

# NOTA Metodológica

## POTENCIAL DA PROVISÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS HÍDRICOS EM DIFERENTES USOS E COBERTURAS DO SOLO

Brasília-DF, dezembro de 2023

**Governo do Distrito Federal - GDF**

**Ibaneis Rocha**

Governador

**Celina Leão**

Vice-governadora

**Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Administração do Distrito Federal -  
SEPLAD**

**Ney Ferraz**

Secretário

**Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal – IPEDF Codeplan**

**Manoel Clementino Barros Neto**

Presidente

**Renata Florentino de Faria Santos**

Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - DEPAT

**Dea Guerra Fioravante**

Diretora de Estatística e Pesquisas Socioeconômicas - DIEPS

**Marcela Machado**

Diretora de Estudos e Políticas Sociais – DIPOS

**Sônia Gontijo Chagas Gonzaga**

Diretoria de Estratégia e Qualidade – DIESQ

**Leandro Mota**

Diretoria de Administração Geral – DAG

## **EQUIPE RESPONSÁVEL**

### **Diretoria de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - DEPAT**

Renata Florentino - Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais

### **Coordenação de Estudos Ambientais:**

Aline da Nóbrega Oliveira – Coordenadora de Estudos Ambientais

Débora Nesralla – Técnica em Planejamento

Leandro de Almeida Salles – Gerente de Sustentabilidade

Rogério Vidal Siqueira – Assessor Especial

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização gera uma diversidade de impactos, dentre eles, a impermeabilização e compactação dos solos, impedindo o funcionamento dos ciclos naturais e da infraestrutura ecológica. Nesse panorama, o manejo adequado do uso da terra, como trabalhado na agricultura, possibilita a manutenção das trocas ecológicas e consequentemente a provisão de serviços ecossistêmicos. Frente ao acelerado processo de urbanização e as crescentes taxas de insegurança alimentar nas cidades, a Agricultura Urbana e Periurbana tem se destacado como aliada na mitigação dessas questões. No entanto, além de sua função finalística, para produção de alimentos e abastecimento de comunidades, pode também desempenhar um importante papel na provisão de outros serviços ambientais, em especial os hídricos, como a recarga dos aquíferos, o controle do escoamento superficial e a evapotranspiração, especialmente quando se trata de regiões de elevado estresse hídrico e baixa disponibilidade de água, como o Distrito Federal.

No Distrito Federal, as ações em prol do fomento de práticas de Agricultura Urbana e Periurbana são crescentes, contudo, ainda se mostram incipientes para os produtores e comunidades de tipologias de Resistência e Periurbana. Essas categorias abrangem as áreas com a maior extensão de terras cultivadas e produtivas e estão localizadas em regiões onde há uma intensa pressão para parcelamento irregular para fins urbanos. Com isso, tem se gerado um impacto direto na produção de alimentos, assim como sobre os ciclos naturais (água, carbono entre outros). Nesse contexto, como forma de compreender os impactos das práticas agrícolas para além da produção de alimentos e o papel na provisão de Serviços Ambientais em diferentes usos e manejos da terra, avaliou-se a provisão dos serviços associados ao ciclo hidrológico, que no âmbito do Distrito Federal se mostram cruciais para a manutenção das comunidades nas cidades.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram elaborados protótipos para serem simulados através do *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) que é um modelo hidrológico que vem sendo amplamente utilizado para o monitoramento hidrológico em bacias hidrográficas. No Brasil, Bressiani et al. (2015) identificaram mais de 100 estudos que utilizaram o SWAT, no período entre 1999 e 2015. Muitos desses estudos foram conduzidos no bioma Cerrado e no Distrito Federal, (e.g. SARMENTO, 2010; STRAUCH et al., 2012; STRAUCH & VOLK, 2013; STRAUCH et al., 2013; FERRIGO, 2014; SALLES et al., 2015; TÁVORA, 2017; ARAÚJO, 2018; FERREIRA, 2021), apresentando resultados satisfatórios nas simulações de vazões e outras variáveis do ciclo hidrológico.

No presente estudo foram simulados os modelos para os seguintes usos: i) urbano de alta densidade, ii) área de solo exposto, iii) área gramada, iv) áreas com produção de alimentos (cenoura, mandioca e citrus), sendo avaliado o percentual da provisão de serviços ambientais em cada um dos usos: evapotranspiração e escoamento e recarga de aquíferos (infiltração). A simulação de modelos que avaliam a gestão de uso da terra são ferramentas que podem contribuir para o planejamento ambiental e territorial por avaliar de forma quantitativa o potencial das trocas ecológicas e contribuir para a formulação de políticas públicas e engajamento ambiental das comunidades locais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo foi avaliar a contribuição dos componentes do ciclo hidrológico (evapotranspiração (ET), escoamento superficial (Q), recarga do aquífero (RA), quantidade de sedimentos (ton/ha·ano) e precipitação (P) em diferentes cenários de uso e ocupação do solo, no Distrito Federal com ênfase na produção agrícola.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a contribuição média anual da ET, da recarga do aquífero poroso (RA), e do escoamento superficial (Es) em diferentes condições de uso do solo e de tipo de solo, no Distrito Federal.
- Avaliar a produção média anual da sedimentos (Sed) em diferentes condições de uso do solo e de tipo de solo, no Distrito Federal.
- Comparar o comportamento hidrossedimentológico de diferentes classes de uso e ocupação do solo.
- Avaliar impactos ocasionados por mudanças do uso e ocupação do solo em componentes do ciclo hidrológico e na produção de sedimentos.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos do presente estudo, foram realizadas simulações hidrológicas utilizando o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Esse modelo foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service* (ARS/USDA) dos Estados Unidos, com o objetivo de analisar os impactos gerados pela alteração do uso e manejo do solo em bacias hidrográficas complexas, e que possuem diferentes combinações de uso, manejo e tipo de solos (NEITSCH et al., 2011).

O modelo SWAT é semi-distribuído, sendo capaz de considerar a variabilidade espacial e temporal dos tipos e usos do solo, das feições topográficas e dos parâmetros climatológicos nas sub-bacias (SARMENTO, 2010).

A partir do cruzamento do (i) modelo digital de elevação (DEM) com (ii) o mapa de solos e (iii) com o mapa de uso e ocupação do solo, o modelo SWAT cria unidades hidrológicas (HRU), sendo que cada HRU possui atributos únicos (uso do solo/manejo do solo/atributos pedológicos) para o processamento do ciclo hidrológico (NEITSCH et al., 2011).

Assim, buscando comparar o comportamento da fase terrestre do ciclo hidrológico em diferentes cenários, a análise foi efetuada na mesma unidade hidrológica (HRU), cujo uso do solo foi simulado nas seguintes classes: hortaliça (cenoura); milho; Fruticultura (laranja); altamente urbanizado; mandioca; grama e solo exposto. Cada uma das sete classes de uso do solo foi simulada em: latossolo vermelho (LV); latossolo vermelho-amarelo (LVA); e cambissolo (CX). No total, foram simuladas 7 classes de uso do solo em 3 tipos de solo, totalizando 21 cenários.

Utilizou-se o banco de dados disponível em Lima *et al.* (2013) com as propriedades físicas dos tipos de solos simulados no presente estudo. Esse banco de dados possui o valor mínimo, médio e máximo das propriedades físicas de solos que ocorrem no bioma Cerrado e que são necessárias para o uso do modelo. Para a maior parte dos cenários avaliados, a análise foi feita com os valores médios dos parâmetros disponíveis no banco de dados de solos. No entanto, para representar uma condição de maior compactação do solo, que é comumente observado em

algumas classes de uso do solo em áreas urbanas, as simulações nos cenários com grama, solo exposto e altamente urbanizado foram feitas utilizando: (i) os valores mínimos de condutividade hidráulica saturada (SOL\_K) e capacidade de armazenamento de água no solo (SOL\_AWC); e (ii) com os valores máximos de densidade dado solo (SOL\_BD) e erodibilidade do solo (USLE\_K) disponíveis no banco de dados.

As simulações em LV e em LVA foi feita na mesma feição de MDE, resultando nas mesmas características topográficas para a HRU, enquanto as simulações com CX foi feita em outra localidade com maior declividade. A HRU em LV e LVA possui 2,52 hectares e declividade de 0,41m/m enquanto a HRU em CX possui 2,16 hectares e 0,81m/m, sendo glebas com dimensões compatíveis com áreas destinadas à agricultura urbana e periurbana no DF.

O modelo digital de elevação utilizado foi o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de aproximadamente 30m (1 arco-segundo) e pode ser baixado no site do USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Para cada cenário, foi realizado uma simulação do modelo entre 01/01/1981 e 31/12/2020, totalizando 40 anos. A série histórica de precipitação e das condições climáticas (temperatura mínima e máxima, umidade relativa e velocidade do vento) foram obtidas no site do INMET (<http://www.inmet.gov.br>) da estação meteorológica de Brasília (83377). Como a estação meteorológica de Brasília fornece a quantidade de horas de insolação por dia, calculou-se a radiação solar pelo método exposto no documento FAO-56 (ALLEN *et al.*, 1998). O dado de velocidade do vento também foi ajustado, conforme o documento FAO-56 para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pelo método Penman-Monteith. O modelo foi utilizado na sua condição *default*, não sendo realizada calibração e análise de incertezas dos parâmetros. Foi utilizado 10 anos de aquecimento nas simulações.

O modelo SWAT foi parametrizado com o método Curva-Número (CN) para simular o escoamento superficial (Q). Conforme proposto em Sartori *et al.* (2005) e por Lima *et al.* (2013), o LV e o LVA foram classificados no grupo hidrológico do tipo A, sendo solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão, enquanto o CX foi classificado no grupo hidrológico do tipo C, devido à baixa taxa de infiltração e à baixa resistência e tolerância à erosão. A Tabela 1 apresenta o valor do CN utilizado no presente estudo. Utilizou-se o valor do CN disponíveis em (NEITSCH *et al.*, 2011).

**Tabela 1** Valor do CN utilizado no presente estudo.

Uso do solo	Grupo hidrológico	
	A (LV e LVA)	C (CX)
Fruticultura (laranja)	45	77
Milho	67	83
Hortaliças (cenoura)	67	83
Mandioca	67	83
Grama	68	86
Solo exposto	77	91
Área urbana	98	98

Fonte: DEPAT

Para o cenário com solo exposto, foram estabelecidos os valores de CN para a condição pouso com solo exposto (*Fallow, bare soil*), sendo iguais a 77 e 91 para solos pertencentes ao grupo hidrológico do tipo A (LV e LVA) e do tipo C (CX), respectivamente. Já para o cenário com grama utilizou-se os valores 68 e 86 para solos pertencentes ao grupo hidrológico do tipo A (LV e LVA) e do tipo C (CX), respectivamente. Esses valores representam o CN de espaços abertos em áreas urbanas, com o solo em condição hidrológica ruim (*Fully developed urban areas, open spaces – lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.*). Ademais, seguiu-se o valor do CN estabelecido no banco de dados do modelo para as culturas que foram simuladas.

O modelo SWAT permite estabelecer ações de manejo das culturas avaliadas, como por exemplo, irrigação, colheita, plantio, entre outros. Assim, para cada um dos cenários avaliados foi estabelecido ações de manejo para as culturas que foram simuladas. A Tabela 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o número de ciclos realizados por ano das culturas que foram simuladas no modelo, o intervalo de tempo entre o plantio e a colheita, e se foi utilizado irrigação.

As simulações nos cenários com hortaliça (cenoura), milho e fruticultura (laranja) foi feita utilizando a ferramenta de irrigação automática, tendo a demanda hídrica no solo como critério para ativação. Assim, na medida em que o solo atingiu um déficit hídrico pré-estabelecido, o modelo simulou lâminas de irrigação na cultura. Estabeleceu-se como critério que o total irrigado deveria ser menor do que a quantidade proposta na Resolução da ADASA N°18/2020 para as respectivas culturas simuladas. Optou-se por esse critério como um parâmetro para não superestimar os possíveis volumes de água infiltrando no solo, ou seja, optou-se pela subestimação do dado de irrigação. O uso da ferramenta de irrigação automática permitiu simular o plantio de hortaliças e milho no período de seca, além de aumentar a oferta de água no solo durante o período chuvoso.

**Tabela 2** Ações de manejo das culturas avaliadas.

Uso do solo	Número de ciclo por ano	Período de cultivo	Irrigação
Fruticultura (laranja)	Cultura perene	1 colheita por ano	Sim
Hortaliça (cenoura)	4	90 dias	Sim
Mandioca	1	10 meses	Não
Milho	3	90 dias	Sim
Gramma	Cultura perene	Não há colheita	Não

Fonte: DEPAT

A análise foi efetuada avaliando-se apenas componentes da fase terrestre do ciclo hidrológico, não sendo considerada a fase no canal. A partir dos resultados das simulações nas HRUs selecionadas calculou-se a média anual dos quarenta anos simulados das seguintes variáveis hidrossedimentológicas: evapotranspiração (ET), escoamento superficial (Q), recarga do aquífero (RA), quantidade de sedimentos (ton/ha·ano) e precipitação (P). Para os cenários de uso do solo que simularam o uso de irrigação (I), o seu valor foi adicionado ao total de chuva para obtenção da precipitação média anual também se calculou a média anual adicionando-a ao valor da precipitação para análise (P + I).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### *Simulações em latossolo vermelho (LV)*

A Tabela 3 apresenta os resultados das simulações dos 7 cenários de uso do solo em Latossolo Vermelho. A precipitação anual média do período avaliado (1981 a 2020) foi 1.495,8mm. A irrigação média anual simulada foi 585,23 mm, 563,49 mm e 505,04 mm nas HRUs em LV, com Hortaliça, Fruticultura e Milho, respectivamente.

**Tabela 3** Resultados dos cenários de uso do solo em LV

<b>Serviço ecossistêmico</b>	<b>Urbano</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Solo exposto</b>	<b>Gramma</b>	<b>Hortaliça</b>	<b>Fruticultura</b>	<b>Milho</b>
<b>Evapotranspiração (mm)</b>	245.49	438.79	258.73	689.24	954.46	943.94	867.12
<b>Recarga subterrânea (mm)</b>	99.31	653.78	322.19	209.96	684.19	854.58	689.99
<b>Escoamento superficial (mm)</b>	1147.20	266.88	903.15	585.21	333.61	113.90	324.63
<b>Produção de sedimentos (ton/ha)</b>	22.24	2.35	38.17	0.15	2.18	0.0013	2.14
<b>Irrigação (mm)</b>	0	0	0	0	585.23	563.49	505.04

Fonte: DEPAT

No que concerne à ET nas simulações em LV, os cenários com maior proporção no balanço hídrico foram Gramma, Hortaliças, Fruticultura e Milho com valores médios anuais iguais a 46,08%, 45,87%, 45,84% e 43,43%, respectivamente. No cenário com Mandioca, a ET representou 29,34% do total precipitado enquanto nas simulações com Solo Exposto e Área Urbana a ET participou com apenas 17,30% e 16,41%, respectivamente.

Em relação ao escoamento superficial (Q), as simulações com Área Urbana e Solo Exposto, em LV, apresentaram os maiores valores médio anuais, representando 76,70% e 60,38% do balanço hídrico médio anual, respectivamente, seguidos do cenário com Gramma, com 39,12%. O escoamento superficial nos cenários com Mandioca, Milho e Hortaliça representaram 17,84%, 16,23% e 16,03% do balanço hídrico médio anual, respectivamente, enquanto no cenário com Fruticultura representou apenas 5,53%, tendo o menor nível de escoamento superficial entre os cenários simulados.

As maiores recargas subterrânea em LV foram simuladas nos cenários com Citros e Mandioca, representando 41,50% e 43,71% do balanço hídrico médio anual, respectivamente. Do outro lado, a recarga subterrânea no cenário simulado em Área Urbana representou apenas 6,64% do balanço hídrico médio anual. A recarga subterrânea também foi baixa nos cenários com Gramma (14,04%) e Solo Exposto (21,54%), enquanto nos cenários com Hortaliça e Milho a recarga subterrânea foi superior e representou 32,88% e 34,49% do balanço hídrico médio anual, respectivamente.

O cenário com Solo Exposto foi o que apresentou a maior taxa de produção de sedimentos em LV seguido do cenário com Área Urbana, 38,17 ton/ha e 22,24 ton/ha, respectivamente. Entre os cenários com culturas agrícolas a Mandioca (2,35 ton/ha), a Hortaliça (2,18 ton/ha) e o Milho (2,14 ton/ha) apresentaram resultados similares, enquanto na área com Gramma (0,15 ton/ha) e Fruticultura (0,0013 ton/ha) apresentaram as menores taxas de produção de sedimentos.

### **Simulações em latossolo vermelho-amarelo (LVA)**

A Tabela 4 apresenta os resultados das simulações dos 7 cenários de uso do solo em LVA. A precipitação anual média do período avaliado (1981 a 2020) também foi 1.495,8mm. A irrigação média anual simulada foi 584,96 mm, 575,78 mm e 518,81 mm nas HRUs em LVA, com Hortaliça, Fruticultura e Milho, respectivamente.

**Tabela 4** Resultados dos cenários de uso do solo em LVA.

<b>Serviço ecossistêmico</b>	<b>Urbano</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Solo exposto</b>	<b>Gramma</b>	<b>Hortaliça</b>	<b>Fruticultura</b>	<b>Milho</b>
<b>Evapotranspiração (mm)</b>	234,29	445,90	231,34	697,14	929,13	868,80	854,23
<b>Recarga subterrânea (mm)</b>	99,86	578,59	427,94	267,93	617,19	813,02	621,53
<b>Escoamento superficial (mm)</b>	1147,20	264,25	793,30	478,83	332,10	115,26	324,61
<b>Produção de sedimentos (ton/ha)</b>	22,24	2,23	33,70	0,12	2,17	0,0013	2,13
<b>Irrigação (mm)</b>	0	0	0	0	584,96	575,78	518,81

Fonte: DEPAT

No que concerne à ET nas simulações em LVA, os cenários com maior proporção no balanço hídrico foram Gramma, Hortaliças, Milho e Fruticultura com valores médios anuais iguais a 46,61%, 44,65%, 42,40% e 41,94%, respectivamente. No cenário com Mandioca, a ET representou 29,81% enquanto nas simulações com Área Urbana e Solo Exposto a ET participou com apenas 15,66% e 15,47%, respectivamente.

Em relação ao escoamento superficial (Q), as simulações com Área Urbana e Solo Exposto, em LVA, apresentaram os maiores valores médio anuais, representando 76,70% e 53,04% do balanço hídrico médio anual, respectivamente, seguidos do cenário com Gramma com 32,01%. O escoamento superficial nos cenários com Mandioca, Milho e Hortaliça representaram 17,67%, 16,11% e 15,96% do balanço hídrico médio anual, respectivamente, enquanto no cenário com Fruticultura representou apenas 5,56%, tendo o menor nível de escoamento superficial entre os cenários simulados.

As maiores recargas subterrânea em LVA foram simuladas nos cenários com Citros e Mandioca, representando 39,25% e 38,68% do balanço hídrico médio anual, respectivamente. Do outro lado, a recarga subterrânea no cenário simulado em área urbana representou apenas 6,68% do balanço hídrico médio anual. A recarga subterrânea também foi baixa nos cenários com Gramma (17,91%) e Solo Exposto (28,61%), enquanto nos cenários com Hortaliça e Milho a recarga subterrânea foi superior e representou 29,66% e 30,85% do balanço hídrico médio anual, respectivamente.

O cenário com Solo Exposto foi o que apresentou a maior taxa de produção de sedimentos em LVA seguido do cenário com Área Urbana, 33,7 ton/ha e 22,24 ton/ha, respectivamente. Entre os cenários com culturas agrícolas a Mandioca (2,23 ton/ha), a Hortaliça (2,17 ton/ha) e o Milho (2,13 ton/ha) apresentaram resultados similares, enquanto na área com Gramma (0,12 ton/ha) e Fruticultura (0,0013 ton/ha) apresentaram as menores taxas de produção de sedimentos.

### **Simulações em cambissolo (CX)**

A Tabela 5 apresenta os resultados das simulações dos 7 cenários de uso do solo em CX. A irrigação média anual simulada foi 715,91 mm, 653,54 mm e 616,27 mm nas HRUs em CX, com Fruticultura, Milho e Hortaliça, respectivamente.

**Tabela 5** Resultados dos cenários de uso do solo em CX.

<b>Serviço ecossistêmico</b>	<b>Urbano</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Solo exposto</b>	<b>Gramma</b>	<b>Hortaliça</b>	<b>Fruticultura</b>	<b>Milho</b>
<b>Evapotranspiração (mm)</b>	229.91	422.79	246.85	577.59	872.26	853.19	814.37
<b>Recarga subterrânea (mm)</b>	83.53	288.91	269.20	196.47	341.82	517.64	400.24
<b>Escoamento superficial (mm)</b>	1147.20	584.24	900.12	623.98	649.02	519.33	673.12
<b>Produção de sedimentos (ton/ha)</b>	62.51	14.32	110.79	1.52	13.14	0.05	13.28
<b>Irrigação (mm)</b>	0	0	0	0	616.27	715.91	653.54

Fonte: DEPAT

No que concerne à ET nas simulações em CX, os cenários com maior proporção no balanço hídrico foram Hortaliças, Gramma Fruticultura e Milho com valores médios anuais iguais a 41,3%, 38,62%, 38,58% e 37,89%, respectivamente. No cenário com Mandioca, a ET representou 28,27% enquanto nas simulações com Solo Exposto e Área Urbana a ET participou com apenas 16,50% e 15,37%, respectivamente.

Em relação ao escoamento superficial (Q), as simulações com Área Urbana e Solo Exposto, em CX, apresentaram os maiores valores médio anuais, representando 76,70% e 60,18% do balanço hídrico médio anual, respectivamente, seguidos do cenário com Gramma (41,72%) e Mandioca (39,06%). O escoamento superficial nos cenários com Milho e Hortaliça representaram 31,32% e 30,73% do balanço hídrico médio anual, respectivamente, enquanto no cenário com Fruticultura representou 23,48%, tendo o menor nível de escoamento superficial entre os cenários simulados.

As maiores recargas subterrânea em CX foram simuladas nos cenários com Citros e Mandioca, representando 23,41% e 19,32% do balanço hídrico médio anual, respectivamente. Do outro lado, a recarga subterrânea no cenário simulado em área urbana representou apenas 5,58% do balanço hídrico médio anual. A recarga subterrânea também foi baixa nos cenários com Gramma (13,14%), enquanto nos demais cenários a recarga foi similar com Milho (18,62%), Solo Exposto (18,00%) e Hortaliça (16,18%) a recarga subterrânea foi próxima ao da Mandioca.

O cenário com Solo Exposto foi o que apresentou a maior taxa de produção de sedimentos em CX seguido do cenário com Área Urbana, 110,79 ton/ha e 62,61 ton/ha, respectivamente. Entre os cenários com culturas agrícolas a Mandioca (14,32 ton/ha), o Milho (13,28 ton/ha) e a Hortaliça (13,14 ton/ha) apresentaram resultados similares, enquanto na área com Gramma (1,52 ton/ha) e Fruticultura (0,05 ton/ha) apresentaram as menores taxas de produção de sedimentos.

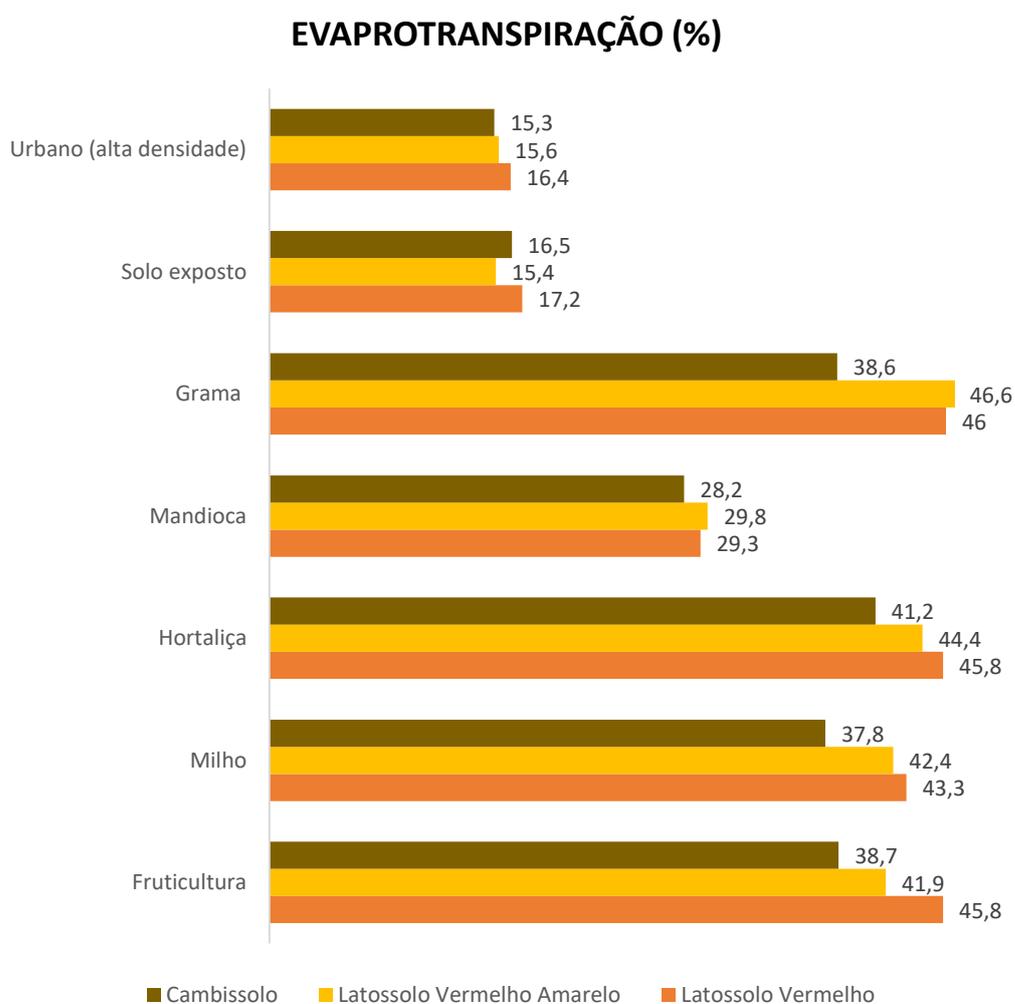
### Comparação entre os tipos de solos

A Figura 1 apresenta os resultados da evapotranspiração (a), do escoamento superficial (b) e da recarga subterrânea (c) por tipo de solo nos sete cenários simulados. Observa-se nas Figuras (a), (b) e (c) que a evapotranspiração, a recarga subterrânea e o escoamento superficial em áreas com LV e LVA apresentaram comportamento similares para cada cenário avaliado. De modo geral, a evapotranspiração e a recarga subterrânea apresentaram maior contribuição ao balanço hídrico médio anual em áreas de LV e LVA do que em CX. Por outro lado, a contribuição do escoamento superficial ao balanço hídrico médio anual foi maior em CX.

Esse resultado é plausível uma vez que o LV e o LVA pertencem ao mesmo grupo hidrológico, enquanto o CX pertence a outro grupo hidrológico, conforme proposto em Sartori *et al.* (2005) e Lima *et al.* (2013). Além disso, a HRU em LV e LVA possuem as mesmas características topográficas, pois foram geradas a partir da mesma feição do MDE, enquanto a HRU em CX possui características topográficas diferentes.

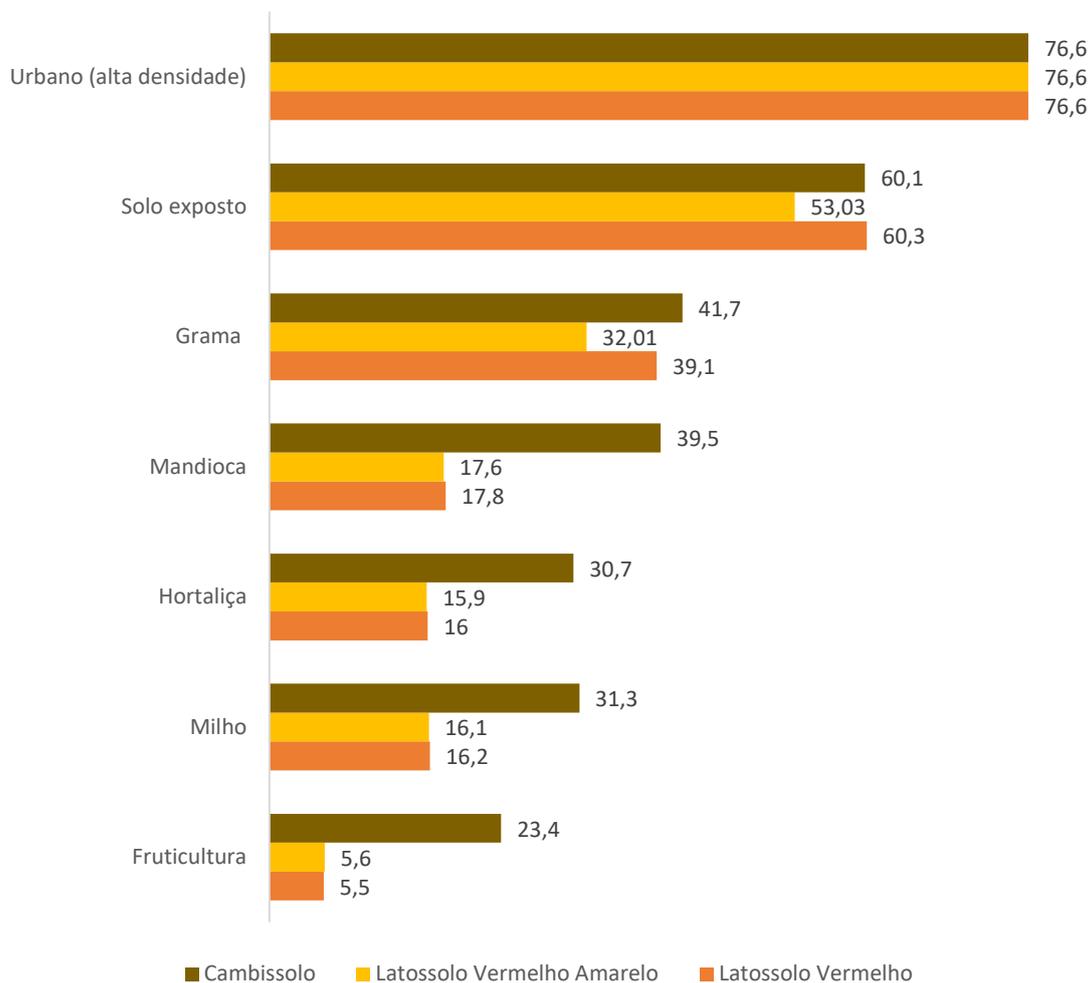
**Figura 1** Resultados da evapotranspiração (a), do escoamento superficial (b) e da recarga subterrânea (c) por tipo de solo nos sete cenários simulados

(a)



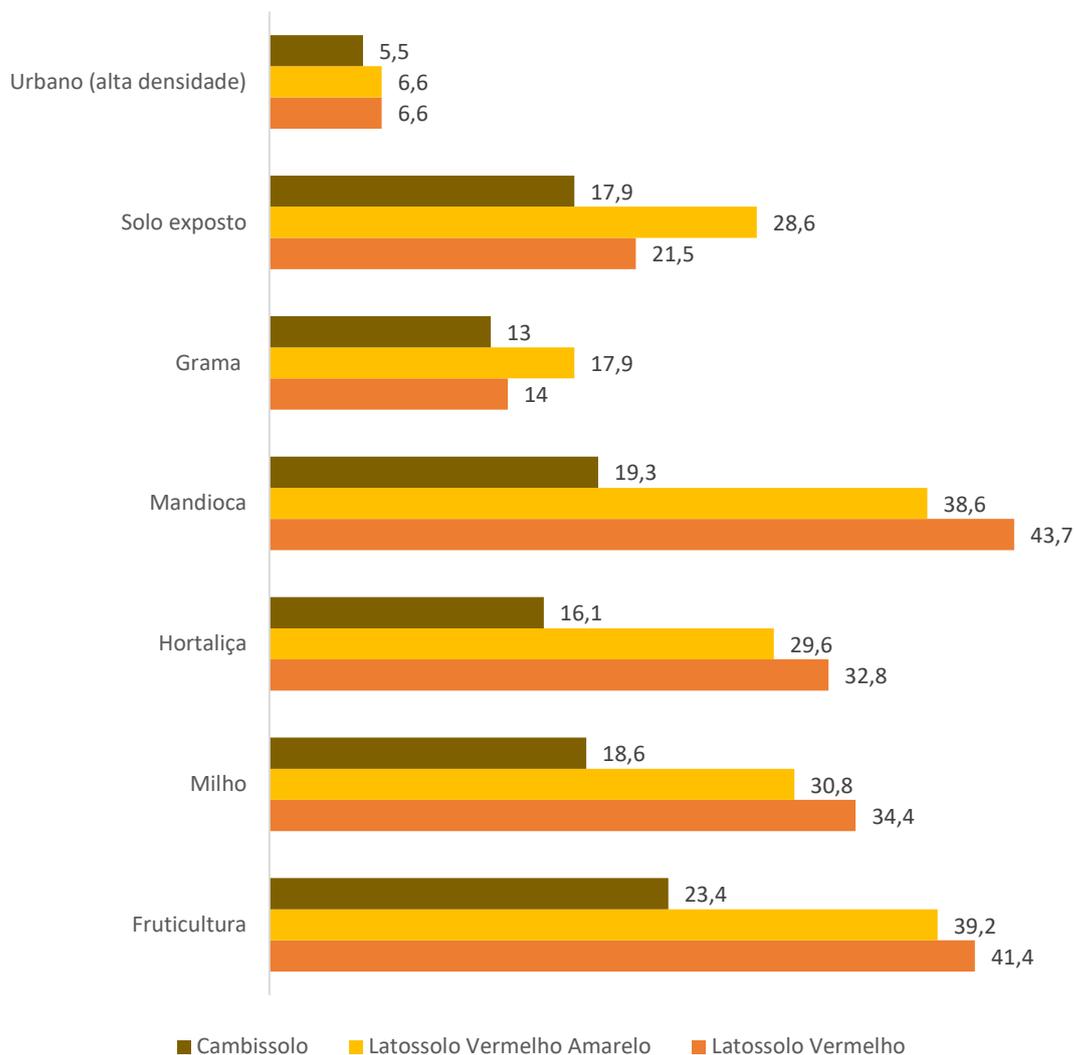
(b)

### ESCOAMENTO SUPERFICIAL (%)



(c)

### RECARGA DE AQUÍFERO (%)



Apesar do comportamento similar observado nos solos pertencentes ao mesmo grupo hidrológico, nos cenários com Área Urbana, Solo Exposto e Gramma houve um comportamento similar independentemente do tipo de solo, principalmente comparando LV com CX. A contribuição do escoamento superficial no balanço hídrico no cenário com Solo Exposto e com Gramma, por exemplo, foi muito parecido em LV e em CX, com diferença de apenas 0,2% e -2,5%, respectivamente. O mesmo foi observado na recarga subterrânea com diferença de 3,5% e 0,90% entre os cenários com Solo Exposto e Gramma em LV e em CX, respectivamente. No cenário com área urbana os resultados foram similares nos três tipos de solo.

Aqui vale ressaltar que os cenários com Gramma, Solo Exposto e Área Urbana foram simulados com as propriedades físicas dos solos que buscam representar uma condição de maior compactação: com valores mínimos de condutividade hidráulica saturada (SOL\_K) e capacidade de armazenamento de água no solo (SOL\_AWC); e com os valores máximos de densidade do solo (SOL\_BD) e erodibilidade do solo (USLE\_K), conforme disponível em Lima *et al.* (2013). Isso ajuda a justificar a semelhança nos resultados, uma vez que valores máximos de densidade e valores

mínimos de condutividade hidráulica saturada e capacidade de armazenamento de água no solo são semelhantes para LV, LVA e CX na base dados de propriedades físicas dos solos utilizados nas simulações.

### **Considerações Finais**

No presente estudo os cenários de uso do solo com agricultura e fruticultura (mandioca, milho, Hortaliças e Fruticultura) contribuíram mais com a evapotranspiração e com a recarga subterrânea do que nos cenários tipicamente encontrados em áreas urbanizadas (Solo Exposto, Adensamento populacional e gramados com solos compactados).

Assim, os resultados do presente estudo são relevantes pois demonstram eventuais impactos no balanço hídrico e na produção de sedimentos decorrentes da mudança da condição rural para urbana, ou seja, de um cenário com práticas agrícolas de manejo do solo para outro com adensamento populacional, compactação e exposição dos solos em ambiente urbano. Além disso, os resultados demonstram a contribuição que a Agricultura Urbana e Periurbana podem dar para a sustentabilidade ambiental do Distrito Federal.

Tendo em vista que o Distrito Federal atravessou uma crise hídrica entre 2016/2018 que foi provocada, entre outros fatores, por anos sucessivos com precipitações abaixo da média (Lima *et al.*, 2018) e que nos cenários de projeções climáticas para o DF e para a RIDE apontam para uma redução de precipitação e aumento da temperatura (SEMA, 2016), considerando também que o Distrito Federal está em processo de revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial, é fundamental que o planejamento da expansão urbana e da oferta de moradia no Distrito Federal busquem alternativas que reduzam o mínimo a conversão de áreas agrícolas produtivas para novas áreas urbanas.

## Referências Bibliográficas

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 1998.

Bressiani, D.A.; Gassman, P.W.; Fernandes, J.G.; Garbossa, L.H.P.; Srinivasan, R.; Bonumá, N.B.; Mendiondo, E.M. A review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, n. 3, p. 1–27, 2015.

Ferreira, W.A. Improvements in SWAT model for regions with a monsoon climate, high population density, and water scarcity : a case study in the Federal District of Brazil. Tese de Doutorado em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 260p. 2021.

Ferrigo, S. Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF. Dissertação de Mestrado em 159 Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-159/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164 p. 2014.

Lima, J. E. F. W.; Silva, E. M.; Strauch, M.; Lorz, C. Development of a soil database for applying SWAT model in a catchment of the Brazilian Savanna. *Proceedings of the SWAT-2013 Conference, Toulouse-FR*. p.1-10, 2013.

Lima, J.E.F.W; Fonseca, S.A.; Brostel, R.C.; César, M.C.M. Avaliação da disponibilidade hídrica no Distrito Federal. In: Lima, J.E.F.W.; Freitas, G.K.; Pinto, M.A.T.; Salles, P.S.B.A. *Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal*. Brasília: Adasa: Caesb: Seagri: Emater, DF, 2018. 328 p.

Neitsch, S.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J. *Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, College Station, TX, pp. 618, 2011.

Salles, L.A.; Lima, J.E.F.W.; Chaves, H.M.L.; Ferrigo, S.; Carvalho, H.E.S. Impacts of Using Different Soil Databases on Streamflow Simulation in an Experimental Rural Catchment of the Brazilian Savanna. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1, 187–195, 2015. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p187-195>.

SEMA, 2016. Mudanças Climáticas no DF e RIDE – Nota Técnica. Disponível em: .....Acesso em 26/06/2023.

Sarmento, L. Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. TD – 07/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 241p. 2010.

Sartori, A.; Lombardi-Neto, F.; Genovez, A.M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimative de chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n.4, p.05-18. 2005

Strauch, M.; Bernhofer, C.; Koide, S.; Volk, M.; Lorz, C.; Makeschin, F. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 414–415, 413–424, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.014>

Strauch, M.; Lima, J.E.F.W.; Volk, M.; Lorz, C.; Makeschin, F. The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. *Journal of Environmental Management*, 127, S24–S36, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.014>

Strauch, M.; Volk, M. SWAT plant growth modification for improved modeling of perennial vegetation in the tropics. *Ecological Modelling*, v. 269, p. 98–112, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.013>

Távora, B.E. Zona Ripária de Cerrado: Processos Hidrossedimentológicos. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD019/2017, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p. 2017.