

para  
**Texto**

# discussão

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

Vitor Mendonça Aviani Ribeiro

nº 83/dezembro de 2023

ISSN 2446-7502

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

Vitor Mendonça Aviani Ribeiro<sup>1</sup>

Brasília-DF, Dezembro de 2023

---

<sup>1</sup> Vitor Mendonça Aviani Ribeiro - Engenheiro Ambiental de formação pela Universidade de Brasília (UnB) e Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

---

## Texto para Discussão

Veículo de divulgação de conhecimento, análises e informações, sobre desenvolvimento econômico, social, político, gestão e política públicas, com foco no Distrito Federal, na Área Metropolitana de Brasília (AMB) e na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE) e estudos comparados mais amplos, envolvendo os casos acima.

Os textos devem seguir as regras da [Resolução 143/2015](#), que regem o Comitê Editorial da Codeplan, e não poderão evidenciar interesses econômicos, político-partidários, conteúdo publicitário ou de patrocinador. As opiniões contidas nos trabalhos publicados na série Texto para Discussão são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, de qualquer maneira, o ponto de vista da Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan.

É permitida a reprodução parcial dos textos e dos dados neles contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são proibidas.

---

Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan

Texto para Discussão

TD - n. 83 (2023) - . - Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2023.

n. 83, dezembro, 29,7 cm.

Periodicidade irregular.

**ISSN 2446-7502**

1. Desenvolvimento econômico-social. 2. Políticas Públicas  
3. Área Metropolitana de Brasília (AMB). 4. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE).  
I. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. II. Codeplan.

---

CDU 338 (817.4)

---

**GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL**

**Ibaneis Rocha**  
Governador

**Paco Britto**  
Vice-Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DE ECONOMIA DO DISTRITO FEDERAL**

**José Itamar Feitosa**  
Secretário

**COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL - CODEPLAN**

**Jeansley Lima**  
Presidente

**Sônia Gontijo Chagas Gonzaga**  
Diretora Administrativa e Financeira

**Renata Florentino de Faria Santos**  
Diretora de Estudos Urbanos e Ambientais

**Daienne Amaral Machado**  
Diretora de Estudos e Políticas Sociais

**Clarissa Jahns Schlabit**  
Diretora de Estudos e Pesquisas Socioeconômicas

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho não seria possível sem a ajuda do Orientador: Arthur Tavares Schleicher,<sup>2</sup> assim como do Coorientador: Atman Coutinho Solino.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Mestre das Ciências (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - ENC/Universidade de Brasília - UnB).

<sup>3</sup> Engenheiro Ambiental e gerente de meio ambiente e saneamento na Neoconstec Consultoria Técnica.

## 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 (SAF) 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 Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (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, os resultados, com 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.

# SUMÁRIO

## RESUMO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos .....	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1. Hidrologia e águas urbanas .....	12
3.1.1. Infiltração .....	12
3.1.2. Sistema de drenagem urbano .....	12
3.1.3. Cheias urbanas .....	13
3.1.4. Técnicas compensatórias.....	13
3.1.5. Legislação pertinente .....	13
3.2. Agroecologia .....	14
3.2.1. Beneficiamento do solo .....	15
3.3. Sistemas Agroflorestais.....	15
3.3.1. Agricultura Sintrópica, Princípios e Fundamentos .....	15
4. METODOLOGIA .....	17
4.1. Caracterização da área de estudo .....	18
4.2. Ensaio de infiltração em campo .....	21
4.3. Processamento de imagens georreferenciadas de drones por meio do software <i>agisoft metashape</i> .....	26
4.4. Análise de uso e ocupação com imagens georreferenciadas de drone através do software <i>ARCGIS</i> .....	27
4.5. Método racional com determinação do coeficiente de escoamento superficial .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
5.1. Ensaio de infiltração em campo .....	31
5.1.1. Comparação das taxas de infiltração com outros dispositivos.....	38
5.2. Análise de uso e ocupação com imagens georreferenciadas de drone por meio do software <i>ARCGIS</i> .....	38
5.3. Método racional com determinação do coeficiente de escoamento superficial .....	42
5.4. Enquadramento dos SAFs como medida de infiltração de água no solo de acordo com legislação do Distrito Federal .....	44
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47



## 1. INTRODUÇÃO

Do século XX foram herdados os modelos socioeconômicos baseados na expansão da mancha urbana, no consumo exacerbado e conseqüente 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 em média, 26,1 milhões de hectares de cobertura de árvores em 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 reduzida em virtude da redução do volume infiltrado (CHAHAR *et al.*, 2012). No Distrito Federal, essa pressão e o elevado valor imobiliário da terra gerado pela especulação, são pontos que influenciam a problemática da grilagem de terras (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 visam mitigar esses problemas oriundos da urbanização são baseadas em técnicas compensatórias (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 caminha nesse sentido e apresenta algumas alternativas como o manejo de Sistemas Agroflorestais (SAFs), que buscam 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).

A 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 (SANTANDREU e LOVO, 2007).

O Distrito Federal possui certas 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 600 m<sup>2</sup>. Essas legislações citam que outras medidas de infiltração são 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 Distrito Federal como instrumentos de manejo ecológico das águas pluviais, atrelados à sua essência macro sustentável.

Na fundamentação teórica, foram abordados conceitos recorrentes acerca da temática e dos benefícios que envolvem os Sistemas Agroflorestais e como eles impactam diferentes âmbitos da sustentabilidade. No capítulo posterior, foi apresentada a metodologia aplicada, com os parâmetros e critérios considerados. Depois, foram detalhados os resultados obtidos e as discussões. Por fim, foram apontadas as conclusões e 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 Distrito Federal, 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 Distrito Federal.

### 2.2. Objetivos específicos

1. Avaliar a velocidade de infiltração de um solo beneficiado com o sistema agroflorestal da área de estudo por meio de ensaios de infiltração em campo;
2. Comparar a velocidade de infiltração promovida pelo SAF presente na área de estudo, com outras técnicas compensatórias por meio de dados de outros trabalhos;
3. 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*; e
4. 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. Hidrologia e águas urbanas**

Segundo a ADASA (2018), o gerenciamento e manejo dos recursos hídricos são essenciais para a harmonia da interação entre ser humano e meio ambiente. 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.

#### **3.1.1. Infiltração**

A infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo e, em termos gerais, se faz de forma desacelerada, começando com velocidade alta, decrescendo gradativamente ao longo do tempo, até atingir o equilíbrio dinâmico. Alcançado o equilíbrio, quando a velocidade de infiltração praticamente não varia com o tempo, um valor constante é assumido, nomeado infiltração básica. 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).

Leal (2011) deixa 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.

#### **3.1.2. 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 do projeto de planejamento urbano e devem garantir que as ações de prevenção e os controles de riscos hidrológicos sejam embasados de maneira sustentável. Sendo sua finalidade durante todas as etapas da concepção atingir uma redução nos índices de alagamentos e inundações, para controlar as cargas de poluentes na água (ADASA, 2018).

Tradicionalmente, todo esforço era contínuo para afastar as ondas de cheias dos centros urbanos, caracterizando um enfoque higienista predominante até hoje. Dessa forma, o sistema convencional de drenagem urbana visa o transporte hídrico à jusante, sem haver preocupações com qualidade ou impacto potencial à frente (TUCCI, 2001).

Com base no trabalho de Camuzzi (2017), que analisou a drenagem urbana do Riacho Fundo (DF), fica evidente a sobrecarga do sistema atual, incapaz de escoar a chuva de projeto, devido ao subdimensionamento dos condutos e aos poucos pontos de coleta.

Logo, percebe-se que é fundamental uma completa e ampla reformulação do sistema em pauta, buscando alternativas baratas e eficientes no controle das vazões.

### 3.1.3. Cheias urbanas

O aumento das vazões máximas, que geram as cheias urbanas, são eventos criados a partir da ascensão da capacidade de escoar água, por condutos e canais, e da impermeabilização da superfície ao passo que acontece a urbanização (TUCCI, 2008).

Além disso, a lavagem de solos impermeabilizados resulta na dispersão e dissolução de resíduos urbanos, transformando a água drenada em uma potencial contaminador de mananciais superficiais em áreas urbanizadas, fazendo necessário o emprego de tratamentos de água mais sofisticados para o abastecimento (VARGAS *et al.*, 2008).

### 3.1.4. Técnicas compensatórias

Técnicas compensatórias são medidas de controle na fonte que protegem os recursos hídricos enquanto atendem as exigências do sistema de drenagem urbano. Assim, elas podem dar prosseguimento à urbanização com custos reduzidos em comparação com medidas de infraestrutura adotadas no sistema clássico (RIGHETTO, 2009).

Com finalidade comparativa para esse estudo, buscaram-se outros trabalhos que, a partir de ensaios, calcularam a taxa de infiltração para dispositivos compensatórios de drenagem urbana. Foi dada preferência por trabalhos realizados no DF, que mantivessem um tipo de solo similar ao da área de estudo, sendo a referência mais próxima encontrada o trabalho de Moura (2005). Para representar uma velocidade de infiltração para um outro instrumento compensatório, procurou-se referências relativas às trincheiras de infiltração e utilizou-se o trabalho de Puzzi (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 utilizado um simulador de chuvas que variava a intensidade e atendia exatamente a área de 1 m<sup>2</sup> que possuíam as superfícies. Por meio da diferença entre a precipitação e o hidrograma de escoamento superficial era gerada a curva da taxa de infiltração.

Puzzi (2015) avaliou a velocidade de infiltração para uma trincheira de infiltração com e sem brita, em um solo descrito como argiloso em Londrina, no Paraná. 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.

### 3.1.5. Legislação pertinente

A ADASA por intermédio 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 600 m<sup>2</sup>, 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 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).

A área do terreno e seu percentual de impermeabilização influenciam no dimensionamento dos reservatórios e, para o de quantidade, as características da bacia também são observadas, sem poder o lançamento no corpo hídrico ultrapassar a vazão máxima de 24,4 L/(s.ha), conforme o Capítulo IV, artigo 8º (ADASA, 2011).

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:

1. Aplicação de pavimentos permeáveis - reduzir em até 60% a área que utiliza estes pavimentos;
2. Aplicação de trincheiras de infiltração - reduzir em até 80% as áreas drenadas para as trincheiras;
3. 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 águas pluviais devem cumprir a vazão máxima de lançamentos no sistema público de drenagem de 24,4 L/(s.ha), a fim 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 publicada a Lei Complementar nº 929, que estabelece diretrizes para dispositivos de infiltração artificial de águas pluviais para a recarga de aquíferos e para sua retenção e aproveitamento a fim de assegurar, no máximo, a vazão de pré-desenvolvimento na saída do lote urbano ou da projeção (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).

### **3.2. Agroecologia**

A agroecologia é uma ciência 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).

### 3.2.1. 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, aquelas que melhoram a fertilidade do solo por meio de mudanças no sistema de cultivo (SÃO PAULO, 2011).

### 3.3. Sistemas Agroflorestais

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 por meio da integração de árvores nas propriedades, pautados na gestão dos recursos naturais, nos aspectos dinâmicos e ecológicos (MICCOLIS *et al.*, 2016).

Existem muitas vantagens ambientais advindas do emprego de SAFs como: a proteção do solo, que favorece a microbiota e a ciclagem de nutrientes; a proteção hídrica, devido à facilidade de infiltração e armazenamento; o aumento da biodiversidade vegetal, melhorando a estabilidade do solo (CALDEIRA e CHAVES, 2011).

Os seres humanos são diretamente favorecidos por insumos florestais, como por exemplo madeiras e produtos medicinais, além de serviços florestais tais como sombra, regulação climática e a proteção dos recursos naturais. Um planejamento que considere fatores específicos locais de clima, solo e topografia, pode escolher diferentes consórcios entre variadas espécies vegetais, de modo a otimizar os resultados, gerando renda familiar, segurança alimentar, saúde e qualidade de vida (MAY *et al.*, 2008).

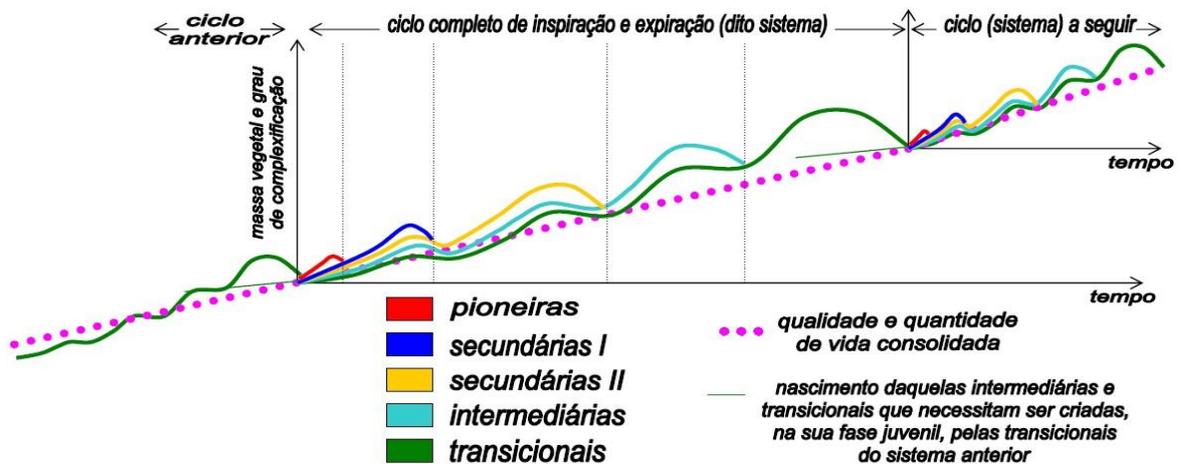
#### 3.3.1. Agricultura Sintrópica, Princípios e Fundamentos

Após anos observando e conhecendo as especificidades sinérgicas que promoviam a evolução de sua agrofloresta, Ernst Götsch cunhou o termo “Agricultura Sintrópica”. Sintropia refere-se à tendência de complexificação dos seres vivos, que é evidenciada pelo acréscimo de água, nutrientes e energia disponíveis no sistema (PASINI, 2017).

A sucessão natural é o processo de regeneração que ocorre de forma gradual e contínua, e é responsável pela transformação fisionômica da vegetação no espaço e no tempo, desde as espécies mais simples, até a comunidade clímax, resultante da sinergia entre os seres e os fatores ambientais (GÖTSCH, 1996; PENEIREIRO, 1999).

Eventualmente, a morte e queda de algum indivíduo arbóreo de idade avançada abre clareiras nas matas, o que inicia um novo ciclo sucessional. A cada ciclo desse, o índice de qualidade e quantidade de vida consolidada (QQVC) é incrementado, tornando o ambiente mais rico e próspero para a próxima geração. Esse fenômeno fica perceptível na Figura 1 (PENEIREIRO, 1999).

Figura 1 - Ciclo sucessional em um ecossistema com floresta



Fonte: Peneireiro, 1999

A cada etapa da sucessão haverá uma comunidade dominante, que dirigirá o processo. Essa sequência cronológica, provê a interação entre todos os indivíduos de todas as espécies, sendo importante selecionar, baseando-se nas necessidades individuais, quais plantas irão compor cada grupo (GÖTSCH, 1996; PENEIREIRO, 1999).

De acordo com a altura relativa do indivíduo adulto, se rotulam as espécies nos seguintes estratos: rasteiro, baixo, médio, alto e emergente. 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 aproveitar melhor o espaço vertical (PASINI, 2017).

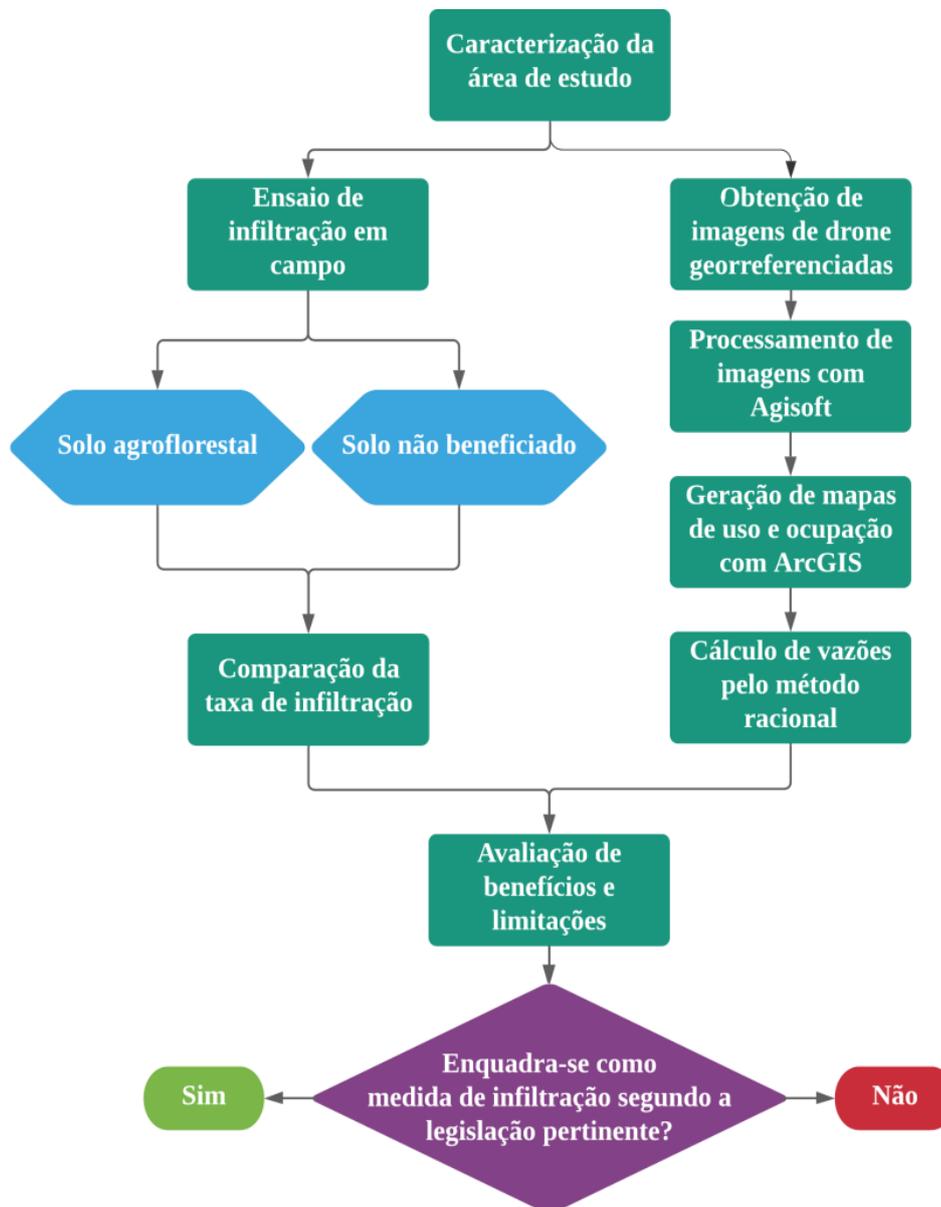
A principal atividade de manejo, que é indispensável nos SAFs, é a prática da poda. Ela rejuvenesce árvores, arbustos e estimula o desenvolvimento do sistema radicular que bombeia nutrientes das camadas mais profundas para a planta, e também, pode ser executada como artifício de regulação da estratificação (PENEIREIRO, 1999).

Ao ser disponibilizada, essa biomassa 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 insumos externos ao sistema (GÖTSCH, 1996; PENEIREIRO, 1999).

## 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 Distrito Federal e substituir ou complementar outras técnicas compensatórias, a Figura 2 exhibe o fluxograma das etapas que foram executadas na metodologia deste trabalho.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia desenvolvida

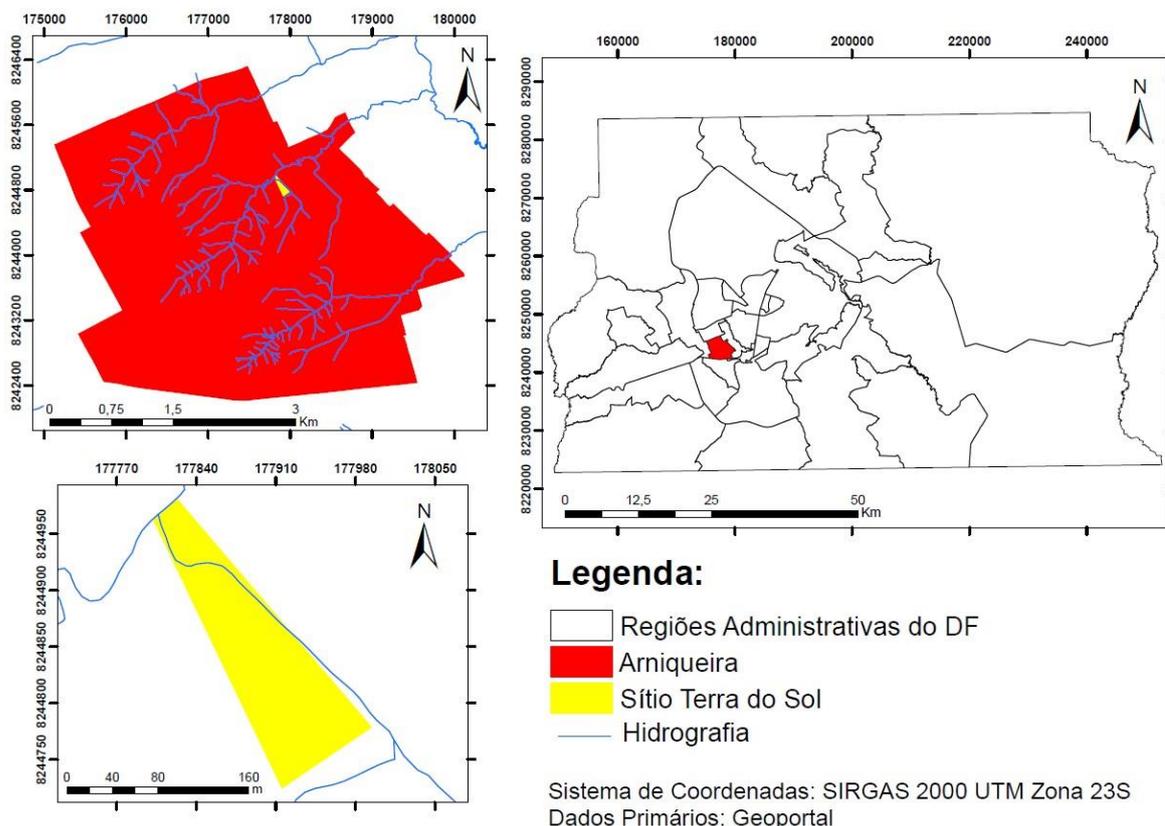


Fonte: O Autor

#### 4.1. Caracterização da área de estudo

O local avaliado para estudo do caso é o Sítio Terra do Sol, localizado em uma zona urbanizada de Arniqueira, Região Administrativa XXXIII do Distrito Federal (Figura 3). O endereço é Setor Habitacional Arniqueira, Conjunto 5, Chácara 36. Os sóciosproprietários do sítio desenvolvem atividades pautadas pela agroecologia, na busca de se tornarem referência como modelo de um condomínio sustentável.

Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo

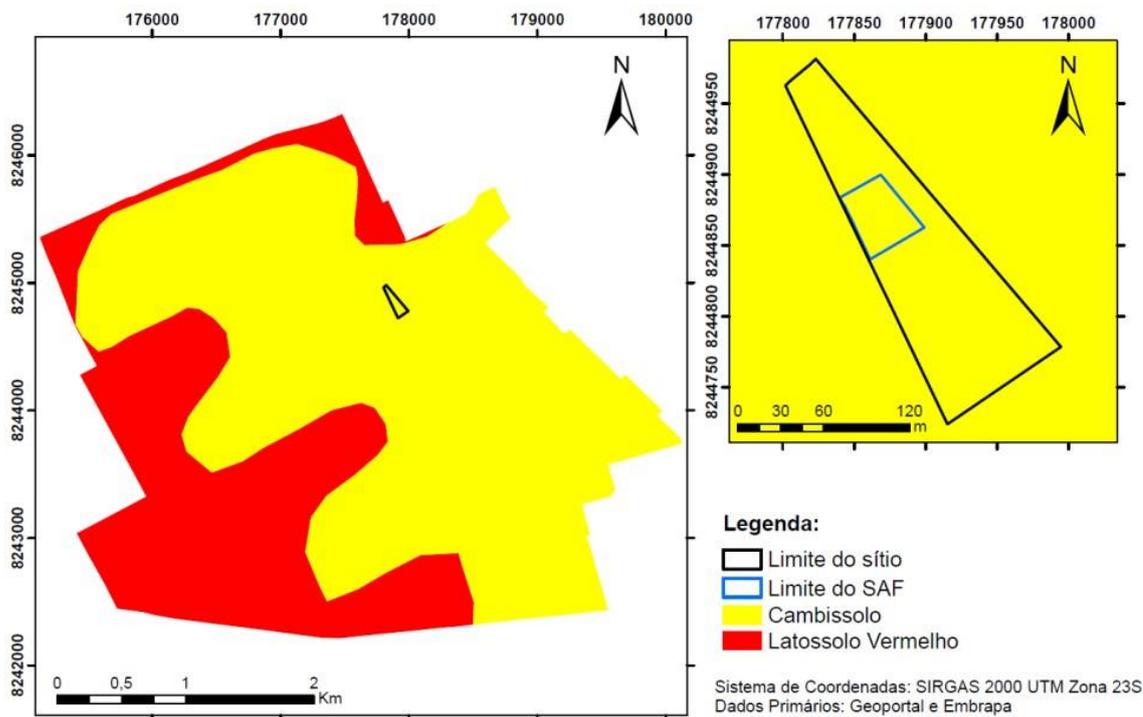


Como se nota na Figura 3, o fundo do lote é limitado pelo Córrego Arniqueira, afluente do Córrego Vicente Pires, componente da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo que faz parte da Bacia do Lago Paranoá. Já a outra linha de drenagem que passa por dentro do terreno, apesar de classificada como fluvial pelo 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, 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 Distrito Federal. 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 metro, 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** - Mapa pedológico 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 19°C e 22°C e existem duas estações bem definidas: uma seca durante o inverno e outra chuvosa no verão. A Tabela 1 mostra a média mensal das chuvas.

**Tabela 1** - Média mensal das chuvas

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

Fonte: Topocart, 2013.

Já quanto à umidade relativa do ar, a Tabela 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.

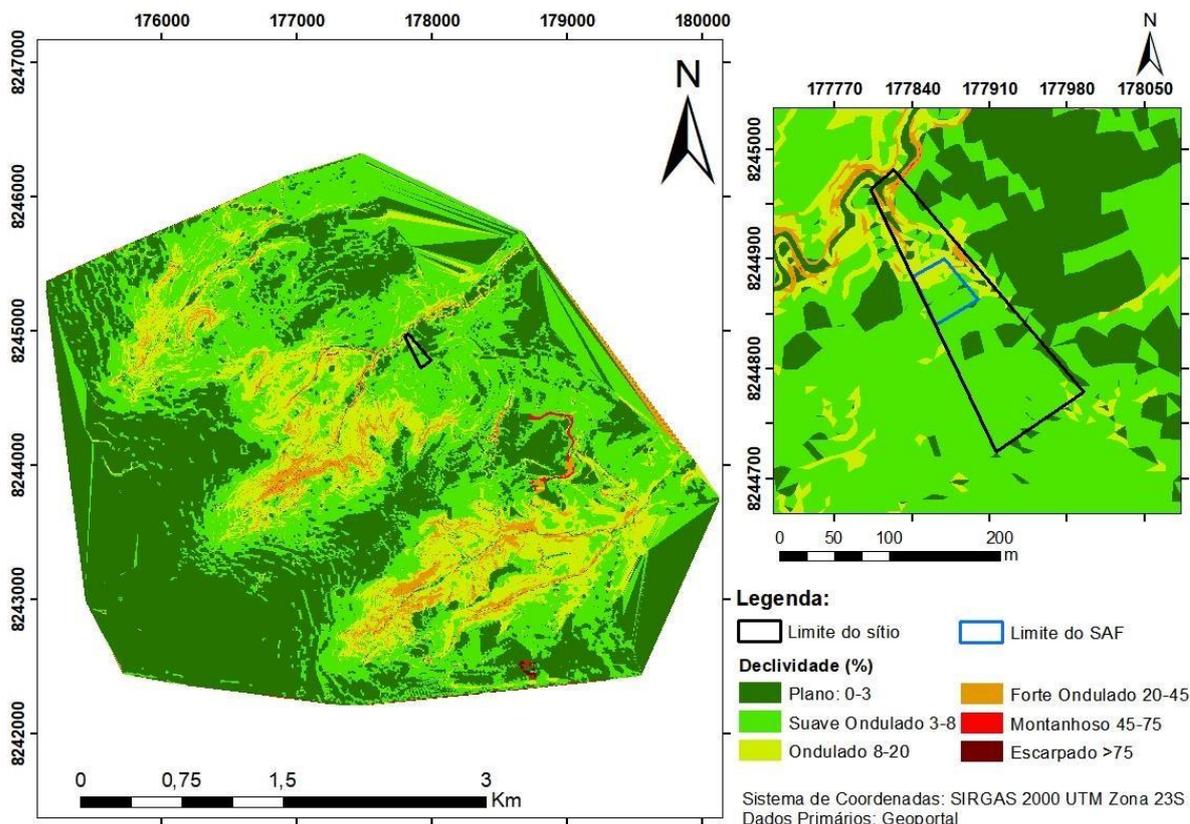
**Tabela 2** - Média mensal da Umidade Relativa do Ar

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

Fonte: Topocart, 2013.

Essa análise caracterizou a área de estudo a partir das classes de declividade propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA, 1979a). O terreno estudado é em sua maior parte 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 majoritariamente como suave ondulado, sendo a terça fração mais próxima do corpo hídrico classificada como ondulada.

**Figura 5** - Mapa de declividade de Arniqueira com detalhamento da área de estudo



A área do sítio é de 16.085 m<sup>2</sup> (1,6 hectare), sendo que a fração voltada para a produção agroflorestal, objeto de estudo desse trabalho, compõe 1.900 m<sup>2</sup> (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; no segundo semestre, foram executados os primeiros plantios. A Figura 6 mostra uma imagem de satélite do dia 28/05/2020 e indica a delimitação do sítio e do SAF.

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 funções diferentes dentro da agrofloresta.

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

**Figura 6** - Delimitação da área de estudo a partir de imagem de satélite tirada no dia 28/05/2020



Fonte: Google Earth Pro

## 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 7), como indica a Tabela 3.

**Tabela 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%

Fonte: O Autor

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

1. Proximidade de torneiras para disponibilização de água durante o decorrer do ensaio;
2. Declividade mais suave possível;
3. 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 (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de localização dos pontos de amostragem



Fonte: O Autor (imagem gerada a partir de fotos de drone, tiradas no dia 13/03/2021)

Os materiais utilizados para executar os ensaios foram:

1. Dois anéis de aço galvanizado, sendo o maior com diâmetro de 56 cm e o menor de 28 cm, ambos com 25 cm de altura e 2 mm de espessura (Figura 8);
2. Porrete de madeira para fixar os anéis (Figura 8);
3. Nível de bolha;
4. Trena;
5. Adesivos de marcação de uma escala graduada em centímetros;
6. Cronômetros (celulares) (Figura 8);
7. Reservatórios de água (capacidade total de 100 litros) (Figura 8);
8. Duas mangueiras, de 35 metros de comprimento (Figura 8); e
9. Prancheta e planilhas para registro dos dados (Figura 8).

**Figura 8** - Execução de ensaio de infiltração no ponto 5 e indicação de materiais



Fonte: O Autor

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 e o nível bolha para conferir o nivelamento dos anéis. Logo após, foram fixados os anéis concêntricos no solo, a uma profundidade de aproximadamente 8,8 cm (previamente delimitada no exterior dos anéis com uma fita adesiva). Então, iniciou-se o enchimento do anel externo cautelosamente, para não comprometer a estrutura do solo, até a marca de 10 cm, 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 14 cm) e  $t_2$  (tempo de passagem da marca de 14 cm até a marca de 12 cm).

O experimento foi conduzido até que a taxa de infiltração chegasse a 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 a 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.

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 14 cm e 12 cm 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 três pessoas, sendo duas responsáveis pelos níveis dos anéis e a terceira pelas anotações.

As coordenadas de cada ponto foram obtidas por meio 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 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 por meio da variação da altura da lâmina d'água sobre a variação do tempo entre as leituras  $t_1$  e  $t_2$  (Equação 1).

$$V = \frac{h_1 - h_2}{\Delta t} * 60 \quad \text{Equação 1}$$

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];  $\Delta t$  = variação do tempo entre as leituras  $t_1$  e  $t_2$  [min].

A seguir, calculou-se o tempo médio para cada leitura por meio da Equação 2.

$$t_{med} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:  $t_{med}$  = tempo médio entre as leituras  $t_1$  e  $t_2$  [min];  $t_1$  = tempo de enchimento até a marca de 14 cm [min];  $t_2$  = tempo de passagem da marca de 14 cm até a marca de 12 cm [min].

Com os valores de velocidade de infiltração e tempo médio entre as leituras, foram gerados gráficos  $V$  [cm/h] x  $t_{med}$  [min]. Para um ajuste mais preciso dos valores de VIB, testou-se regressões não-lineares a partir de funções exponencial, logarítmica e potencial. Para cada ajuste, foi calculado o  $R^2$  e verificada a proximidade de cada linha de tendência com os pontos experimentais. Depois, foi utilizado um eixo y secundário do gráfico para representar a infiltração acumulada [mm] ao longo do tempo.

Por fim, as velocidades de infiltração observadas foram comparadas àquelas geradas pelos experimentos de Moura (2005), para pavimentos permeáveis e de Puzzi (2015) para trincheiras de infiltração, detalhados em 3.1.4.

### 4.3. Processamento de imagens georreferenciadas de drones por meio do software *agisoft metashape*

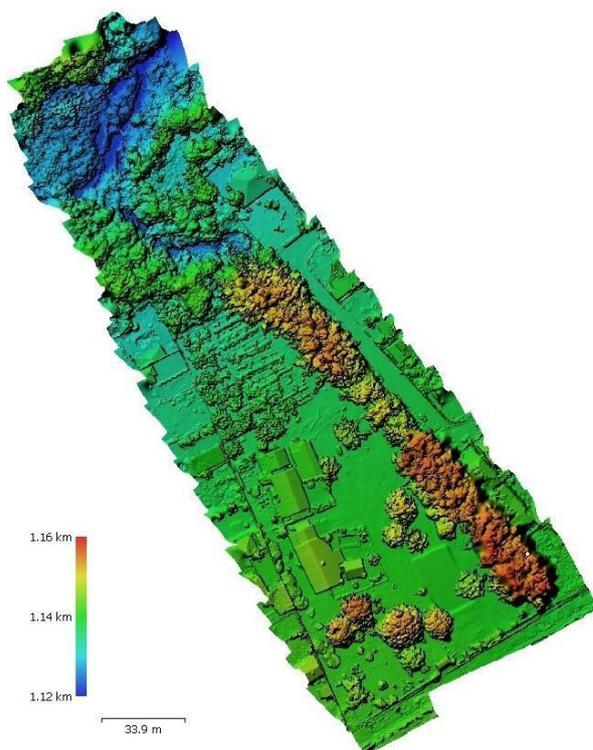
Foram realizados dois levantamentos aéreos com o drone *DJI Mavic Pro* na área de estudo, sendo um realizado no dia 22/01/2020 e outro em 13/03/2021. Para o mais recente, os sócios do sítio já possuíam e disponibilizaram o processamento com o ortomosaico pronto. Já para o levantamento anterior, tinham posse apenas das fotos.

Para realizar o processamento das imagens de 2020, foi utilizado o software *Agisoft Metashape* e seguida da metodologia apresentada no manual do próprio programa (AGISOFT, 2021). Havia 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 refere 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 1.153 metros e outro a 1.177 metros.

Primeiramente, verificou-se a qualidade das fotos. Como todas apresentaram valores acima de 0,5, não foi preciso eliminar nenhuma. O passo seguinte, foi o alinhamento das fotos; quando se optou 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 1.177 metros de altitude, todas as fotos alinharam-se; já para o de 1.153 metros, 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 9), 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*, sendo utilizado *SIRGAS 2000 UTM Zona 23S*. Por fim, utilizou-se o DEM como superfície para gerar o ortomosaico de 2020 (Figura 10). Após finalizar os ortomosaicos dos dois planos de voo, escolheu-se o de 1.177 metros para a análise de cobertura de solo, uma vez que apresentou menos distorções e maior qualidade visual de imagem.

**Figura 9** - Modelo digital de elevação (DEM) do Sítio Terra do Sol



Fonte: O Autor

**Figura 10** - Ortomosaico gerado no 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; áreas impermeáveis e 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 conseqüente grande quantidade de pixels na imagem gerada por drone, a classificação não foi satisfatória, sendo 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 *Stretched*, 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.

Depois, 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 os 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.

Subsequentemente, 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 para cada ano. Já que a área em questão era pequena, o mais adequado, segundo a literatura, foi a utilização do método racional (Equação 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 bem superior à área de estudo em questão com 1,6 há, sendo destes 0,19 ha referente à atividade agroflorestal com aproximadamente três anos.

$$Q = \frac{C * i * A}{3600} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:  $Q$  = vazão [L/s];  $C$  = coeficiente de escoamento superficial [adimensional];  $i$  = intensidade da chuva [mm/h];  $A$  = área total da bacia [m<sup>2</sup>].

A precipitação de projeto aplicada ao método racional deve ser constante, sendo assim, a intensidade da chuva ( $i$ ) foi calculada por meio de um bloco de chuva único, diretamente da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) do DF (Equação 4), descrita no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (GDF, 2009).

$$i = \frac{1574,7 * T_R^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}} \quad \text{Equação 4}$$

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 dois anos. Dessa forma, escolheu-se realizar os cálculos com  $T_R$  para dois 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 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* por meio do DEM (Figura 9).

$$t_c = 57 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:  $t_c$  = tempo de concentração [min];  $L$  = extensão longitudinal do escoamento da bacia [km];  $H$  = diferença de alturas [m].

Utilizou-se  $L = 0,3\text{km}$  e  $H = (1.145-1.122)$  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 3, optou-se por não utilizar um valor tabelado de coeficiente de escoamento, pois os valores da literatura são generalizações e poderiam não representar bem as características da área e dos tipos de cobertura de solo da 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 várias opções que diferem para os tipos de cobertura e sua condição. Assim, foi possível determinar um coeficiente de escoamento superficial mais verossímil, que representasse melhor as peculiaridades do contexto.

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).

**Tabela 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

Fonte: O Autor

Após definidos esses valores, foram calculados CN ponderados para 2020 e 2021 considerando as classes com suas respectivas áreas, conforme a Equação 6.

$$CN_{pond} = \frac{\sum(CN_c * A_c)}{A} \quad \text{Equação 6}$$

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 [ $\text{m}^2$ ];  $A$ =área total da bacia [ $\text{m}^2$ ].

Por meio dos valores de  $CN_{pond}$  para os diferentes anos, obteve-se os valores de infiltração potencial (Equação 7) para 2020 e 2021, com os quais foi possível calcular a precipitação efetiva (Equação 8).

$$S = \frac{25400}{CN_{pond}} - 254 \quad \text{Equação 7}$$

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

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) com tempo de duração da chuva de 24 horas e para tempos de retorno de dois 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: 69,95 mm para um tempo de retorno de dois anos e 97,61 para 10 anos. Dessa forma, foram obtidos dois valores de precipitação efetiva para cada ano, sendo um referente a dois anos de tempo de retorno e o outro 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 9), sendo dois para 2020, com tempos de retorno de dois e 10 anos e mais dois para 2021, com os mesmos períodos de recorrência.

$$C = \frac{P_e}{P} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:  $C$  = coeficiente de escoamento superficial [mm];  $P_e$  = precipitação efetiva [mm];  $P$  = precipitação total do evento [mm].

Enfim, de posse de todos valores necessários, calculou-se as vazões para os tempos de retorno de 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 preocupou 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, sendo que as áreas foram calculadas por 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.

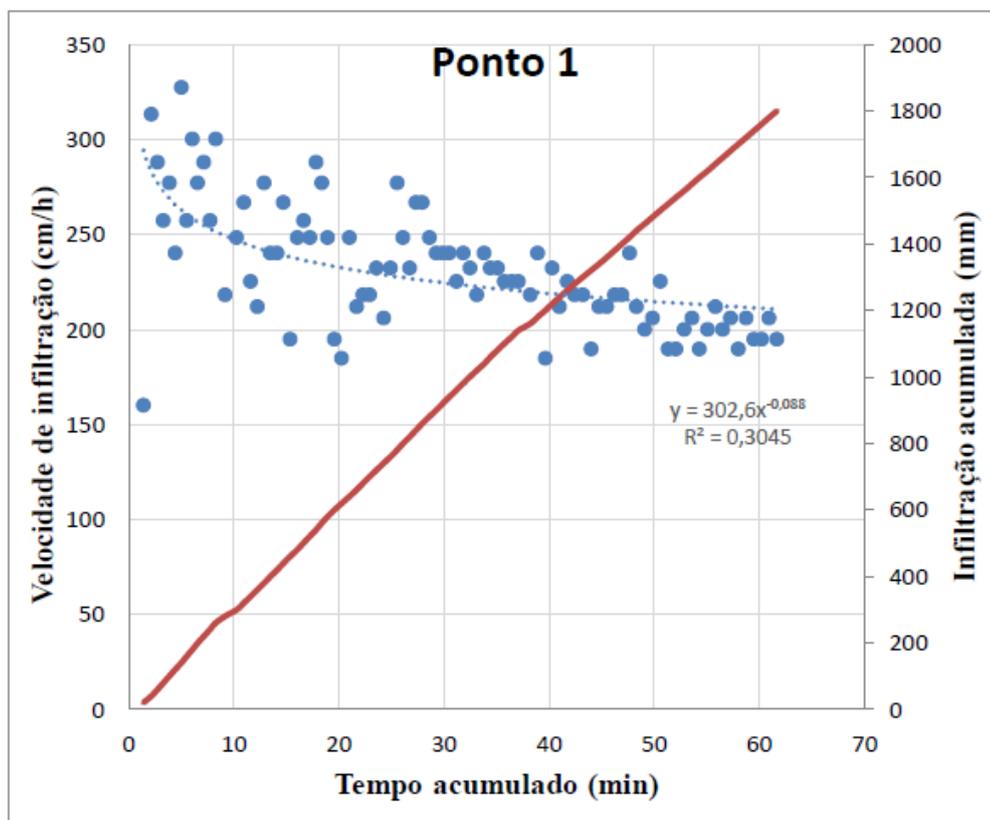
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

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 Distrito Federal.

### 5.1. Ensaio de infiltração em campo

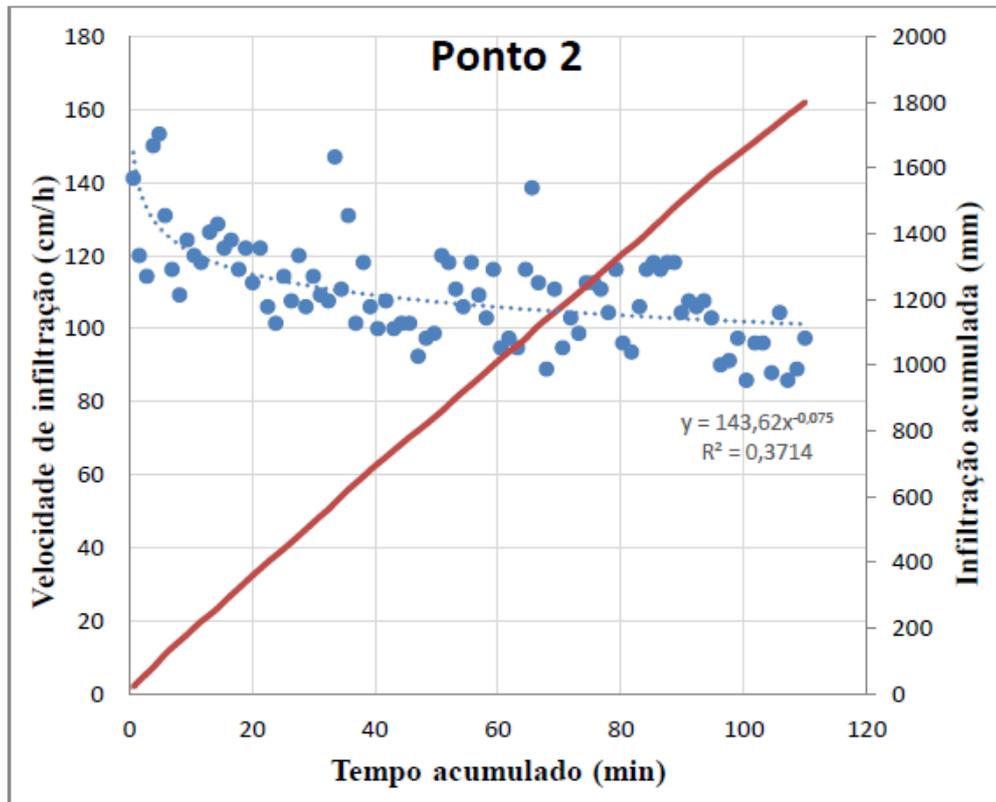
As Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 expõem os gráficos gerados a partir dos dados dos testes de infiltração com a infiltração acumulada (linha contínua vermelha), a velocidade de infiltração (pontos azuis) e sua respectiva linha de tendência ajustada pela função potencial (linha pontilhada 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.

**Figura 11** - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 1



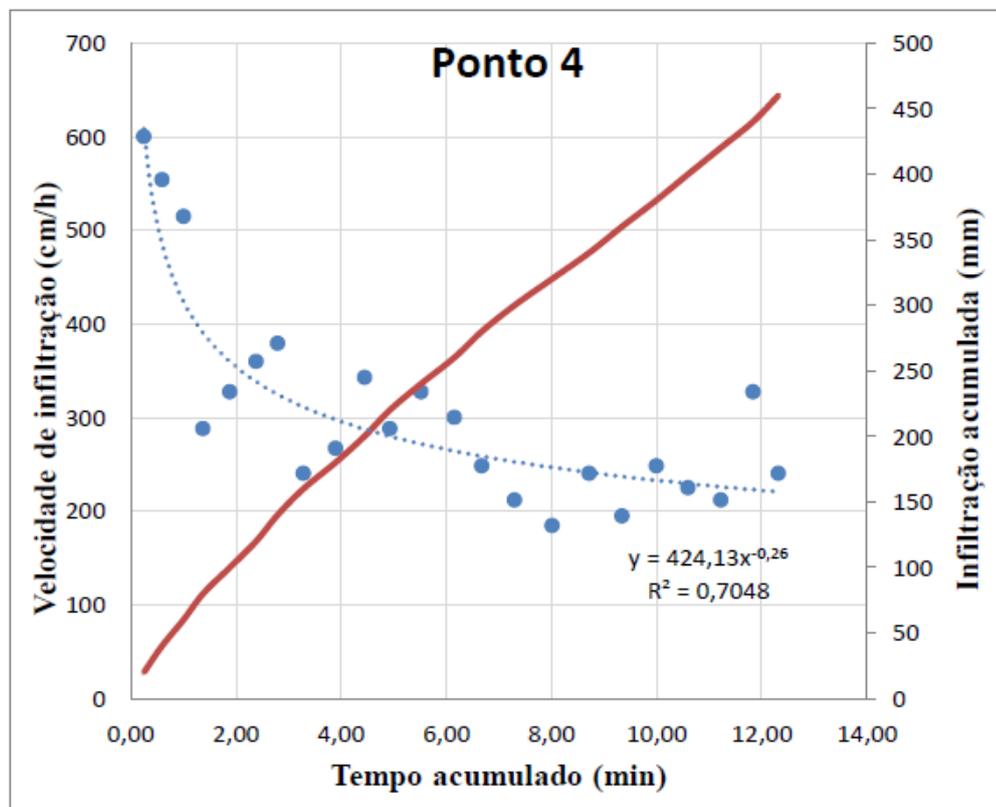
Fonte: O Autor

Figura 12 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 2



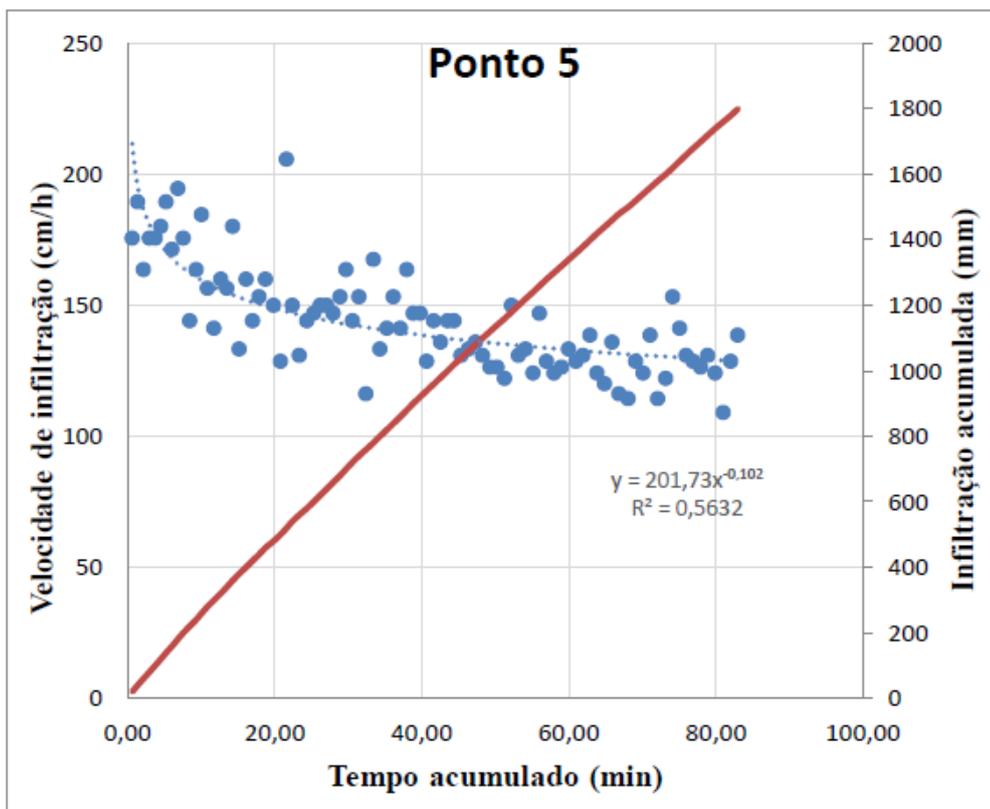
Fonte: O Autor

Figura 13 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 4



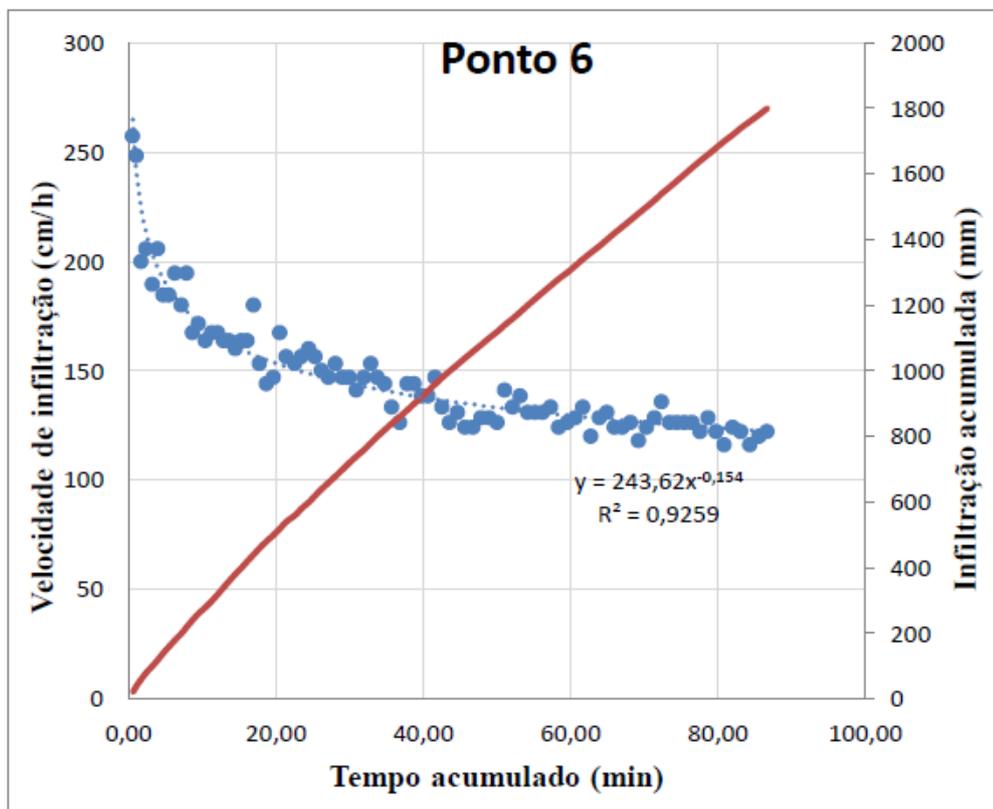
Fonte: O Autor

Figura 14 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 5



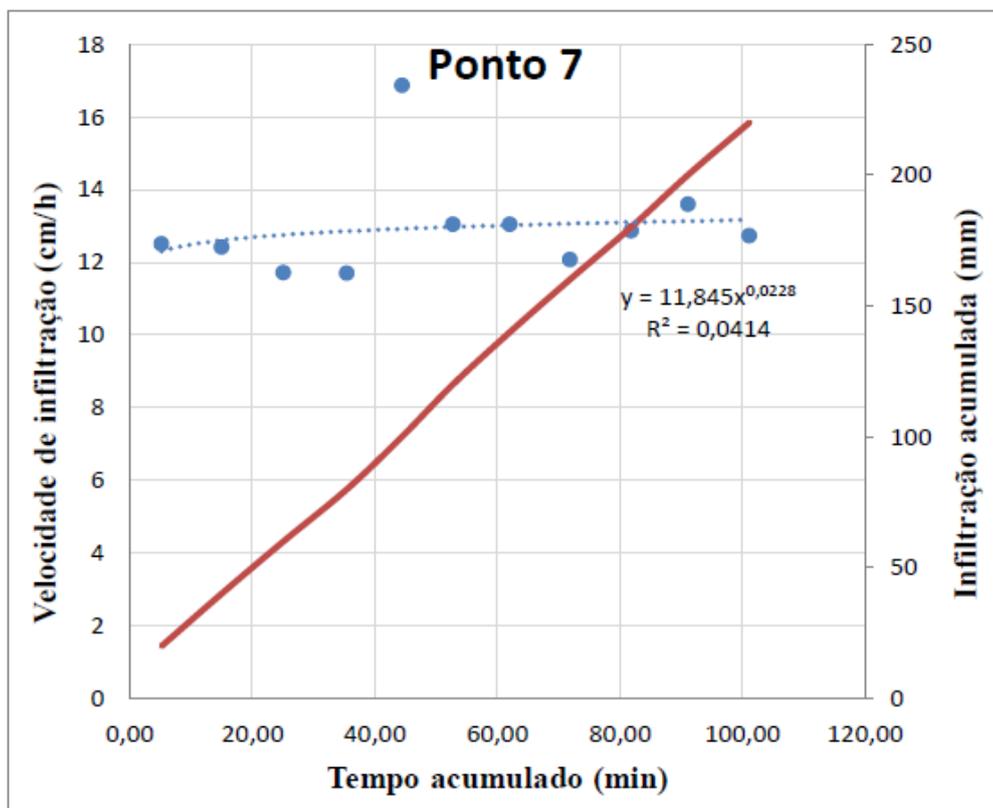
Fonte: O Autor

Figura 15 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 6



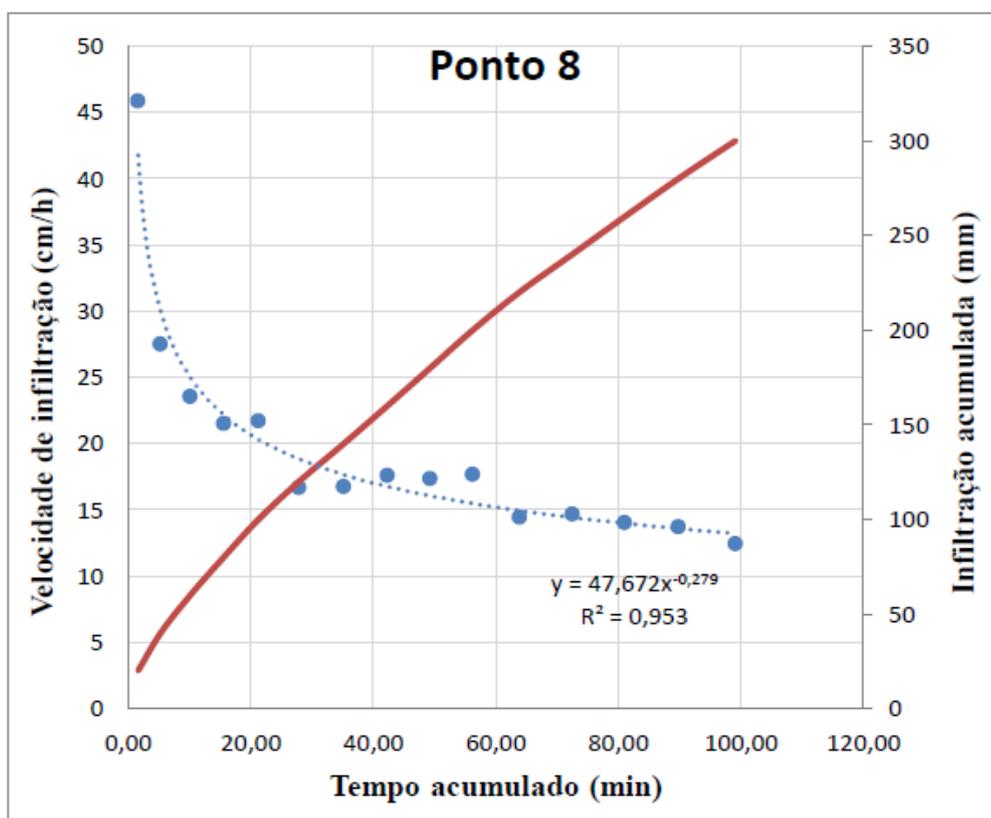
Fonte: O Autor

Figura 16 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 7



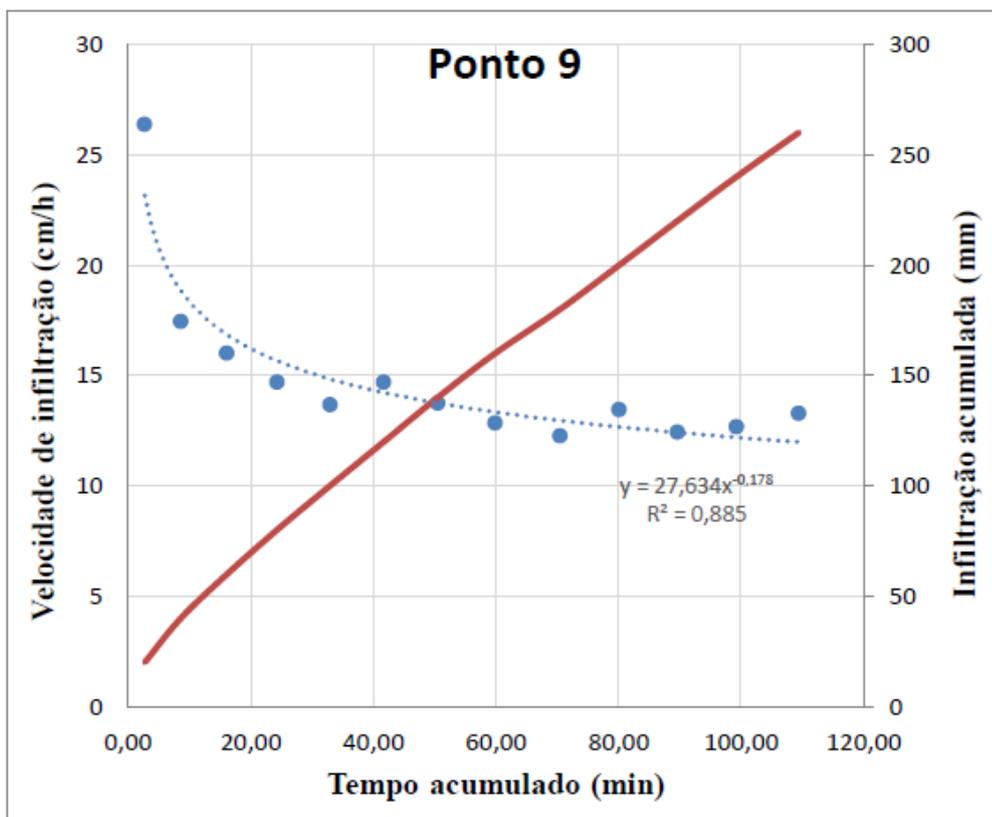
Fonte: O Autor

Figura 17 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 8



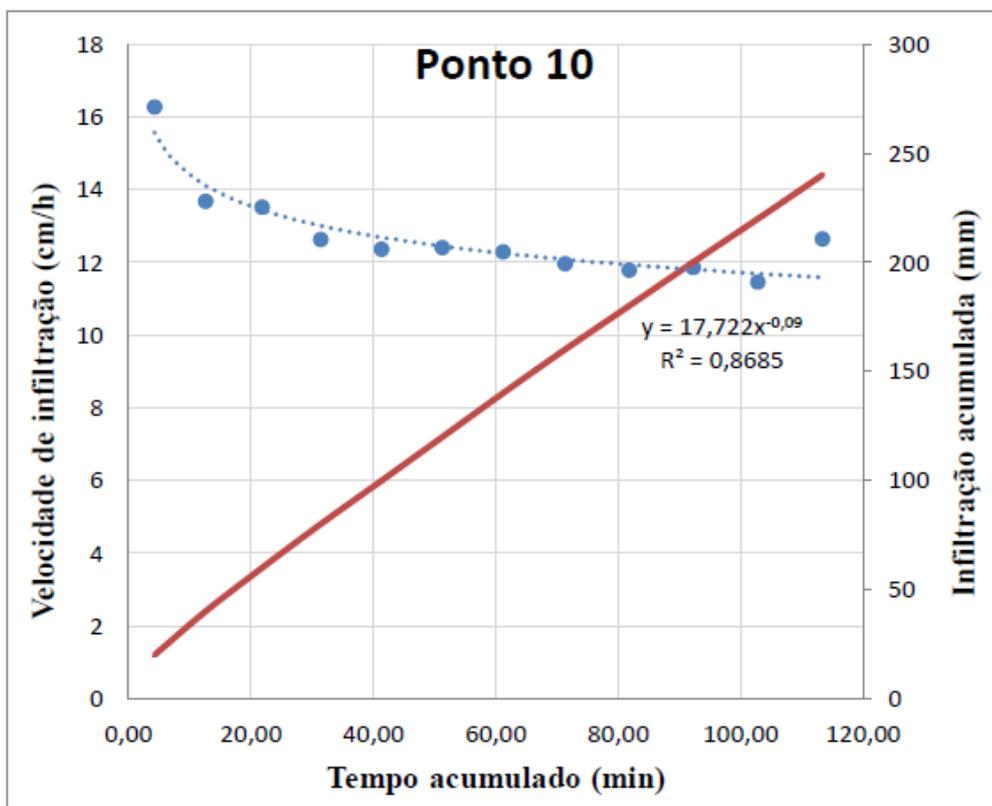
Fonte: O Autor

Figura 18 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 9



Fonte: O Autor

Figura 19 - Gráfico de infiltração acumulada e velocidade de infiltração pelo tempo para o ponto 10



Fonte: O Autor

A Tabela 5 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 com o passar do tempo. Assim, foram classificados como satisfatórios.

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, referentes à canteiros do tipo roça, a água infiltrou rapidamente. No ponto 4, toda a reserva de 100 litros disponível, mais a vazão que saía pelas duas mangueiras infiltrou toda área em menos de 13 minutos, não sendo possível manter a ação 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.

Ressalte-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 a velocidade de infiltração.

**Tabela 5** - 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			

Fonte: O Autor

A Tabela 6, 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. 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 6** - Valores de VIB para cada ponto amostral

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

Fonte: O Autor

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 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 mais caminhos e aumentam a eficácia da infiltração por serem 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 7), 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, 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 muito 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 7. Em média, os maiores valores de VIB ocorreram nos blocos vazados, inferiores apenas a uma taxa de infiltração referente à grama, de 12,4 cm/h. Ao comparar os valores obtidos por Moura (2005) com os atingidos nos ensaios desse 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 6).

**Tabela 7** - 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

Fonte: O Autor

A Tabela 8 apresenta os valores obtidos por Puzzi (2015), bem superiores àqueles encontrados para os pontos não beneficiados por SAF, o que era esperado. 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 97,30 cm/h, que é 30% maior em relação ao ensaio 1 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 analisado, 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 8** - Valores de VIB das trincheiras de infiltração com e sem brita obtidas para os ensaios realizados por Puzzi (2015)

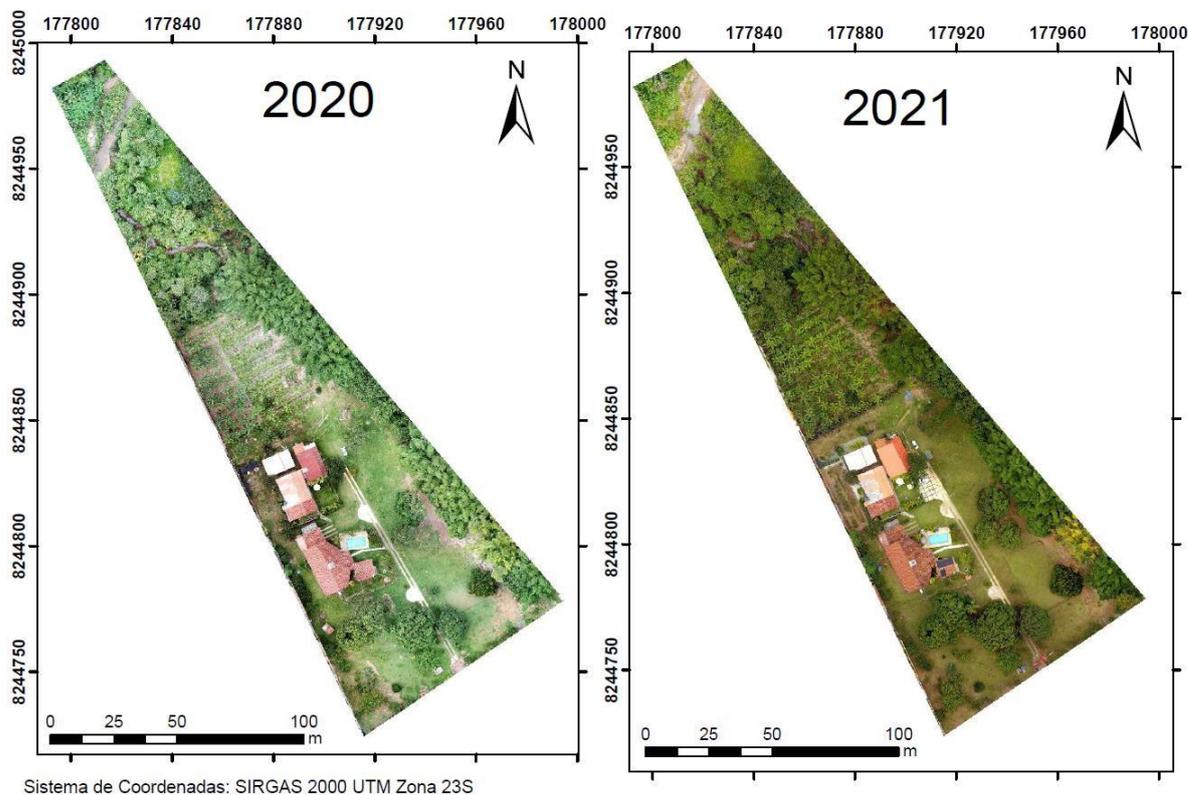
Trincheira	Ensaio	VIB (cm/h)
Sem brita	1	37,74
	2	29,76
	3	35,28
Com brita	1	68,04
	2	61,84
	3	61,86

Fonte: O Autor

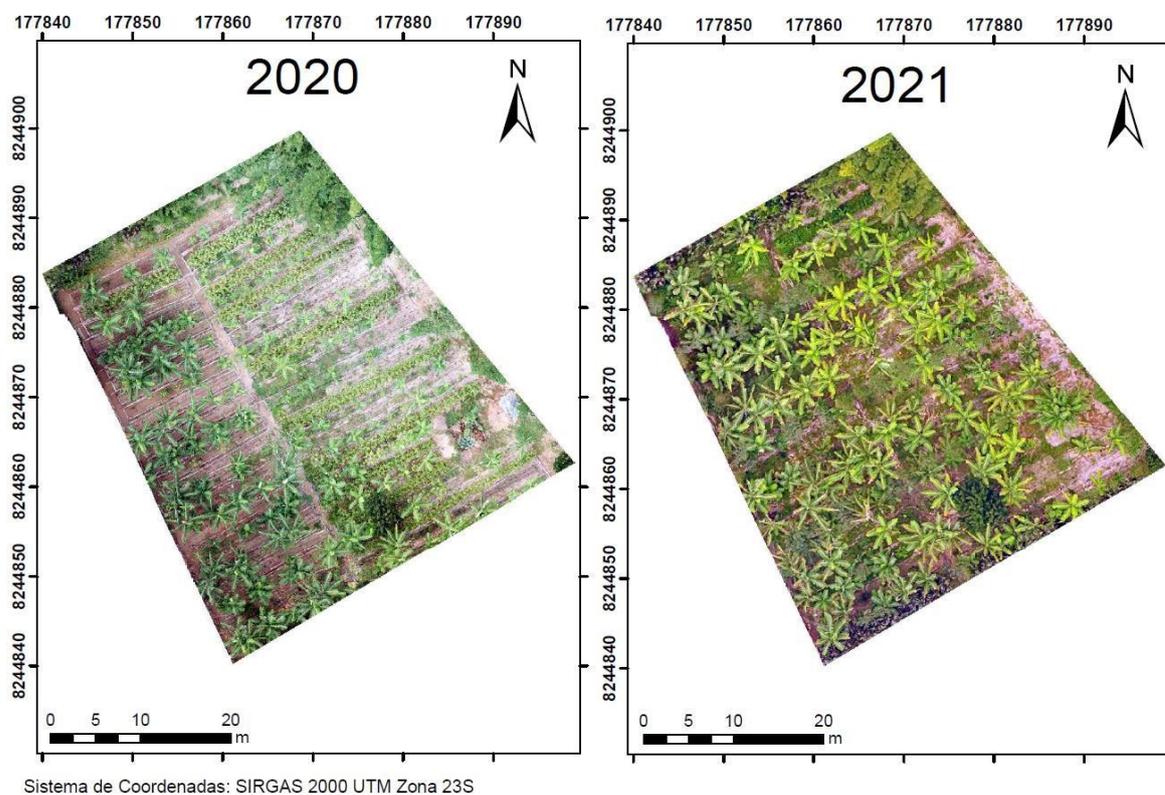
### 5.2. Análise de uso e ocupação com imagens georreferenciadas de drone por meio do software *ARCGIS*

As Figuras 20 e 21 ilustram, respectivamente, a evolução da cobertura do solo para o sítio e para o SAF, sendo a distância temporal entre as imagens geradas por drone 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 16h50, com a luz do sol mais dispersa e o segundo em torno de 12h47, com os raios solares mais perpendiculares à superfície.

**Figura 20** - Imagem de drone da evolução da cobertura do solo do Sítio Terra do Sol entre 2020 e 2021

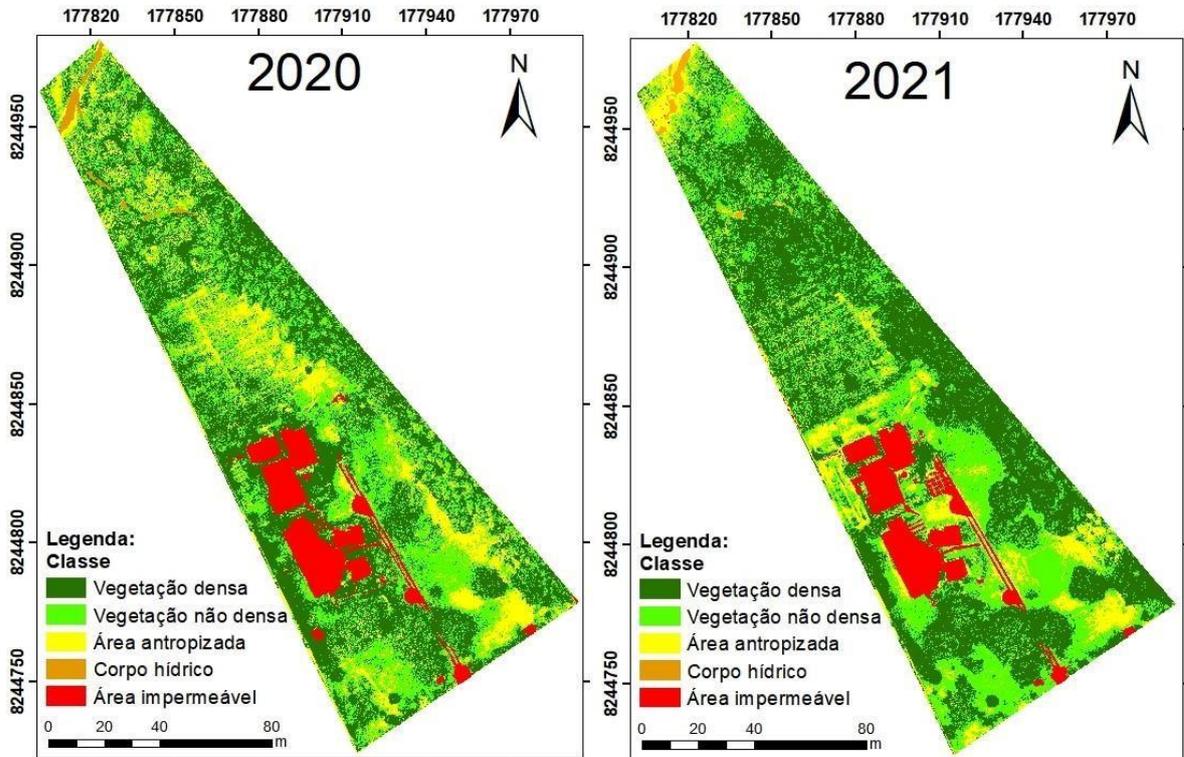


**Figura 21** - Detalhamento da evolução da cobertura do solo do SAF entre 2020 e 2021

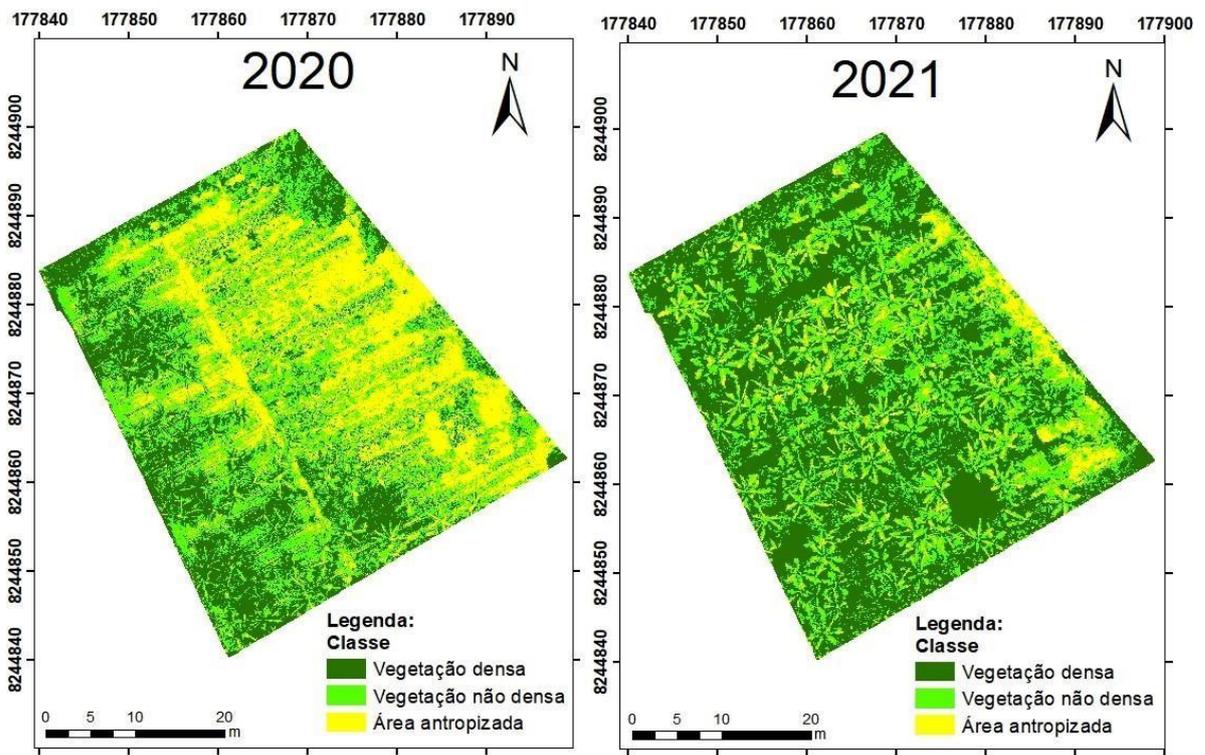


A Figura 22 apresenta os mapas de uso e ocupação da área de estudo gerados com o software *ArcGIS* para os anos analisados e com as classes adotadas no tópico 4.4 desse trabalho. Já a Figura 23, mostra o detalhamento desses mapas em nível do sistema agroflorestal do sítio.

**Figura 22** - Mapa de uso e ocupação do Sítio Terra do Sol para os anos de 2020 e 2021



**Figura 23** - Mapa de uso e ocupação com detalhamento do SAF para os anos de 2020 e 2021



A Tabela 9 apresenta as áreas calculadas com o *ArcGIS* para cada classe de cobertura do solo da área de estudo, nos dois anos analisados e suas respectivas variações em metros quadrados e em porcentagem para cada categoria. Já a Tabela 10, mostra esses valores referentes ao SAF.

**Tabela 9** - 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		Área 2021		Variação	
	(m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(%)
Vegetação densa	6.994,45	43,49	7.776,40	48,35	781,95	4,86
Vegetação não densa	5.129,67	31,89	5.126,26	31,87	-3,41	-0,02
Área antropizada	2.673,67	16,62	1.843,29	11,46	-830,38	-5,16
Corpo hídrico	81,11	0,50	37,22	0,23	-43,89	-0,27
Área impermeável	1.205,91	7,50	1.301,64	8,09	95,73	0,59
<b>Total</b>	<b>16.084,81</b>	<b>100,00</b>	<b>16.084,81</b>	<b>100,00</b>	-	-

Fonte: O Autor

Como pôde ser observado na Figura 22 e constatado na Tabela 9, 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 10). 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 10).

**Tabela 10** - 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		Área 2021		Variação	
	(m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(%)
Vegetação densa	580,71	30,56	1.091,07	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
<b>Total</b>	<b>1.900,00</b>	<b>100,00</b>	<b>1.900,00</b>	<b>100,00</b>	-	-

Fonte: O Autor

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.

### 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 11.

**Tabela 11** - Áreas das classes de cobertura do solo no cenário hipotético e suas porcentagens

Classe	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Área impermeável	1.205,91	7,50
Corpo hídrico	81,11	0,50
Área antropizada	4.519,07	28,10
Vegetação não densa	8.670,24	53,90
Vegetação densa	1.608,48	10,00
<b>Total</b>	<b>16.084,81</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O Autor

A Tabela 12 mostra os valores de intensidade da chuva calculados pela equação IDF (Equação 4) para os tempos de retorno de 2 e 10 anos, com 10 minutos de tempo de duração.

**Tabela 12** - 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

Fonte: O Autor

A Tabela 13 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 13, 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 13** - Valores de CN ponderado, infiltração potencial, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento calculados para os tempos de retorno de dois e 10 anos para cada cenário

Tempo de retorno	2 anos			10 anos		
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

Fonte: O Autor

Por fim, a Tabela 14 mostra os valores de vazões obtidos pelo método racional (Equação 3) referentes aos tempos de retorno de 2 e 10 anos para os três cenários analisados. E a Tabela 15 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 13. Os valores de vazão entre os cenários 2020 e 2021 para os tempos de retorno são muito próximos (Tabela 14), com uma redução no cenário comparativo 2020-2021 de 5,21% para 2 anos e de 3,90% para 10 anos (Tabela 15). Essa variação é de ordem pequena, porém como o período observado é curto, apenas um ano, pode ser caracterizada como um decréscimo.

**Tabela 14** - Valores de vazões calculados a partir do método racional para os tempos de retorno de dois e 10 anos para cada cenário

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

Fonte: O Autor

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 (TUCCI, 2001).

Já entre os cenários hipotético e 2021, observa-se uma notável diferença de vazões (Tabela 14). Na Tabela 15, nota-se que as 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. Fato diretamente ligado ao aumento da área de vegetação densa entre os cenários, de 10% no hipotético (Tabela 11) e para 48,35% em 2021 (Tabela 9), representando um crescimento de 38,35%.

**Tabela 15** - 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	2 anos		10 anos	
	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

Fonte: O Autor

#### 5.4. Enquadramento dos SAFs como medida de infiltração de água no solo de acordo com legislação do Distrito Federal

O Capítulo V da Resolução nº 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 a instalação de outras medidas não citadas que favoreçam a infiltração de água, podem gerar essa redução. 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 no 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 DF, como: Park Way; Jardim Botânico; Grande Colorado; Sobradinho e Arniqueira. Logo, uma estratégia útil 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 a 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 três 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 higratérmico; 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 as 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 os 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 Agroflorestais no que se refere à água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Resolução nº 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. 180 p.

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.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 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, 2 março 2011.

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.

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, 98 p.

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

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

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

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,** p. 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.** 2ª ed., Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, Rio de Janeiro, RJ, 24 p.

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, 168 p.

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, 126 p.

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, 196 p.

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, p. 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.

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, 117 p.

NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. Decisão da Diretoria Colegiada em sessão extraordinária nº 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 nº 26, Brasília, DF, 6 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: 5 nov. 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.

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, 104 p.

- 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, 138 p.
- 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, 58 p.
- 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, 31 p.
- RICHARDS, J.A. (2013). **Remote Sensing Digital Image Analysis**: An Introduction. 5 ed., Springer, Berlim, Alemanha, 494 p.
- RIGHETTO, A.M. (2009). **Manejo De Águas Pluviais Urbanas**. Projeto PROSAB, Editora ABES, Rio de Janeiro, RJ, 396 p.
- 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, 89 p.
- SÃO PAULO. (2011). **Cadernos de Educação Ambiental**: Agricultura Sustentável. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, SP, 76 p.
- 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, p. 5-18.
- 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 maio 2021.
- SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. (2002). **Manual de Drenagem Urbana**: Região Metropolitana de Curitiba - PR. CH2M Hill, Curitiba, PR.
- 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, 943 p.
- TUCCI, C.E.M. (2008). “Águas urbanas.” **Estudos Avançados**, 22(63), p. 97-112.
- 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, p. 107-132.
- WOODS Ballard, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Ashley, R. e Kellagher, R. (2015). **The SuDS Manual**. CIRIA, Londres, 968 p.

## Comitê Editorial

**JEANSLEY LIMA**  
Presidente

**SÔNIA GONTIJO CHAGAS GONZAGA**  
Diretora Administrativa e Financeira

**RENATA FLORENTINO DE FARIA SANTOS**  
Diretora de Estudos Urbanos e Ambientais

**DAIENNE AMARAL MACHADO**  
Diretora de Estudos e Políticas Sociais

**CLARISSA JAHNS SCHLABITZ**  
Diretora de Estudos e Pesquisas  
Socioeconômicas

**Alexandre Silva dos Santos**  
Gerente de Demografia, Estatística  
e Geoinformação

**Cecília de Faria Sampaio**  
Gerente de Estudos Urbanos

**Cleyton dos Santos**  
Gerente de Apoio Administrativo

**Gabriel Pimenta Gadêa**  
Gerente de Gestão e Desenvolvimento  
de Pessoas

**Gustavo Saraiva Frio**  
Gerente de Estudos e Análises  
de Promoção Social

**Jéssica Filardi Milker Figueiredo**  
Gerente de Contas e Estudos Setoriais

**Júlia Modesto Pinheiro Dias Pereira**  
Gerente de Estudos e Análises  
de Proteção Social

**Jusçanio Umbelino de Souza**  
Gerente de Pesquisas Socioeconômicas

**Kássia Batista de Castro**  
Gerente de Estudos Ambientais

**Marcelo Borges de Andrade**  
Gerente de Tecnologia da Informação

**Martinho Bezerra de Paiva**  
Gerente de Administração Financeira

**Rafael Richter Oliveira da Silva**  
Gerente de Estudos Regional e Metropolitano

**Tatiana Sandim**  
Gerente de Estudos e Análises Transversais

**Renata Nogueira Fernandes**  
Chefe da Assessoria de Comunicação

**Revisão e copidesque**  
Heloísa Herdy

**Editoração Eletrônica**  
Maurício Suda

**Companhia de Planejamento  
do Distrito Federal - Codeplan**

Setor de Administração Municipal  
SAM, Bloco H, Setores Complementares  
Ed. Sede Codeplan  
CEP: 70620-080 - Brasília-DF  
Fone: (0xx61) 3342-2222  
[www.codeplan.df.gov.br](http://www.codeplan.df.gov.br)  
[codeplan@codeplan.df.gov.br](mailto:codeplan@codeplan.df.gov.br)



**Secretaria de  
Economia do  
Distrito Federal**

