\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**MODELAGEM DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO PARA SOLOS DE JUAZEIRO DO NORTE-CE**

José Ticiano Bezerra Gregório

**Resumo**

Esse estudo aborda um conceito sobre infiltração na cidade de Juazeiro do Norte que faz uso de uma técnica compensatória para aliviar os alagamentos gerado pela precipitação. A trincheira de infiltração tem por sua finalidade um processo simples que requer menos investimento e fácil instalação. O modelo matemático de Richards foi calculado pelo software Hydrus-1d que resulta em parâmetros de taxa e acumulado de infiltração. O programa permite várias possibilidades de infiltração simulando a dinâmica da água. A granulometria dos solos é um dos dados mais importantes para esse estudo. Dessa forma foi coletado dados de diferentes profundidades. A precipitação que foi determinada nos permite avaliar a técnica podendo aumentar ou diminuir para se obter maior precisão para desenvolvimento da sua estrutura. Os resultados indicam que a utilização da trincheira de infiltração abrange muito bem a precipitação e a permeabilização no solo.

**Palavras-chave:** Trincheira. Hydrus-1d. Solos.

**1.** **INTRODUÇÃO**

A elevação da taxa de ocupação do território urbano, sem adequado controle e o devido planejamento de infraestrutura, necessária ao crescimento da cidade, faz com que problemas de drenagem sejam frequentes, principalmente, nos casos em que as precipitações ocorram com intensidade elevada. Analisando as áreas que mais sofrem por falta de drenagem, percebe-se que a localização delas se dá próximo aos cursos d’água e em trechos de foz. Ademais, a falta de fiscalização para adequação do uso e ocupação do solo ocasiona a impermeabilização do solo aumentando a geração de escoamento superficial causando vários pontos de alagamentos e inundações (MAPLU, 2009).

Existem leis que regem e discriminam as condições de ocupação dos solos, são elas, a Lei Federal nº 12.651 de 2012, que se refere ao Novo Código florestal Brasileiro e a Lei nº 6.766 de 1979 que versa sobre o parcelamento do solo. Apesar disso, os problemas do processo de urbanização das cidades, como a retirada da cobertura vegetal e a falta de permeabilidade do solo em áreas construídas, elevam o escoamento natural, fazendo-se necessárias soluções para drenar as águas pluviais, de forma a gerar um rápido alívio das águas.

Obras de saneamento são robustas e requerem muito recurso. Devido a isso, órgãos públicos têm se mobilizado para tentar minimizar gastos e impactos. Assim, novas tecnologias surgem, como as *Best Management Pratices[[1]](#footnote-1) –* BMPs. As BMPs são soluções mais viáveis em comparação aos métodos de drenagem urbana utilizados tradicionalmente. Essas soluções são chamadas de técnicas compensatórias, elas têm a capacidade de controlar alagamentos e inundações através de diversos tipos de construções de sistema drenagens (trincheira de infiltração, por exemplo), que, por sua vez, tem o objetivo de tentar minimizar o pico de escoamento (EPA, 2000).

A cidade de Juazeiro do Norte, em seu perímetro urbano, possui na maior parte de sua rede de vias, o pavimento asfáltico ou pedra tosca (JUAZEIRO DO NORTE, 2022). Isso facilita a geração do escoamento superficial oriundo das precipitações e dificulta a infiltração de água no solo e consequentemente essa água não atinge o lençol freático. É considerado alto índice de precipitação quando o acumulado em um período de 24 horas ultrapassa 50 mm, portanto, ocasionando vários pontos de alagamentos em toda a cidade, causando congestionamento em algumas avenidas principais e estratégicas da cidade que ligam as cidades de Juazeiro, Crato e Barbalha. O saneamento da cidade é precário, alguns dos motivos desse efeito é o crescimento populacional desordenado, sem uma devida fiscalização de ocupação do solo e o mais importante é a falta de investimento adequado do Município ou do Estado (PALÁCIO, 2021; CONTI, 2011.)

Diante desse contexto, esse estudo tem como objetivo produzir, comparar e avaliar o processo de infiltração em três amostras de solos, através de simulação hidráulica de trincheiras de infiltração, no município de Juazeiro do Norte - CE. Para tanto, fez-se necessário avaliar os processos hidrológicos envolvidos na dinâmica da água, a capacidade de retenção e o armazenamento gerado nas trincheiras de infiltração simuladas.

**2. REVISÃO DE LITERATURA**

**2.1 DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO**

O movimento da água no solo ocorre devido à existência de gradientes de potencial mátrico. Este potencial é a soma das potencialidades matricial e gravitacional (solos não saturados) gravitacional e de pressão (solos saturados). O potencial osmótico interfere no movimento da água. As propriedades hidráulicas de um solo não saturado (θ(h) e K(h)) são de caráter geral de funções não lineares do potencial mátrico ou da umidade volumétrica. A equação de Richards pauta as transformações do teor de umidade com as mudanças do potencial total em um solo isotrópico e homogêneo.  A equação é fundamentada na [lei de Darcy](https://stringfixer.com/pt/Darcy%27s_law) para fluxo de água subterrânea, que foi produzida para fluxo saturado em vez de insaturado em meios porosos (ALVES, 2009).

A dinâmica da água em um meio poroso unidimensional, isotérmico, parcialmente saturado é descrito por uma forma modificada da Equação de Richards (Equação 1).

(1)

Em que:

h é o potencial mátrico da água no solo(L);

θ é a umidade volumétrica da água (L³ L-3);

t é o tempo (T);

x é a coordenada espacial (L);

S é um termo de sumidouro (L³ L-3 T-1);

α é o ângulo entre a direção do fluxo e o eixo vertical (ou seja, α=0º para fluxo vertical.

**2.2 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS**

As técnicas compensatórias são dispositivos projetados para reduzir a precipitação efetiva causada pelo aumento da impermeabilização em áreas urbanas. Esses dispositivos armazenam a água escoada para que ela possa penetrar gradativamente no subsolo posteriormente (COUTINHO, 2011).

Essas técnicas são utilizadas como um meio de preservação do escoamento natural, na diminuição das vazões a jusante, para se obter controle e absorver os impactos naturais, usando os meios simples como armazenar, deter, reter, interceptar, evaporar e infiltrar as águas pluviais. Contudo, existem duas classes para esses tipos de estruturas, conforme Nascimento & Baptista, 2009; Righetto *et al.*, 2009; Tucci, 2009. São elas:

* Estruturais: comportam grandes quantidades de água precipitada e das vazões geradas, contando com retenção, armazenamento e até mesmo infiltração, mas para isso requer grandes obras da engenharia e muito recurso gasto.
* Não-estruturais: abrange os meios mais simples de se minimizar o escoamento por meios natural e social, podendo usar alguns meios da engenharia.

O sistema de compensação não estrutural filtrante promove a retenção, suprimindo o escoamento superficial direto e permitindo o escoamento fluvial para o subsolo, desempenhando um papel no controle de absorção de água superficial. Esses equipamentos precisam ser eficientes e robustos para suportar o comportamento do escoamento ao quais estão conectados (MOURA *et al*., 2009).

Os produtos dessas técnicas sofrem com a poluição urbana por meio da coleta das águas que se misturam com o lixo e percorrem trechos até adentrar nas estruturas, causando assim danos, ocupando espaços e dificultando as formas de infiltração. Outro problema é o destino do esgoto que nem sempre é descartado da maneira correta e em alguns casos se misturam com as águas fluviais e leva o lixo que se encontra presente no esgoto até a estrutura (BAPTISTA et al, 2005).

**2.2.1 Trincheiras de Infiltração**

Uma das técnicas compensatórias que faz uso de infiltração linear e em sua propriedade tem largura e profundidade menores que o comprimento é a trincheira de infiltração. Tem função de captar e armazenar a água provida da chuva por um espaço de tempo e aos poucos a água infiltra no solo, umedecendo assim o solo e potencializando a chegada ao lençol freático. Essa técnica faz uso para reduzir água em escoamento e evitar alagamentos e até mesmo inundações (AZZOUT et al., 1994).

Figura 1. Trincheira de infiltração

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: Melo, 2011.

Geralmente são instaladas próximas à superfície ou em profundidades menores para coletar a água da chuva que escoa perpendicularmente ao seu comprimento, facilitando a infiltração e o armazenamento temporário. Eles consistem em trincheiras preenchidas com material granular.

A trincheira de infiltração é bem integrada ao ambiente, o espaço utilizado pode ser destinado a outros fins como paisagismos e pode ser instalada em áreas sem finalidades. A sua instalação é destinada próximo aos pontos críticos das inundações para poder recolher as águas da superfície. A trincheira precisa de alguns cuidados como verificar a camada impermeável, lençol freático, cobertura vegetal, declividade, uso e tipo do solo. Portanto, a utilização da trincheira traz um alívio para o reflexo das precipitações reduzindo o acúmulo de água na superfície (SOUZA, 2007).

Para esse trabalho foi escolhido a técnica compensatória de trincheiras de infiltração por ser um dispositivo que através de sistema de drenagem efetua a coleta e introduz na trincheira. A infiltração no solo das águas é feita na base ou nas paredes da estrutura. No interior da estrutura pode ser composto por brita, pedras de mão, seixos ou material granular graúdo.

**3. MATERIAL E MÉTODOS**

**3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A cidade tem uma área territorial de 258,79 km² e por sua vez tem uma população estimada para o ano de 2021 de estimativa de 278.264 habitantes atualmente, fica situada a 531 km da capital Fortaleza, ao Sul do Ceará e tem uma elevação de 350 m em relação ao nível do mar (IBGE, 2021).

O clima da região é classificado como Aw', ou clima tropical seco, com distribuição irregular das chuvas ao longo do ano. A estação chuvosa vai de janeiro a abril, com precipitação média anual de 979 mm e altas temperaturas anuais de 26,7 graus (INMET, 2020).

A distribuição das classes do solo presentes em Juazeiro do Norte é dividida em 3 tipos: o Latossolo, Argissolo e o Neossolo, conforme Palácios (2021).

* Os Neossolos proporcionam uma elevada permeabilidade e infiltração.
* Os Argissolos são mais atraídos pelo escoamento superficial.
* Os Latossolos são mais fáceis de drenagem e com uma elevada permeabilidade.

Figura 2. Mapa dos solos de Juazeiro do Norte



Fonte: Palacio, 2021.

A área está localizada na bacia sedimentar do Araripe e está completamente inserida na bacia hidrográfica do Salgado, tendo como principais drenagens o rio Batateiras e Carás, riacho dos Macacos, e o reservatório principal, Açude Riacho dos Carneiros.

A ocupação da área urbana é localizada mais ao sul do município chegando a cobrir uma área de 18,4%, a mata ciliar 3,3%, o solo exposto cobre uma área de 1% e a caatinga 76,3% (Palácios, 2021).

Figura 3. Uso e ocupação do solo



Fonte: Palácio, 2021.

A cidade sofre com inundações como na Figura 4, onde houve precipitação de 39 mm, gerando escoamento superficial e transtornos na cidade principalmente nos pontos de concentração de alagamentos e problemas na locomoção da população (Wilson, 2020).

Figura 4. Inundações em Juazeiro do Norte

Rua com árvores

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: Wilson, 2020.

* 1. **MODELO HYDRUS-1D**

O modelo utilizado faz a simulação dinâmica da água através do processo de infiltração subsuperficial. O modelo consegue resolver numericamente as equações de Richards e do transporte de soluto que inclui a estimativa inversa dos parâmetros hidráulicos e de transporte (ALVES, 2009).

O software Hydrus-1D dispõe de uma sequência de passos para simular um processo de infiltração. O objetivo é parametrizar o modelo conforme área em estudo. Ele requer uma série de itens de pré-processamento que permite parametrizar as trincheiras utilizadas neste estudo. Cada item permite inserir informações e sequências de configurações de dados. Todos os itens listados na Figura 5 foram fornecidos dados e configurações.

Figura 5. Programa Hydrus-1d

Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Simunek, 2013.

No pré-processamento é definido qual é o principal processo físico da água que o modelo vai calcular, pode ser vapor, neve ou fluxo de água. Na geometria da estrutura é definido quantas camadas existe no solo abordado, qual a profundidade em relação ao eixo e em qual dimensão o modelo irá calcular sendo vertical ou horizontal. Deve ser informado o tempo de início e fim da simulação.

Figura 6. Processo físico da água

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Simunek, 2013.

Figura 7. Geometria da estrutura

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Simunek, 2013.

Figura 8. Tempo pré-definido

Tabela

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Simunek, 2013.

O modelo irá fazer os cálculos em intervalos de tempos pré-definidos. Gravando e salvando esses dados nos arquivos de saídas. Os parâmetros relacionados ao procedimento matemático que resolve as equações de Richards são fornecidos e calculados, que são os critérios de interações, controle de espaço de tempo e as tabelas de interpolação internas. As funções relacionadas ao conteúdo de água potencial, matricial e condutividade que é calculada pela equação de Van Genuchten-Mualem e sem retardo de histereses.

Figura 9. Parâmetros da equação de Richars

Tabela

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: Simunek, 2013.

O fluxo de água é definido com os dados obtidos pela granulometria dos solos que consiste em argila, areia e silte, dados fornecidos em porcentagens da amostra total. A densidade também é inserida. Nas condições de contorno de fluxo de água é definido os limites superiores e inferiores podendo acima ter uma camada de água e abaixo ter uma livre drenagem. A precipitação é importante para a simulação para se obter uma conclusão do processo de infiltração.

Figura 10. Granulometria do solo

Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Simunek, 2013.

Na configuração do perfil do solo tem um total de 101 nós que resulta em intervalos de profundidade e locais onde foram calculadas durante a solução numérica da equação de Richards. As camadas do solo são definidas como as amostras foram coletadas que foram em 3 profundidades e assim obtendo valores diferentes para cada profundidade em estudo.

**3.3 Dados utilizados**

As amostras dos solos em estudo foram fornecidas pela FUNCEME (2012) a qual foi escolhida os dados para a simulação da trincheira de infiltração. A tabela 1 tem uma profundidade de 1,3 m, tem relevo plano, não pedregoso e com média de densidade de 1,38 g/cm³. A tabela 2 tem profundidade de 1 m, tem relevo plano, não pedregoso e com densidade média de 1,35 g/cm³. A tabela 3 tem profundidade de 1,5 m, relevo local forte ondulado, pedregoso e com densidade de 1,49 g/cm³ (FUNCEME, 2012).

Como dado já pré-definido e por se fazer uso de simulação foi usado uma precipitação de 40 mm. Segundo Conti (2011), que considera uma precipitação alta quando ultrapassa 50 mm em 24 horas e a cidade apresentar alto índice de alagamento foi utilizado uma precipitação menor para se observar a taxa e o acumulado de infiltração.

Tabela 1. Amostra de solos 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Profundidade (cm) | Areia (g) | Silte (g) | Argila (g) | Densidade |
| (g/cm³) |
| 0-30 | 661 | 127 | 212 | 1,42 |
| 30-70 | 602 | 166 | 232 | 1,29 |
| 70-130 | 479 | 248 | 273 | 1,43 |

Fonte: FUNCEME, 2012.

Tabela 2. Amostra de solos 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Profundidade (cm) | Areia (g) | Silte (g) | Argila (g) | Densidade |
| (g/cm³) |
| 0-25 | 436 | 271 | 293 | 1,32 |
| 25-60 | 566 | 180 | 254 | 1,3 |
| 60-100 | 368 | 298 | 334 | 1,43 |

Fonte: FUNCEME, 2012.

Tabela 3. Amostra de solos 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Profundidade (cm) | Areia (g) | Silte (g) | Argila (g) | Densidade |
| (g/cm³) |
| 0-30 | 788 | 19 | 193 | 1,55 |
| 30-80 | 633 | 134 | 233 | 1,49 |
| 80-150 | 414 | 292 | 294 | 1,43 |

Fonte: FUNCEME, 2012.

**4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Por se fazer uso das trincheiras de infiltração no modelo hydrus-1d foi definido o processo de fluxo de água. A geometria consisti na posição vertical com três camadas de solos (Areia, Silte e Argila) dividida em profundidades em centímetros.

A cidade tem baixa declividade e com isso gerando vários pontos de alagamentos, foi introduzido no software um intervalo de tempo para esvaziamento de 72 horas. A literatura apresenta vários intervalos de tempo para esvaziar a trincheira, as mais usuais são de 72 horas como apresenta (Duchene, 1994) e de 48 horas (SMMWW, 2014).

A equação de Richards é modelada em um sistema de equações simultâneas que é solucionada em um determinado tempo. Os critérios de interação como no máximo 10 números de interações e 0,001 de teor de água. Tempo de controle é definido em 4 parâmetros de intervalo de interação no interior de 3 e superior de 5 e o fator de multiplicação de passo de tempo inferior de 1,3 e superior de 0,7.

O sistema interage com o meio na parte superior com uma pequena camada de água que age no perfil do solo e na parte inferior com uma livre drenagem com o conteúdo de água. Foi dividido em três partes cada um dos solos.

Para o estudo foi usado três tipos de solos localizado em 0470101mE/9209429mN (UTM), 0468157mE/9204658mN (UTM) e 0472499mE/9205984mN (UTM), na cidade de Juazeiro do Norte. (FUNCEME, 2012).

Para o procedimento do modelo matemático foi adotado alguns valores e outros foi calculado pelo autor. A granulometria dos solos que é importante na permeabilização foram calculados a partir das três amostras fornecidas pela (FUNCEME, 2012) e assim encontrados a porcentagem de silte, areia e argila dento do paramento da profundidade. Os cálculos foram descritos na amostra de um quilo para cada profundidade e assim dividida a massa de cada granulometria pela massa total, multiplicado por cem e encontrando assim a porcentagem. Como está descrito nas tabelas quatro, cinco e seis.

Tabela 4. Porcentagens do solo 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Profundidade (cm) | Areia % | Silte % | Argila % |
|  |
| 0-30 | 66,1 | 12,7 | 21,2 |  |
| 30-70 | 60,2 | 16,6 | 23,2 |  |
| 70-130 | 47,9 | 24,8 | 27,3 |  |

Fonte: Autoria própria

Tabela 5. Porcentagens do solo 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Profundidade (cm) | Areia % | Silte% | Argila % |
|  |
| 0-25 | 43,6 | 27,1 | 29,3 |  |
| 25-60 | 56,6 | 18 | 25,4 |  |
| 60-100 | 36,8 | 29,8 | 33,4 |  |

Fonte: Autoria própria

Tabela 6. Porcentagens do solo 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Profundidade (cm) | Areia % | Silte % | Argila % |
|  |
| 0-30 | 78,8 | 1,9 | 19,3 |  |
| 30-80 | 63,3 | 13,4 | 23,3 |  |
| 80-150 | 41,4 | 29,2 | 29,4 |  |

Fonte: Autoria própria

Para a trincheira no solo 1, a taxa de infiltração no início ficou a 2,1 cm/horas e variou de 0 a 15 horas até ficar instável a 0,6 cm/horas no período de 15 a 72 horas (Gráfico 1). O acumulado de infiltração no mesmo solo variou até as 15 horas chegando à profundidade de 35 cm e obtendo uma pequena variação até o final do período chegando a quase 60cm (Gráfico 4). Resultando assim que a estrutura suportaria muito bem a precipitação em estudo. O solo absorve corretamente a água capitada.

No gráfico 2, observa-se que a taxa inicial de 1,4 cm/horas com uma variação até a 0,4 cm/horas no período de 0 a 19 horas depois a ficar de 0,4 cm/horas até o final do tempo de 72 horas. O acumulado (Gráfico 5) variou até as 19 horas atingindo 19cm e continuando a variação até o final do período chegando a quase 40cm. A estrutura e o solo suportando também a precipitação.

Já no gráfico 3, a taxa inicial foi de 2,5 cm/horas variando a 0,4 cm/horas no tempo de 20 horas e ficando estável a 0,4 cm/horas até o final do tempo. O acumulado (Gráfico 6) variou até as 20 horas chegando a 25cm e ficando estável até o final a quase 50 cm de profundidade. O solo e a estrutura dentro dos parâmetros esperados.

Analisando e comparando os gráficos, as taxas de infiltrações dos três solos resultam que fazem muito bem a permeabilização da água absorvida sendo que o solo três tem uma maior taxa de infiltração e o solo dois tem uma menor taxa em relação aos demais. O acumulado de infiltração mostra que o solo um tem um maior acumulado e o solo dois tem a menor acumulação de infiltração.

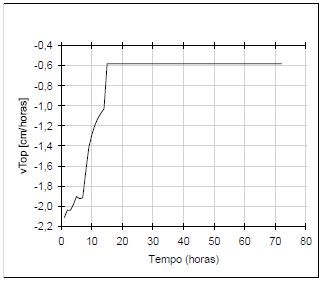
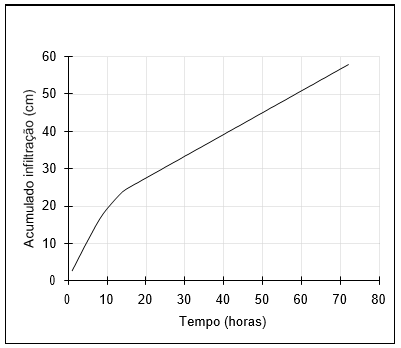


Gráfico 1Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamenteGráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente. Taxa de infiltração solo 1 Gráfico 2. Taxa de infiltração solo 2 Gráfico 3. Taxa de infiltração solo 3

Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

Grafíco 4Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamenteGráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente. Acumulado de infiltração solo 1 Grafíco 5. Acumulado de infiltração solo 2 Grafíco 6. Acumulado de infiltração solo 3

Fonte: Autoria propria. Fonte: Autoria propria. Fonte: Autoria propria.

Os resultados apresentados permitem avaliar que para uso das trincheiras os solos apresentam uma ótima taxa e acumulado de infiltração, retendo e diminuindo os pontos de alagamentos. Podendo contribuir com o meio ambiente e alimentando assim o lençol freático.

Duchene (1994) usou um modelo bidimensional para provar o funcionamento da trincheira de infiltração armazenando a água da chuva. Alcançando o resultado que a taxa de infiltração diminui com o tempo e está relacionado com as condições de umidade.

Graciosa (2008), usou um modelo bidimensional para estimar o volume infiltrado em uma trincheira de infiltração. Obtendo um resultado satisfatório de redução de escoamento superficial usando a trincheira de infiltração.

Lucas (2015), fez um estudo de construção e manuseio da trincheira avaliando a taxa de infiltração. Tendo como resultado satisfatório mesmo existindo um transporte de material fino para dentro da trincheira e dificultando a permeabilidade.

**5. CONCLUSÃO**

Para o determinado problema que a cidade de Juazeiro do Norte sofre as técnicas compensatórias podem ser ligeiramente uma solução, podendo usar a técnica da trincheira de infiltração para suprir as necessidades em determinados pontos de alagamentos na cidade. De fácil e rápida construção a técnica em estudo é mais viável e mais econômica em relação aos meios tradicionais.

As análises mostram que o programa Hydrus-1d prever a taxa e o acumulado de infiltração correspondendo muito bem aos cálculos esperados. O modelo consiste em seus domínios vários outros tipos de como descrever a dinâmica da água, facilitando assim cálculos matemáticos.

Após as análises dos solos, precipitação e estrutura observasse que os materiais em estudo seriam viáveis para aderir a técnica como um meio para aliviar as inundações. Os gráficos fornecidos pelo modelo permitem a avaliação e conclusão de que a instalação seria correspondente ao esperado.

**6. REFERÊNCIAS**

Ali, S. A., Khatun, R., Ahmad, A., & Ahmad, S. N. (2019). **Application of GIS-based analytic hierarchy process and frequency ratio model to flood vulnerable mapping and risk area estimation at Sundarban region, India.** Modeling Earth Systems and Environment, 5(3), 1083–1102.

ALVES, E.M. (2009). **Aplicação do programa hydrus -1d em solo cultivado com feijão caupi**. Dissertação de Mestrado, 83 pg. Programa de Pós – Graduação em Tecnologia Energéticas e Nucleares, CTG, UFPE.

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; ALFAKIH, E**. Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception,realization et entretien**. Paris: Lavoisier.372p., 1994.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** Porto Alegre, ABRH, 266p, 2005.

COUTINHO, A. P, **Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do recife**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 152p., 2011.

CONTI, José Bueno. **Clima e meio ambiente**. 7. Ed. São Paulo: Atual, 2011. 96 p.

DUCHENE, M.; MCBEAN, E. A.; THOMSON, N. R**. Modeling of Infiltration From Trenches for Storm Water Control**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 120, n. 3, pp. 276-293, 1994.

EPA – Environmental Protection Agency. **Estimation of Infiltracion rate the vadose zone: Application of Selected Mathematical Models**. 1998, v 1 and 2.

FUNCEME. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos** - Mesorregião do Sul Cearense / Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Fortaleza, 2012.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. **Simulação hidráulica de trincheira de infiltração de águas pluviais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 13, n. 2, abr – jun, p.89-99, 2008.a.

IBGE – INSTITUTO **BRASILEIRO** DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/juazeiro-do-norte.html>. Acesso em 16 de abril de 2022

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Série Histórica de 20 anos (1999-2019).** Disponível: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso: 3 abr. 2022.

LUCAS, A. H.; SOBRINHA, L. A.; MORUZZI, R. B.; BARBASSA, A. P. **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil**. Engenharia Sanitária Ambiental. v.20 n.1, p.17-28, 2015.

MAPLU. (2009). **Manejo de águas pluviais** urbanas.Coordenador : Antonio Marozzi Righetto, Rio de Janeiro : ABES, 2009 .396 p, Projeto PROSAB.

Melo, Tássia dos Anjos Tenório de. **Jardim da chuva: sistema de biorretenção como tecnica compensatoria no manejo de aguas pluviais urbanas.** Recife. 2011.

MOURA, T.A.M. (2005). **Estudo Experimental de Superfícies Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 117 p.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. (2009) **Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais**. In: RIGHETTO, A. M. (coord.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro: ABES. 396p.

Palácio, O. D.; Oliveira, C. W.; Meireles, A. C. M.; Souza Júnior, T. G. 2021. **Análise da susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará.** Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n. 4 , 16 p.

SEINFRA-Secretaria municipal de infraestrutura. Juazeiro do Norte. 2022. Disponível: <https://juazeirodonorte.ce.gov.br/secretaria.php?sec=12>. Acesso em 12 abr. 2022.

Simunek, Jiri, Jirka & Šejna, Miroslav & Saito, Hirotaka & Sakai, Masaru & Van Genuchten, Martinus. (2013). **The Hydrus-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.17, HYDRUS Software Series 3**. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California. USA.

SMMWW - **STORMWATER MANAGEMENT MANUAL FOR WESTERN WASHINGTON (2014).** Washington State Department of Ecology. Manual. Disponível em:<http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/stormwater/manual/2014SWMMWWinteractive/Content/Resources/DocsForDownload/2014SWMMWW.pdf >. Acesso em 08 jun. 2022.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, Porto Alegre, 150p., 2002.

TUCCI, C. E. M. (2009) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, pag.5-27.

Wilson, G. **Chuvas deixam ruas alagadas em Juazeiro do Norte nesta quinta.** Portal de notícias Badalo, 2020. Disponível em: < <https://www.badalo.com.br/featured/chuvas-deixam-ruas-alagadas-em-juazeiro-do-norte-nesta-quinta-17-veja-previsao/>>. Acesso em:14 de junho de 2022.

1. Melhores Práticas de Gerenciamento. [↑](#footnote-ref-1)