

ENSAIO DE ENCHIMENTO E Esvaziamento de Poço de Infiltração em Cambissolo em Brasília, DF

Márcio Bittar Bigonha¹; Artur Borges Barros²; Maria Elisa Leite Costa³; Sergio Koide⁴

RESUMO - O presente trabalho avaliou experimentalmente a dinâmica de infiltração de um poço de infiltração de águas pluviais instalado em cambissolo no Distrito Federal. O procedimento experimental *in situ* consistiu em dois ciclos de enchimento controlado (via caminhão-pipa) até a cota de -0,7 m da superfície, seguido pelo monitoramento limimétrico contínuo do esvaziamento até a cota de -1,7 m da superfície. A taxa de infiltração e o volume infiltrado foram determinados pelo método volumétrico, subtraindo os níveis d'água no tempo e interpolando os dados minuto a minuto. A metodologia aplicada permitiu a obtenção de dados de maneira simples, acessível e replicável. A partir dos dados levantados podem ser usados modelos matemáticos que descrevem o fluxo saturado e não-saturado para calibração e a verificação do parâmetro K_{sat} e, então, uma compreensão mais detalhada da capacidade operacional desses dispositivos do ponto de vista hidráulico e hidrológico.

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza; Procedimento experimental; Dados de infiltração.

ABSTRACT - The present study experimentally evaluated the infiltration dynamics of a stormwater infiltration well installed in Cambisol in the Federal District. The *in situ* experimental procedure consisted of two controlled filling cycles (via water truck) up to a level of -0.7 m from the surface, followed by continuous water level monitoring of the drawdown down to a level of -1.7 m from the surface. The infiltration rate and the infiltrated volume were determined by the volumetric method, subtracting the water levels over time and interpolating the data minute by minute. The applied methodology allowed for data collection in a simple, accessible, and replicable manner. Based on the collected data, mathematical models describing saturated and unsaturated flow can be used for the calibration and verification of the K_{sat} parameter, thus allowing a more detailed understanding of the operational capacity of these devices from a hydraulic and hydrological perspective.

Keywords: Nature-based Solutions; Experimental procedure; Infiltration data.

INTRODUÇÃO

O Governo Federal tem investido na adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SBN). O Programa Cidades Verdes Resilientes do Ministério do Meio Ambiente foi instituído em 2024 e o programa SBN nas Periferias / Periferias Verdes Resilientes do Ministério das Cidades nasceu junto com a criação da Secretaria Nacional de Periferias (SNP), em 2023. O primeiro edital de financiamento de projetos (Edital Periferias Verdes Resilientes) foi lançado em 2025. O manual de SBN lançado pelo Ministério do Meio Ambiente cita, dentre os benefícios ambientais associados ao uso de SBN, a melhoria da qualidade do ar, da água e do solo, além da ampliação da biodiversidade e da permeabilidade do solo (Brasil, 2025).

¹Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, DF 70910-900, Brasil; bittarbigonha@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8937-7426>

²Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, DF 70910-900, Brasil; arturborgesbarros@gmail.com

³Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, DF 70910-900, Brasil; mariaelisaleitecosta@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, DF 70910-900, Brasil; skoide@unb.br; <https://orcid.org/0000-0002-0424-5748>

Por suas características operacionais, SBN são impactadas por questões locais que envolvem especificidades pedológicas, climáticas e também suas características construtivas. Com relação às características de infiltração nos solos do DF, Lima et al. (2013) registram valores de condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) variando entre 0,34 e 2602,59 mm/h para Latossolos e entre 123,03 e 1436,40 mm/h para Cambissolos, com amostragens em diferentes profundidades. A variação nos valores observados para solos de mesmo tipo aponta para a variabilidade operacional dos dispositivos, mesmo situados em regiões de mesmo tipo de solo. Nesse sentido, trabalhos experimentais e a coleta de dados *in situ* são fundamentais para caracterizar o processo de operação de SBN. O presente trabalho registra procedimento experimental realizado em um poço de infiltração construído e em operação em área de cambissolos e apresenta os dados coletados a fim de contribuir para a compreensão hidráulica e hidrológica desse tipo de dispositivo.

METODOLOGIA

O poço de infiltração estudado está localizado no Condomínio Residencial RK, em Sobradinho, Distrito Federal. O acesso ao condomínio é realizado pela rodovia DF-440. A localização detalhada da área de estudo é apresentada no Mapa de situação apresentado na Figura 1.

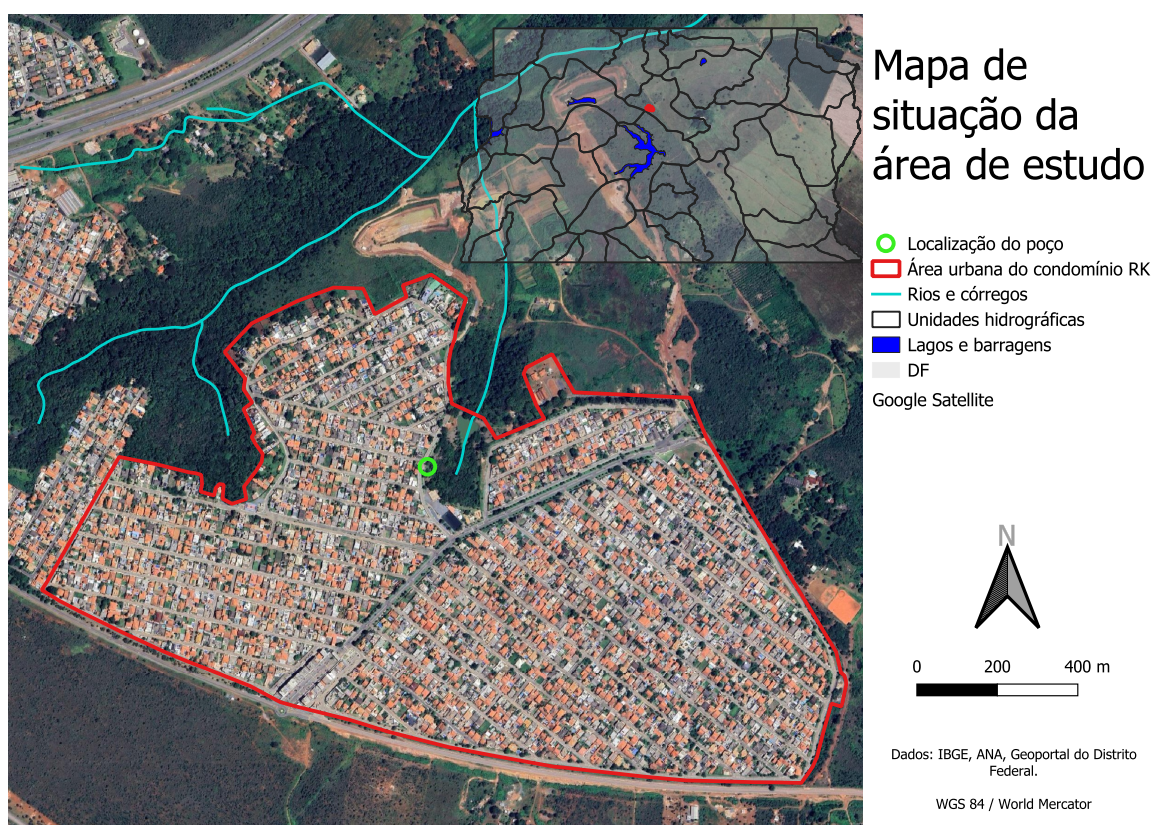


Figure 1: Mapa de situação da área de estudo.

A área se encontra perto de nascentes, na unidade hidrográfica do rio Sobradinho, que é afluente do rio São Bartolomeu. O poço de infiltração estudado está situado nas proximidades de um curso d'água, desfavorável do ponto de vista ambiental, mas fica à justante de grande parte da área urbana

do condomínio, o que torna o posicionamento interessante do ponto de vista do manejo de águas pluviais pois. O polígono da área urbana, destacado na Figura 1, tem 146 hectares.

Pedologia

Dados de pedologia do Sistema Distrital de Informações Ambientais (SISDIA) foram usados para a elaboração do mapa apresentado na figura 2. Pode-se observar a predominância de latossolos, situados principalmente nas regiões de planícies. Já nas regiões próximas a rios, pode-se verificar a ocorrência de cambissolos. A ocorrência de plintossolos é pequena e fica fora do polígono urbano do condomínio. De acordo com os dados do SISDIA, área urbana está situada majoritariamente sobre latossolos, mas há uma pequena parcela que ocupa cambissolos, é o caso da região onde se situa o poço de infiltração.

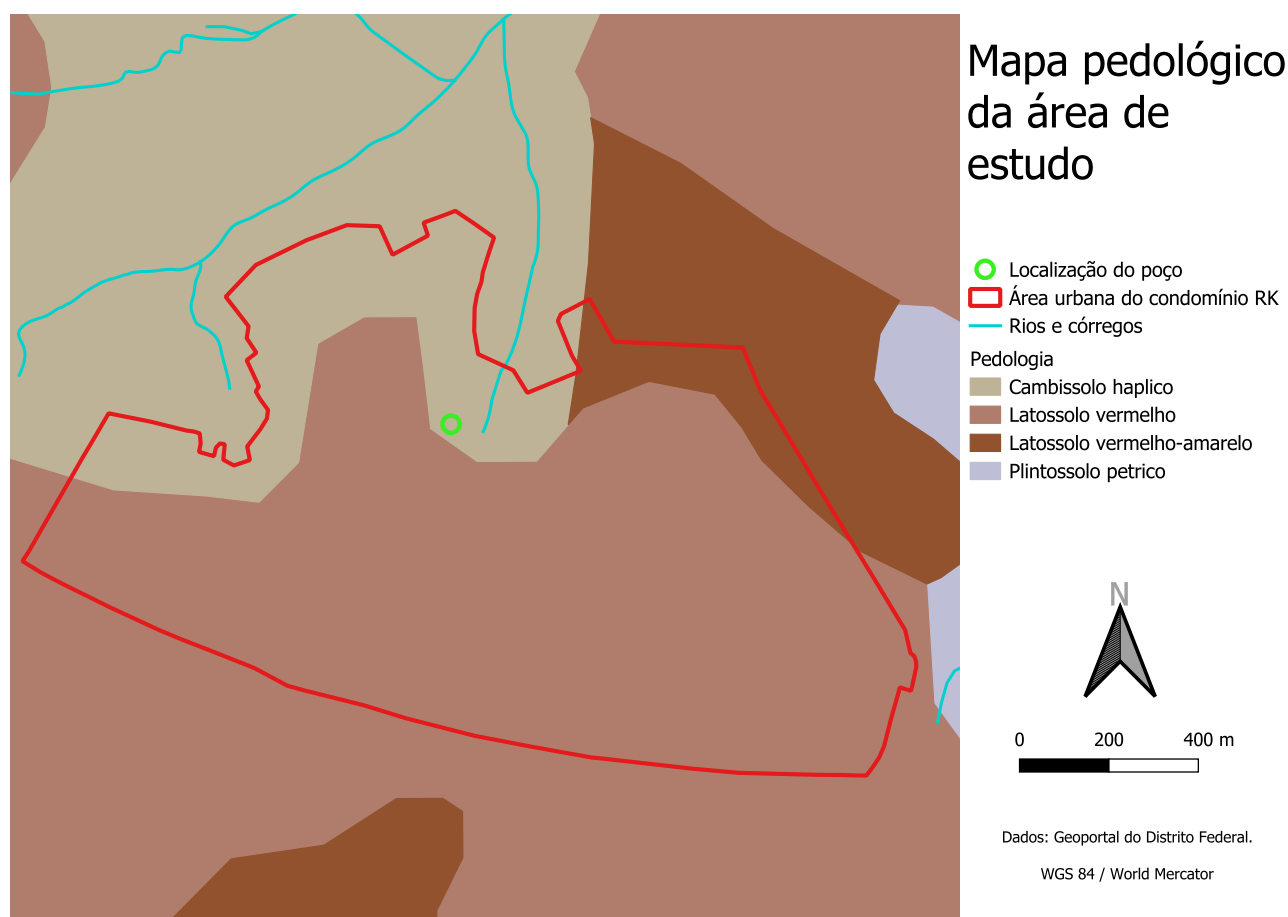


Figure 2: Mapa pedológico da área de estudo.

Estudos geotécnicos realizados em 2023 na área de estudo foram disponibilizados pelo condomínio. Dentre as caracterizações, foi realizado ensaio de infiltração para a determinação da taxa de infiltração do solo. Os procedimentos adotados para foram baseados em orientações do anexo A da NBR 13969 para Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação (ABNT, 1997). Para o ensaio, realiza-se um furo no solo com auxílio de trado e adiciona-se uma camada de 5 cm de brita no fundo. Após a saturação do solo,

realiza-se a medição do tempo de abaixamento do nível d'água aplicado no solo.

Os ensaios foram realizados nas profundidades de 0,5 m, 1 m e 1,5 m nos locais onde, na Figura 1, se encontram as bacias de drenagem. Os valores apresentados pelo ensaio são uma média dos resultados ponderados pela profundidade. As taxas de infiltração foram de 340,6 min/m (129,5 mm/h) e 463,4 min/m (176,1 mm/h) para os pontos estudados. Os valores são condizentes com a faixa indicada na bibliografia para os limites superiores de K_{sat} de cambissolos. A variabilidade observada é condizente com o que foi registrado para outra área de estudo por Coutinho et al. (2016) e com a faixa indicada na bibliografia para os limites superiores de K_{sat} de cambissolos (Adasa, 2023; Distrito Federal, 2017).

Caracterização dos Poços RK

Antes da realização de experimentos, buscou-se a caracterização do poço de infiltração e levantamento de características gerais de operação do dispositivo. Foram fornecidos, pela equipe da CSANEO, registros da construção do poço, o que facilitou a compreensão da sua configuração. As figuras 3, 4 e 5 apresentam registros do processo de construção do poço.



Figure 3: Poço de infiltração - detalhe do processo de construção com anéis de concreto.

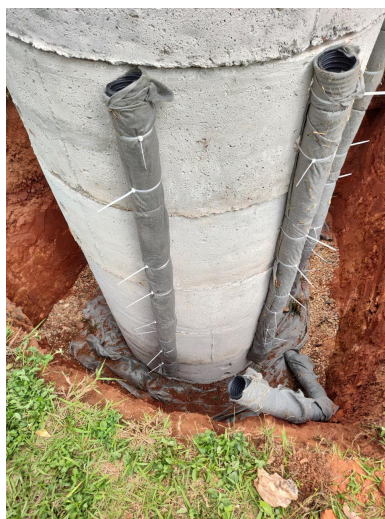


Figure 4: Poço de infiltração - detalhe dos dispositivos de infiltração.



Figure 5: Poço de infiltração - configuração final antes de conexão com a rede.

Em uma visita realizada no dia 13 de novembro de 2023, foram observados os 8 poços instalados na área de estudo. Os poços foram construídos com a utilização de peças pré-fabricadas de concreto e sua montagem foi realizada no local. Para a potencialização do processo de infiltração, foram acopladas às laterais dos poços, nos furos observados na figura 3, colunas de manta bidim preenchida com material granular. Para a avaliação do presente trabalho, foi escolhido um dos oito poços do condomínio. O critério de escolha foi a facilidade de acesso, já que todos os poços foram construídos na mesma época e apresentaram condições semelhantes. A figura 6 apresenta representações esquemáticas e registra as dimensões do dispositivo estudado. As dimensões apresentadas não estão em escala.

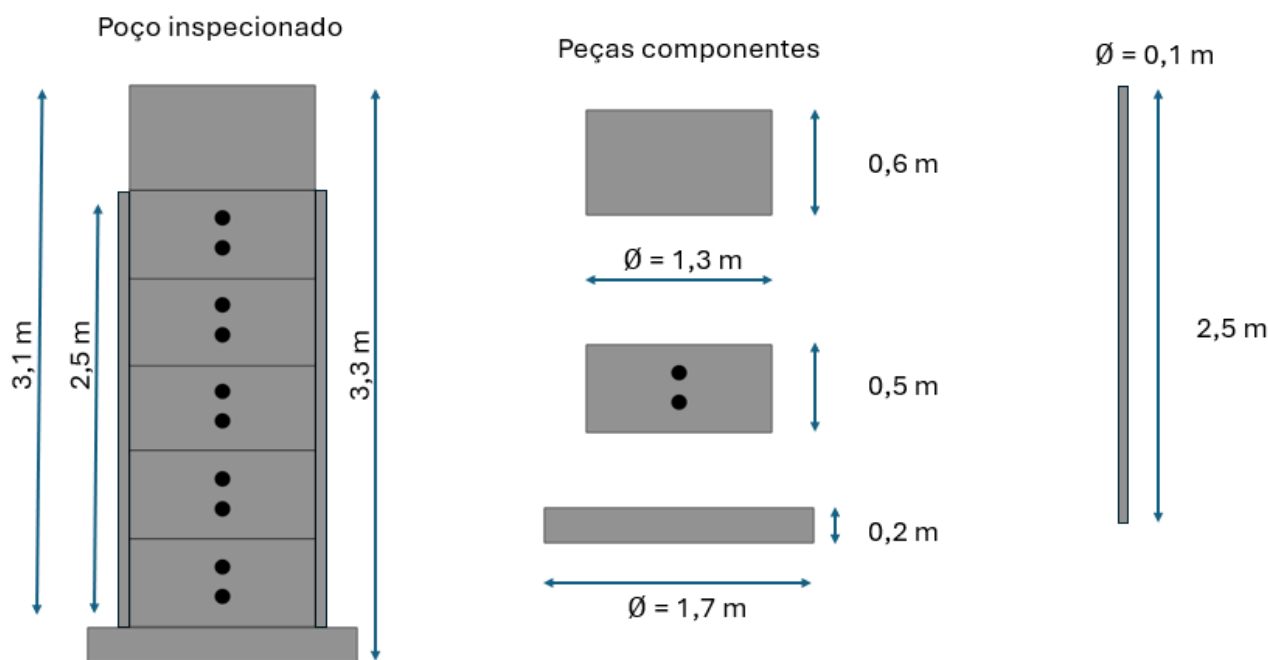


Figure 6: Desenho esquemático do poço e dimensões.

Procedimento experimental

Foram realizadas duas visitas à área de estudo. Uma visita preliminar foi realizada no dia 13 de novembro de 2023 com a presença da equipe da CSANEO, responsável pelo projeto e construção dos poços de infiltração. Nessa primeira visita, foi apresentado o sistema de drenagem de águas pluviais do condomínio com especial detalhamento dos dispositivos de controle de escoamento.

Em uma segunda visita, no dia 16 de novembro de 2023, foi realizado o procedimento experimental. A ideia do experimento foi realizar o enchimento rápido do poço de infiltração com água até um nível conhecido (a 70 centímetros da superfície) e aguardar a descida do nível, promovida pela infiltração do volume d'água. Foram registrados, tanto no enchimento quanto no esvaziamento, o tempo decorrido e o nível d'água. O ciclo, de enchimento rápido e esvaziamento pela infiltração, foi realizado duas vezes.

Para a medição do nível d'água no dispositivo durante o procedimento experimental, foram instaladas réguas linimétricas dentro do poço de infiltração, como apresentado nas figuras 7 e 8, de modo que se pudesse definir o nível inicial de água e sua variação com o tempo. Para o enchimento do poço, o condomínio RK disponibilizou um caminhão-pipa abastecido com água e dotado de dispositivo de bombeamento.



Figure 7: Poço de infiltração - detalhe da instalação da régua linimétrica.



Figure 8: Poço de infiltração - detalhe da régua linimétrica e nível d'água.

Com os dados de nível d'água, foi possível calcular a velocidade de enchimento e a velocidade de infiltração no poço. Para a obtenção de valores por minuto para todos os minutos no decorrer do experimento, foi aplicada interpolação linear nos dados registrados em campo. Por método volumétrico, desconsiderando a evaporação, foi realizada a subtração dos níveis d'água observados entre os tempos t e t_0 , a diferença foi multiplicada pela área do poço e o valor obtido foi dividido pela variação temporal, como apresentado na equação 1. A integral da velocidade de infiltração no tempo multiplicada pela área do poço equivale ao volume acumulado infiltrado no experimento. Desse modo, a taxa de infiltração média no poço pode ser estimada por:

$$f = \frac{\pi D^2 (L - L_0)}{4(t - t_0)} \quad (1)$$

Em que f é a taxa de infiltração ($m^3 \cdot min^{-1}$); D é o diâmetro interno do poço (m); t_0 é o tempo inicial (min); t é o tempo final (min); L é o nível d'água no tempo t (m); e L_0 é o nível d'água no tempo t_0 (m).

RESULTADOS

Os registros de nível d'água e seus respectivos tempos de operação coletados no procedimento experimental são apresentados na tabela 1.

Table 1: Dados do experimento de enchimento do poço de infiltração - origem na superfície do solo

Tempo	Nível (m)	Tempo	Nível (m)	Tempo	Nível (m)	Tempo	Nível (m)
00:00:00	-2,8	00:05:25	-0,8	01:10:19	-1,55	01:39:30	-0,8
00:00:13	-2,7	00:05:38	-0,75	01:17:25	-1,6	01:41:28	-0,85
00:00:22	-2,6	00:05:48	-0,7	01:24:00	-1,65	01:44:05	-0,9
00:00:36	-2,5	00:06:27	-0,75	01:33:26	-1,7	01:47:20	-0,95
00:00:57	-2,4	00:07:08	-0,8	01:34:50	-1,5	01:51:00	-1
00:01:00	-2,3	00:08:10	-0,85	01:34:58	-1,45	01:54:50	-1,05
00:01:22	-2,2	00:09:43	-0,9	01:35:04	-1,4	01:59:11	-1,1
00:01:36	-2,1	00:11:37	-0,95	01:35:14	-1,35	02:03:40	-1,15
00:01:50	-2	00:13:38	-1	01:35:20	-1,3	02:08:33	-1,2
00:02:05	-1,9	00:15:54	-1,05	01:35:28	-1,25	02:13:28	-1,25
00:02:22	-1,8	00:18:45	-1,1	01:35:40	-1,2	02:19:37	-1,3
00:02:36	-1,7	00:22:25	-1,15	01:35:46	-1,15	02:25:54	-1,35
00:02:48	-1,6	00:25:45	-1,2	01:35:54	-1,1	02:31:52	-1,4
00:03:08	-1,5	00:29:37	-1,25	01:36:04	-1,05	02:38:44	-1,45
00:03:27	-1,4	00:37:40	-1,29	01:36:12	-1	02:46:55	-1,5
00:03:45	-1,3	00:39:40	-1,3	01:36:24	-0,95	02:55:50	-1,55
00:04:08	-1,2	00:41:18	-1,31	01:36:31	-0,9	03:03:27	-1,6
00:04:22	-1,1	00:43:06	-1,32	01:36:43	-0,85	03:11:52	-1,65
00:04:42	-1	00:45:45	-1,35	01:36:55	-0,8	03:20:43	-1,7
00:04:55	-0,95	00:51:50	-1,4	01:37:05	-0,75		
00:05:04	-0,9	00:58:28	-1,45	01:37:16	-0,7		
00:05:12	-0,85	01:04:30	-1,5	01:38:00	-0,75		

Fonte: Resultado experimental

O gráfico da figura 9 apresenta os dados coletados em campo explicitando as fases de enchimento (00:00:00 a 00:05:48; e 01:33:26 a 01:37:16) e esvaziamento do poço de infiltração (00:05:48 a 01:33:26; e 01:37:16 a 03:20:43). Pode-se observar com clareza que o enchimento, realizado por meio de bombeamento, é realizado em curto espaço de tempo, mas que pode ser bem descrito pelos dados de campo. Os dados de esvaziamento também são apresentados com clareza, mas se pode verificar facilmente o período de ocorrência da interferência no procedimento experimental. A figura 10 é um registro fotográfico do momento em que se verificou a ocorrência da interferência do ensaio. Trata-se de uma vazão afluyente no conduto de alimentação do poço de infiltração. Uma vez que não havia precipitação na bacia, e que a vazão foi baixa e por curto período de tempo, é possível inferir que tenha se tratado de água proveniente de lavagem de calçadas coletadas pelo sistema de drenagem. Calculando taxa de infiltração e volume infiltrado no experimento para os dois eventos de esvaziamento por infiltração, são obtidos os valores apresentados nos gráficos das figuras 11 e 12.

Dados do ensaio de enchimento do poço de infiltração

Condomínio RK, 16 de novembro de 2023

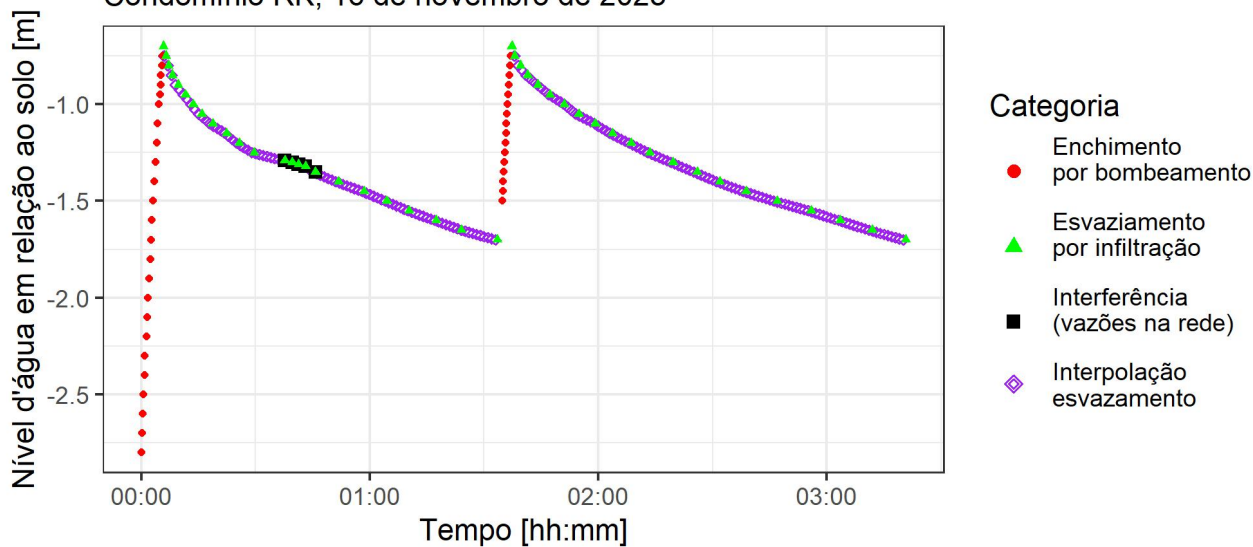


Figure 9: Dados do ensaio de enchimento do poço de infiltração.



Figure 10: Registro da ocorrência de vazões na rede durante o ensaio em campo.

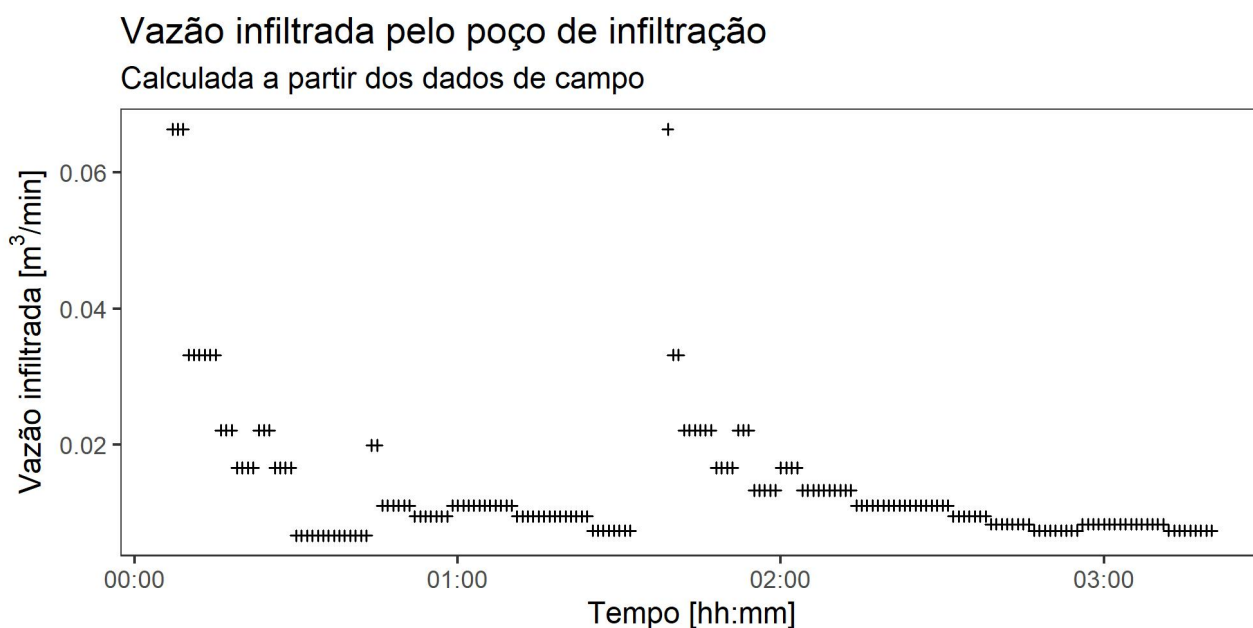


Figure 11: Vazões infiltradas calculadas a partir dos dados de esvaziamento de campo.

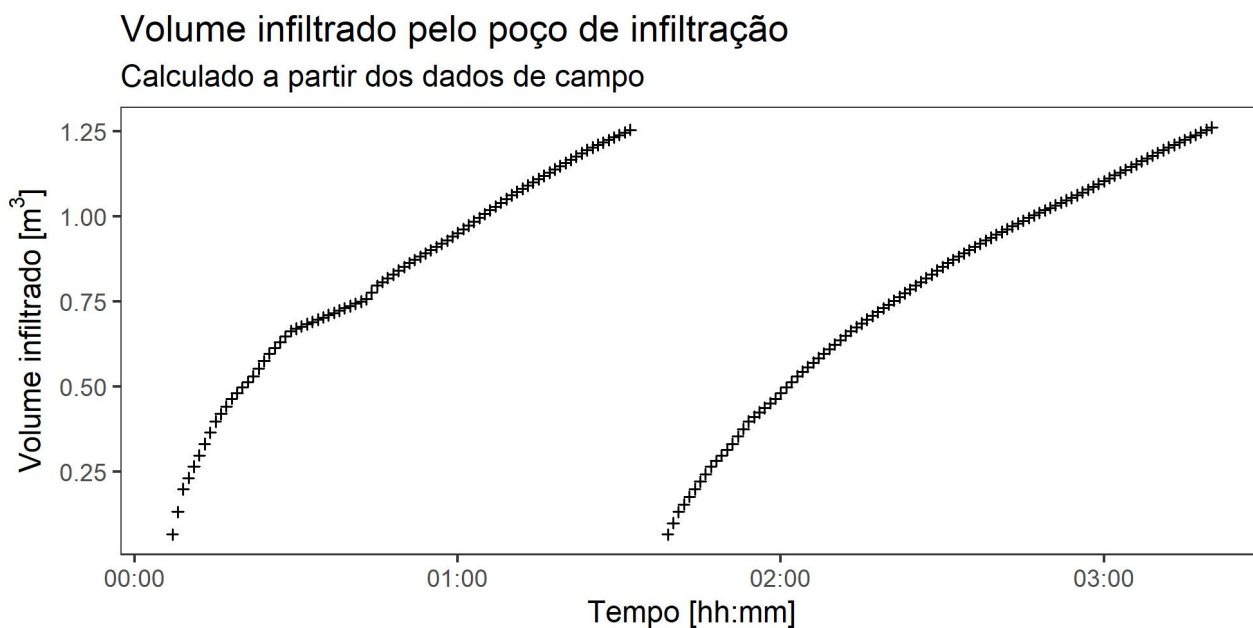


Figure 12: Volumes infiltrados calculados a partir das vazões infiltradas.

Pode-se verificar com clareza o impacto da interferência registrada no ensaio de campo, na primeira curva das figuras 11 e 12. Ainda assim, é possível verificar uma tendência semelhante entre os dois eventos de esvaziamento registrados, com comportamentos próximos de taxa de infiltração e de volumes totais infiltrados.

CONCLUSÕES

A metodologia proposta permitiu a obtenção de dados de maneira simples e acessível. A utilização de caminhão-pipa para o enchimento controlado e de réguas linimétricas para o monitoramento contínuo é uma estratégia replicável e pode ser usada para caracterizar a operação individual de poços de infiltração. A partir dos dados levantados em campo e com o uso de modelos matemáticos que descrevem o fluxo saturado e não-saturado, pode ser realizada calibração e a verificação do parâmetro K_{sat} . Tais resultados permitem a compreensão mais detalhada da capacidade operacional desses dispositivos do ponto de vista hidráulico e hidrológico.

AGRADECIMENTOS

À CSANEO pelo apoio nas atividades realizadas com o poço de infiltração e pela disponibilização das características construtivas do dispositivo e de ensaios realizados previamente; ao Condomínio RK pelo apoio na realização do experimento, com disponibilização de caminhão pipa e equipe de operadores. Ao Artur Borges, que auxiliou na condução do procedimento experimental.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL - ADASA (2023). “Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal”. 2. ed. Brasília, DF: ADASA; UNESCO.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1997). *NBR 13969: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2025). “Manual prático: aplicabilidade de soluções baseadas na natureza nos municípios brasileiros”. Brasília, DF: MMA. 72 p. ISBN 978-85-7738-554-6.

COUTINHO, A. P.; LASSABATERE, L.; MONTENEGRO, S.; ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; CABRAL, J. J. S. P. (2016). “Hydraulic characterization and hydrological behaviour of a pilot permeable pavement in an urban centre, Brazil”. *Hydrological Processes*, 30(23), 4242–4254. <https://doi.org/10.1002/hyp.10985>.

DISTRITO FEDERAL (2017). “Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF): Caderno Técnico - Matriz Ecológica”. Brasília, DF: Secretaria de Estado do Meio Ambiente.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; STRAUCH, M.; LORZ, C. (2013). “Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do bioma Cerrado”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.