50	2,43	00:35	35	205,71	80
5	00:02:56	00:03:34	176	214	195,00	3,25	00:38	38	189,47	100
6	00:03:44	00:04:19	224	259	241,50	4,03	00:35	35	205,71	120
7	00:04:25	00:05:04	265	304	284,50	4,74	00:39	39	184,62	140
8	00:05:13	00:05:52	313	352	332,50	5,54	00:39	39	184,62	160
9	00:06:03	00:06:40	363	400	381,50	6,36	00:37	37	194,59	180
10	00:06:53	00:07:33	413	453	433,00	7,22	00:40	40	180,00	200
11	00:07:38	00:08:15	458	495	476,50	7,94	00:37	37	194,59	220
12	00:08:20	00:09:03	500	543	521,50	8,69	00:43	43	167,44	240
13	00:09:10	00:09:52	550	592	571,00	9,52	00:42	42	171,43	260
14	00:10:08	00:10:52	608	652	630,00	10,50	00:44	44	163,64	280
15	00:11:01	00:11:44	661	704	682,50	11,38	00:43	43	167,44	300
16	00:11:49	00:12:32	709	752	730,50	12,18	00:43	43	167,44	320
17	00:12:34	00:13:18	754	798	776,00	12,93	00:44	44	163,64	340
18	00:13:20	00:14:04	800	844	822,00	13,70	00:44	44	163,64	360
19	00:14:08	00:14:53	848	893	870,50	14,51	00:45	45	160,00	380
20	00:15:00	00:15:44	900	944	922,00	15,37	00:44	44	163,64	400
21	00:15:48	00:16:32	948	992	970,00	16,17	00:44	44	163,64	420
22	00:16:40	00:17:20	1000	1040	1020,00	17,00	00:40	40	180,00	440
23	00:17:26	00:18:13	1046	1093	1069,50	17,83	00:47	47	153,19	460
24	00:18:19	00:19:09	1099	1149	1124,00	18,73	00:50	50	144,00	480
25	00:19:19	00:20:08	1159	1208	1183,50	19,73	00:49	49	146,94	500
26	00:20:15	00:20:58	1215	1258	1236,50	20,61	00:43	43	167,44	520
27	00:21:04	00:21:50	1264	1310	1287,00	21,45	00:46	46	156,52	540
28	00:22:15	00:23:02	1335	1382	1358,50	22,64	00:47	47	153,19	560
29	00:23:07	00:23:53	1387	1433	1410,00	23,50	00:46	46	156,52	580
30	00:24:09	00:24:54	1449	1494	1471,50	24,53	00:45	45	160,00	600
31	00:24:59	00:25:45	1499	1545	1522,00	25,37	00:46	46	156,52	620
32	00:25:51	00:26:39	1551	1599	1575,00	26,25	00:48	48	150,00	640
33	00:26:49	00:27:38	1609	1658	1633,50	27,23	00:49	49	146,94	660
34	00:27:47	00:28:34	1667	1714	1690,50	28,18	00:47	47	153,19	680
35	00:28:42	00:29:31	1722	1771	1746,50	29,11	00:49	49	146,94	700
36	00:29:37	00:30:26	1777	1826	1801,50	30,03	00:49	49	146,94	720
37	00:30:35	00:31:26	1835	1886	1860,50	31,01	00:51	51	141,18	740
38	00:31:37	00:32:26	1897	1946	1921,50	32,03	00:49	49	146,94	760
39	00:32:32	00:33:19	1952	1999	1975,50	32,93	00:47	47	153,19	780
40	00:33:25	00:34:14	2005	2054	2029,50	33,83	00:49	49	146,94	800
41	00:34:23	00:35:13	2063	2113	2088,00	34,80	00:50	50	144,00	820

42	00:35:20	00:36:14	2120	2174	2147,00	35,78	00:54	54	133,33	840
43	00:36:22	00:37:19	2182	2239	2210,50	36,84	00:57	57	126,32	860
44	00:37:26	00:38:16	2246	2296	2271,00	37,85	00:50	50	144,00	880
45	00:38:24	00:39:14	2304	2354	2329,00	38,82	00:50	50	144,00	900
46	00:39:23	00:40:15	2363	2415	2389,00	39,82	00:52	52	138,46	920
47	00:40:19	00:41:11	2419	2471	2445,00	40,75	00:52	52	138,46	940
48	00:41:16	00:42:05	2476	2525	2500,50	41,68	00:49	49	146,94	960
49	00:42:11	00:43:05	2531	2585	2558,00	42,63	00:54	54	133,33	980
50	00:43:11	00:44:08	2591	2648	2619,50	43,66	00:57	57	126,32	1000
51	00:44:16	00:45:11	2656	2711	2683,50	44,73	00:55	55	130,91	1020
52	00:45:17	00:46:15	2717	2775	2746,00	45,77	00:58	58	124,14	1040
53	00:46:22	00:47:20	2782	2840	2811,00	46,85	00:58	58	124,14	1060
54	00:47:28	00:48:24	2848	2904	2876,00	47,93	00:56	56	128,57	1080
55	00:48:32	00:49:28	2912	2968	2940,00	49,00	00:56	56	128,57	1100
56	00:49:39	00:50:36	2979	3036	3007,50	50,13	00:57	57	126,32	1120
57	00:50:42	00:51:33	3042	3093	3067,50	51,13	00:51	51	141,18	1140
58	00:51:47	00:52:41	3107	3161	3134,00	52,23	00:54	54	133,33	1160
59	00:52:49	00:53:41	3169	3221	3195,00	53,25	00:52	52	138,46	1180
60	00:53:47	00:54:42	3227	3282	3254,50	54,24	00:55	55	130,91	1200
61	00:54:49	00:55:44	3289	3344	3316,50	55,28	00:55	55	130,91	1220
62	00:55:51	00:56:46	3351	3406	3378,50	56,31	00:55	55	130,91	1240
63	00:56:55	00:57:49	3415	3469	3442,00	57,37	00:54	54	133,33	1260
64	00:57:57	00:58:55	3477	3535	3506,00	58,43	00:58	58	124,14	1280
65	00:59:09	01:00:06	3549	3606	3577,50	59,63	00:57	57	126,32	1300
66	01:00:13	01:01:09	3613	3669	3641,00	60,68	00:56	56	128,57	1320
67	01:01:15	01:02:09	3675	3729	3702,00	61,70	00:54	54	133,33	1340
68	01:02:18	01:03:18	3738	3798	3768,00	62,80	01:00	60	120,00	1360
69	01:03:29	01:04:25	3809	3865	3837,00	63,95	00:56	56	128,57	1380
70	01:04:32	01:05:27	3872	3927	3899,50	64,99	00:55	55	130,91	1400
71	01:05:33	01:06:31	3933	3991	3962,00	66,03	00:58	58	124,14	1420
72	01:06:39	01:07:37	3999	4057	4028,00	67,13	00:58	58	124,14	1440
73	01:07:45	01:08:42	4065	4122	4093,50	68,23	00:57	57	126,32	1460
74	01:08:47	01:09:48	4127	4188	4157,50	69,29	01:01	61	118,03	1480
75	01:09:54	01:10:52	4194	4252	4223,00	70,38	00:58	58	124,14	1500
76	01:10:59	01:11:55	4259	4315	4287,00	71,45	00:56	56	128,57	1520
77	01:11:58	01:12:51	4318	4371	4344,50	72,41	00:53	53	135,85	1540
78	01:13:01	01:13:58	4381	4438	4409,50	73,49	00:57	57	126,32	1560
79	01:14:04	01:15:01	4444	4501	4472,50	74,54	00:57	57	126,32	1580
80	01:15:06	01:16:03	4506	4563	4534,50	75,58	00:57	57	126,32	1600
81	01:16:07	01:17:04	4567	4624	4595,50	76,59	00:57	57	126,32	1620
82	01:17:10	01:18:09	4630	4689	4659,50	77,66	00:59	59	122,03	1640
83	01:18:18	01:19:14	4698	4754	4726,00	78,77	00:56	56	128,57	1660
84	01:19:21	01:20:20	4761	4820	4790,50	79,84	00:59	59	122,03	1680
85	01:20:25	01:21:27	4825	4887	4856,00	80,93	01:02	62	116,13	1700
86	01:21:37	01:22:35	4897	4955	4926,00	82,10	00:58	58	124,14	1720
87	01:22:41	01:23:40	4961	5020	4990,50	83,18	00:59	59	122,03	1740

88	01:23:53	01:24:55	5033	5095	5064,00	84,40	01:02	62	116,13	1760
89	01:25:07	01:26:07	5107	5167	5137,00	85,62	01:00	60	120,00	1780
90	01:26:16	01:27:15	5176	5235	5205,50	86,76	00:59	59	122,03	1800

Tabela A.6 - Dados de infiltração no Ponto 7

Ponto 7	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:22	00:09:58	22	598	310,00	5,17	09:36	576	12,50	20
2	00:10:08	00:19:48	608	1188	898,00	14,97	09:40	580	12,41	40
3	00:19:57	00:30:12	1197	1812	1504,50	25,08	10:15	615	11,71	60
4	00:30:21	00:40:37	1821	2437	2129,00	35,48	10:16	616	11,69	80
5	00:40:53	00:48:00	2453	2880	2666,50	44,44	07:07	427	16,86	100
6	00:48:11	00:57:23	2891	3443	3167,00	52,78	09:12	552	13,04	120
7	00:57:30	01:06:42	3450	4002	3726,00	62,10	09:12	552	13,04	140
8	01:06:53	01:16:50	4013	4610	4311,50	71,86	09:57	597	12,06	160
9	01:17:12	01:26:32	4632	5192	4912,00	81,87	09:20	560	12,86	180
10	01:26:46	01:35:36	5206	5736	5471,00	91,18	08:50	530	13,58	200
11	01:36:30	01:45:56	5790	6356	6073,00	101,22	09:26	566	12,72	220

Tabela A.7 - Dados de infiltração no Ponto 8

Ponto 8	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:18	00:02:55	18	175	96,50	1,61	02:37	157	45,86	20
2	00:03:07	00:07:29	187	449	318,00	5,30	04:22	262	27,48	40
3	00:07:36	00:12:42	456	762	609,00	10,15	05:06	306	23,53	60
4	00:12:48	00:18:23	768	1103	935,50	15,59	05:35	335	21,49	80
5	00:18:30	00:24:02	1110	1442	1276,00	21,27	05:32	332	21,69	100
6	00:24:18	00:31:30	1458	1890	1674,00	27,90	07:12	432	16,67	120
7	00:31:37	00:38:47	1897	2327	2112,00	35,20	07:10	430	16,74	140
8	00:38:54	00:45:44	2334	2744	2539,00	42,32	06:50	410	17,56	160
9	00:45:51	00:52:46	2751	3166	2958,50	49,31	06:55	415	17,35	180
10	00:52:52	00:59:40	3172	3580	3376,00	56,27	06:48	408	17,65	200
11	00:59:43	01:08:03	3583	4083	3833,00	63,88	08:20	500	14,40	220
12	01:08:25	01:16:36	4105	4596	4350,50	72,51	08:11	491	14,66	240
13	01:16:49	01:25:23	4609	5123	4866,00	81,10	08:34	514	14,01	260
14	01:25:28	01:34:13	5128	5653	5390,50	89,84	08:45	525	13,71	280
15	01:34:19	01:43:58	5659	6238	5948,50	99,14	09:39	579	12,44	300

Tabela A.8 - Dados de infiltração no Ponto 9

Ponto 9	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:26	00:04:59	26	299	162,50	2,71	04:33	273	26,37	20
2	00:05:09	00:12:02	309	722	515,50	8,59	06:53	413	17,43	40
3	00:12:23	00:19:53	743	1193	968,00	16,13	07:30	450	16,00	60
4	00:20:12	00:28:22	1212	1702	1457,00	24,28	08:10	490	14,69	80
5	00:28:33	00:37:20	1713	2240	1976,50	32,94	08:47	527	13,66	100
6	00:37:40	00:45:50	2260	2750	2505,00	41,75	08:10	490	14,69	120
7	00:46:09	00:54:53	2769	3293	3031,00	50,52	08:44	524	13,74	140
8	00:55:14	01:04:35	3314	3875	3594,50	59,91	09:21	561	12,83	160
9	01:05:37	01:15:25	3937	4525	4231,00	70,52	09:48	588	12,24	180
10	01:15:42	01:24:37	4542	5077	4809,50	80,16	08:55	535	13,46	200
11	01:24:49	01:34:28	5089	5668	5378,50	89,64	09:39	579	12,44	220
12	01:34:33	01:44:01	5673	6241	5957,00	99,28	09:28	568	12,68	240
13	01:44:56	01:53:58	6296	6838	6567,00	109,45	09:02	542	13,28	260

Tabela A.9 - Dados de infiltração no Ponto 10

Ponto 10	t1 (14cm)	t2 (12cm)	t1(s)	t2(s)	tmed (s)	tmed (min)	Δt2-t1	Δt2-t1 (s)	V (cm/h)	I (mm)
1	00:00:33	00:07:56	33	476	254,50	4,24	07:23	443	16,25	20
2	00:08:12	00:16:59	492	1019	755,50	12,59	08:47	527	13,66	40
3	00:17:24	00:26:17	1044	1577	1310,50	21,84	08:53	533	13,51	60
4	00:26:39	00:36:10	1599	2170	1884,50	31,41	09:31	571	12,61	80
5	00:36:32	00:46:15	2192	2775	2483,50	41,39	09:43	583	12,35	100
6	00:46:28	00:56:09	2788	3369	3078,50	51,31	09:41	581	12,39	120
7	00:56:18	01:06:05	3378	3965	3671,50	61,19	09:47	587	12,27	140
8	01:06:18	01:16:21	3978	4581	4279,50	71,33	10:03	603	11,94	160
9	01:16:42	01:26:54	4602	5214	4908,00	81,80	10:12	612	11,76	180
10	01:27:12	01:37:20	5232	5840	5536,00	92,27	10:08	608	11,84	200
11	01:37:39	01:48:08	5859	6488	6173,50	102,89	10:29	629	11,45	220
12	01:48:39	01:58:09	6519	7089	6804,00	113,40	09:30	570	12,63	240