

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE REQUERIDA DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO PARA FORTALEZA (CE)

* Inêz Gifone Maia Sales ¹
Anísio de Sousa Meneses Filho ¹

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE ESTIMATED CAPACITY REQUIRED OF DETENTION RESERVOIRS FOR FORTALEZA (CE)

Recibido el 1 de noviembre de 2022. Aceptado el 31 de marzo de 2023

Abstract

The study aims to: estimate the required capacity of detention reservoirs for the return times of 5, 10 and 25 years for each of the three micro-basins: A3.5 – Vertente Marítima; B1.4 - Coco, and C5.2 - Maranguapinho, using the generalized methodology from particularized equations for Fortaleza (CE) and perform the pre-dimensioning from the new IDF equations for the current scenario and those prospected for the future using global circulation models in different climate change scenarios – representative concentration pathways – optimistic (RCP 4.5) and pessimistic (RCP 8.5). It was observed the relevant impact of global warming on the volume to be stored, the maximum flow and the specific volume for the IDF of the global circulation model - CESM1-CAM5, when compared to the current IDF and the BCC-CSM1 model in both scenarios. Which may indicate the need to design a more robust and costly structure to mitigate the effects of climate extremes. On the contrary, the IDF results of the BCC-CSM1 model are lower for both the 4.5 and 8.5 levels, in relation to the current IDF and the CESM1-CAM5 model, implying a possible undersized. Bearing in mind that climate change and the various models of global circulation with their different responses, bring difficulties for decision-making, presenting an uncertain and challenging future for decision-making processes. We recommend future studies associating circulation models global and other types of isolated compensatory techniques.

Keywords: envelope curve, environmental sustainability, compensatory techniques, climate uncertainties.

¹ Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Brasil.

* *Autor correspondente:* Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza. Avenida Washington Soares, 1321 – Edson Queiroz, Fortaleza, Ceará. CEP 60811-905. Brasil. Email: inezgifone@edu.unifor.br

Resumo

O presente estudo estimou a capacidade requerida de reservatórios de detenção para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos para cada uma das três microbacias escolhidas: A3.5 - Vertente Marítima, B1.4 - Cocó e C5.2 - Maranguapinho, utilizando a metodologia generalizada a partir de equações particularizadas para Fortaleza (CE), e o pré-dimensionamento a partir das novas equações IDF para o cenário atual e as prospectadas para o futuro recorrendo a modelos de circulação global em diferentes cenários de mudanças climáticas - otimista (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5). Observou-se o impacto relevante do aquecimento global no volume a ser armazenado, na vazão máxima e no volume específico para a IDF do modelo de circulação global - CESM1-CAM5, quando comparado à IDF atual e ao modelo BCC-CSM1 em ambos os cenários. O que pode apontar a necessidade de se projetar uma estrutura mais robusta e onerosa para mitigar os efeitos dos extremos climáticos. Ao contrário, os resultados da IDF do modelo BCC-CSM1 mostraram-se inferiores para ambos os patamares de 4.5 e 8.5, em relação à IDF atual e ao modelo CESM1-CAM5, implicando em um possível subdimensionamento. Atentando-se que, as mudanças climáticas e os diversos modelos de circulação global com suas diferentes respostas, trazem dificuldades para a tomada de decisão, apresentando-se um futuro incerto e desafiador para os processos decisórios. Recomendam-se ainda, estudos futuros associando modelos de circulação global e demais tipos de técnicas compensatórias isoladas.

Palavras-chave: curva-envelope, incertezas climáticas, sustentabilidade ambiental, técnicas compensatórias.

Introdução

A urbanização intensa experimentada por muitas cidades, a crescente demanda por recursos naturais e as modificações provocadas pela ação antrópica parecem andar de mãos dadas e em sentido contrário ao da preservação ambiental. Por consequência, sucedem-se crescentes índices de poluição com emissão de gases do efeito estufa, aquecimento global e impacto direto no ciclo hidrológico. Este último traz consigo implicações graves, como a alteração no regime das chuvas e a presença cada vez mais constante de fenômenos climáticos severos, tais como: estiagens e enchentes. Com previsões pessimistas que apontam para fortes mudanças nas precipitações médias anuais no planeta como resultado do aumento da temperatura média da superfície terrestre.

A redução da arborização e a pavimentação de vias nas cidades, frutos da progressiva ocupação e do uso indiscriminado do solo, provocam perda de armazenamento natural da água da chuva, produzindo uma parcela não infiltrada e/ou não interceptada pelas copas das árvores, que se converte em excedente da chuva ou escoamento superficial. Para tanto, torna-se necessário a implementação de medidas eficientes que busquem um destino para essas águas sem interferir nas dinâmicas de acessibilidade das cidades.

A drenagem urbana oferece as soluções com seus dispositivos convencionais e não convencionais, sendo os primeiros amplamente difundidos - galerias, canais, sarjetas, poços de visita e bueiros - apresentando-se como medidas de controle alternativas ou não convencionais,

as técnicas compensatórias. Verifica-se que, a exemplo da cidade de Fortaleza (CE), o sistema de drenagem convencional, não resolve por completo a situação das inundações, mostrando a necessidade de uma gestão integrada entre saneamento básico e drenagem urbana.

Salienta-se a importância da educação ambiental em todo esse contexto para a formação de indivíduos conscientes de seus direitos e responsabilidades na manutenção da boa convivência entre as cidades e as precipitações.

O estudo busca avaliar os impactos das mudanças climáticas, em cenários futuros, no pré-dimensionamento de dispositivo não convencional de controle pluvial na fonte, a partir da metodologia generalizada.

Desenvolvimento

O estudo contemplou as microbacias A3.5, B1.4 e C5.2 pertencentes, respectivamente, às sub-bacias da Vertente Marítima, do Rio Cocó e do Rio Maranguapinho que compõem a Bacia Metropolitana de Fortaleza (CE), a escolha foi realizada optando-se pela microbacia de menor área dentro de cada uma das sub-bacias.

Os modelos de previsão climática escolhidos para esse trabalho - CESM1-CAM5 (CESM1) / (USA) e BCC-CSM1 (BCC1) / (China) - possuem dados diários de precipitação para a região estudada e foram objeto de estudo de Sabóia (2016) e Feitosa (2020), servindo de ferramentas avançadas para estimativa de resposta do sistema climático global ao aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera.

O pré-dimensionamento do reservatório de detenção foi realizado empregando-se a metodologia descrita por Silveira e Goldenfum (2007) com conversão da IDF potencial em uma do tipo Talbot com a estimativa da capacidade requerida a partir do método da curva envelope generalizada pelos parâmetros da relação IDF de Fortaleza, utilizando-se das novas equações IDF: a atual desenvolvida por Silva, Palácio Júnior e Campos (2013) e as prospectadas para o futuro em diferentes cenários de mudanças climáticas, recorrendo a modelos de circulação global apresentados por Sabóia (2016), para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

O trabalho foi desenvolvido com o auxílio do editor de planilhas Microsoft® Excel® 2016 para a resolução dos cálculos e confecção dos gráficos, com a exploração de imagens por satélite pelo aplicativo de *Google Earth Pro* © 2021 Google LLC e a confecção de mapas temáticos gerados por sistema de informações geográficas pelo software ArcGIS Pro 2.8.0 © 2021 Esri Inc.

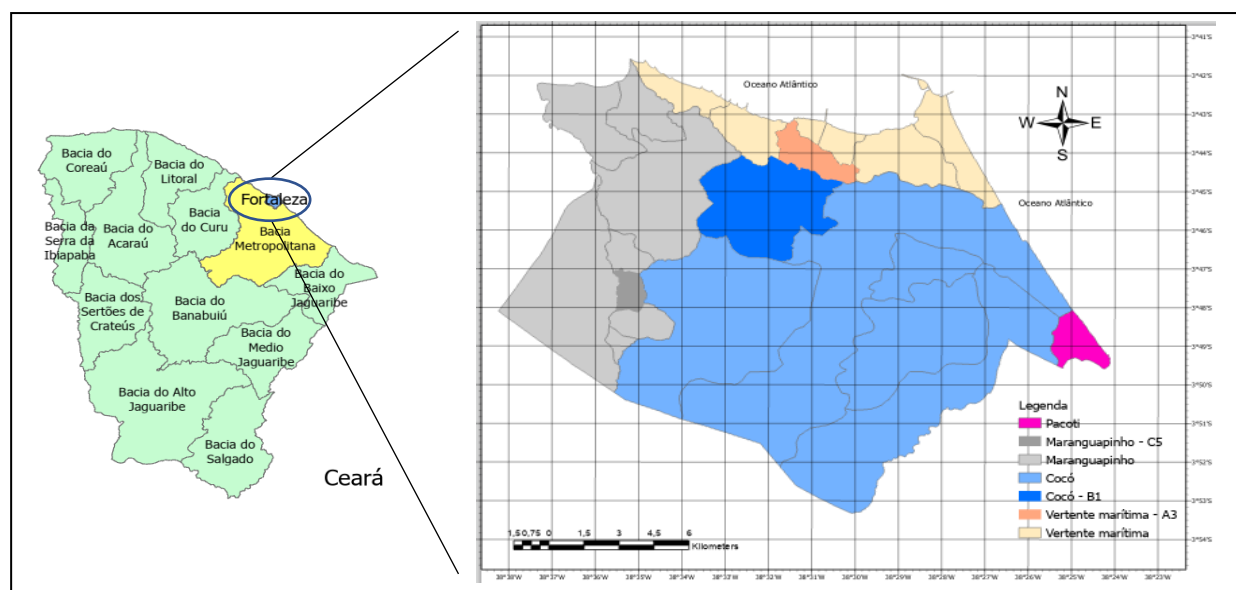
A capital cearense possui uma área de 313.8 km², pertence ao sistema costeiro-marinho e desenvolveu-se às margens do riacho Pajeú. Considerada a cidade mais populosa do Estado e a

capital de maior densidade demográfica do país com estimativa de 2,500.194 habitantes com 7,815.7 hab/km², ocupando a quinta colocação no Brasil e a nonagésima primeira no mundo. A precipitação média anual é de 1,378.30 mm que contribui para o volume de suas bacias hidrográficas (Fortaleza, 2015).

Conforme a classificação de Köppen (1948), a cidade de Fortaleza apresenta tipo climático Aw, pertencendo ao grupo de clima tropical chuvoso, onde a época mais seca ocorre no inverno e o máximo de chuvas ocorre no outono, com temperatura média do mês mais frio maior ou igual a 18 °C e precipitação do mês mais seco menor que 30 mm (Embrapa, 2003).

Na chamada quadra chuvosa que acontece de fevereiro a maio (verão-outono), o sistema de drenagem não suporta o volume de precipitação, com consequentes transtornos causados pelos alagamentos em praticamente todos os bairros do município.

O Ceará é composto por 12 bacias hidrográficas, dentre elas a bacia Metropolitana, a qual abriga a bacia da região metropolitana de Fortaleza composta pelas bacias: da Vertente Marítima, do rio Cocó, do rio Maranguapinho e do rio Pacoti (Figura 1a), suas respectivas microbacias contempladas nesses estudos – A3.5, B1.4 e C5.2 são apresentadas na Figura 1b.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Bacia Metropolitana e Bacias Hidrográficas do Município de Fortaleza; (b) Microbacias A3.5, B1.4 e C5.2.
Fonte: Adaptado de Google Earth Pro © 2021.

Bacia da Vertente Marítima

A Bacia da Vertente Marítima está localizada entre as bacias do Maranguapinho e do Cocó, entre os rios Cocó e Ceará e corresponde à faixa de dunas situada em área limítrofe do Oceano Atlântico (Figura 2). Ela está inserida totalmente na zona urbana de Fortaleza com topografia favorável ao escoamento das águas para o mar, de forma direta ou por riachos.

Caracteriza-se por ser predominantemente residencial, onde estão localizados os bairros da Aldeota, Mucuripe, Meireles, Iracema, Moura Brasil, Farias Brito, Centro (Microbacia A3.5) e parte do Benfica, Joaquim Távora, Jacarecanga, Pirambu e Cocó, com grande densidade populacional e apresentando conflitos entre o meio urbano e o natural. Por consequência, verifica-se acúmulo de sedimentos às margens dos rios desta bacia e o lançamento de esgotos na rede de drenagem, que comprometem a capacidade de vazão.



Figura 2. Bacia da Vertente Marítima e sub-bacia A3. *Fonte: Elaborado pelos autores.*

Bacia do Rio Cocó

A Região Metropolitana de Fortaleza é drenada pela bacia hidrográfica do rio Cocó que está situada na porção norte/nordeste do estado do Ceará (Figura 3). Seus principais mananciais, são: rio Cocó, lagoas da Messejana, da Parangaba, do Opaia e do Porangabussu e Riacho do Tauape. A microbacia B1.4 situa-se entre os bairros: Parreão, Fátima, Jardim América e Benfica.



Figura 3. Bacia do Rio Cocó e sub-bacia B1. *Fonte: Elaborado pelos autores.*

Segundo Zanella *et al.* (2013), o rio Cocó desenvolve periódicas inundações em suas áreas planas, nessas extensas planícies inundadas habitam famílias carentes, com uma complexa apropriação da bacia, apresentando conflito com o atual processo de expansão urbana com a ocupação da parcela mais abastada da cidade em detrimento de populações socialmente desfavorecidas.

Bacia do Rio Maranguapinho

A Bacia Hidrográfica do rio Maranguapinho localiza-se na Região Metropolitana de Fortaleza, drenando os municípios de Maranguape, Maracanaú, Caucaia e Fortaleza (Figura 4). Segundo Lima (2006), em 2000, a bacia era ocupada por uma população de 1,156.010 habitantes distribuídos em 279,138 domicílios (99.38% urbanos e 0.62% rurais). Em Fortaleza 87.1%, 7.9% em Maracanaú e 5% em Maranguape. Para o autor, nas últimas três décadas, os processos de degradação ambiental se intensificaram em função da expansão urbano-industrial com ineficientes investimentos em saneamento básico e planejamento ambiental.

A Bacia do Maranguapinho possui como principais mananciais: rio Maranguapinho, Açude da Agronomia, Riacho do Açude de João Lopes, Riacho Sangradouro do Açude da Agronomia, Riacho da Lagoa do Mondubim e o Riacho Correntes. A microbacia C5 situa-se entre os bairros: Bonsucesso, Vila Peri, Manuel Sátiro e Parque São José.



Figura 4. Bacia do Rio Maranguapinho e sub-bacia C5. Fonte: Elaborado pelos autores.

Metodologia

Este trabalho constitui-se de um estudo de caso referenciado por bibliografia pertinente aos assuntos explorados, com pesquisa aplicada e de proveito prático. Tendo como objeto, a análise dos impactos das mudanças climáticas nas intensidades de chuvas para a cidade de Fortaleza em época de quadra chuvosa, quando algumas áreas são acometidas por inundações, apresentando como alternativa ao problema de drenagem urbana, a implementação de técnica compensatória - reservatório de detenção.

As prospecções de chuvas intensas foram obtidas de equação IDF atual apresentada por Silva, Palácio Júnior e Campos (2013) - a partir de levantamento de dados de 30 anos (1970 a 1999) de registros pluviométricos da estação climatológica da Universidade Federal do Ceará (UFC) - e das relações IDF publicadas por Sabóia (2016) produzidas de modelos de circulação global: BCC-CSM1 e CESM1-CAM5 para os cenários (*Representative Concentration Pathways*) RCP 4.5 e RCP 8.5 (Tabela 1).

Tabela 1. Equações de chuva genéricas para Fortaleza (CE).

Modelo de circulação global	RCP	Equação IDF
CESM1-CAM5	4.5	$i = \frac{736.9068 T^{0.1624}}{(t+14.4142)^{0.6079}}$
	8.5	$i = \frac{876.0093 T^{0.2255}}{(t + 7.6045)^{0.5107}}$
BCC – CSM1	4.5	$i = \frac{734.8541 T^{0.0873}}{(t + 20.6649)^{0.7476}}$
	8.5	$i = \frac{788.4440 T^{0.0876}}{(t + 20.8779)^{0.7278}}$
IDF Atual por Silva, Palácio Júnior e Campos (2013)	-	$i = \frac{2345.29 T^{0.173}}{(t + 28.31)^{0.904}}$

Fora adotada como medida de controle não convencional, o reservatório de detenção, com armazenamento em períodos curtos para atenuação de pico de chuva e controle de inundações. O pré-dimensionamento hidrológico - que associa uma chuva de projeto a um balanço hídrico simplificado – seguiu a metodologia simplificada descrita por Silveira e Goldenfum (2007) com aplicação à metodologia da curva envelope, com transformação do modelo potencial da equação da chuva em formato Talbot. Conforme representado pelo Fluxograma 1 (Figura 5).

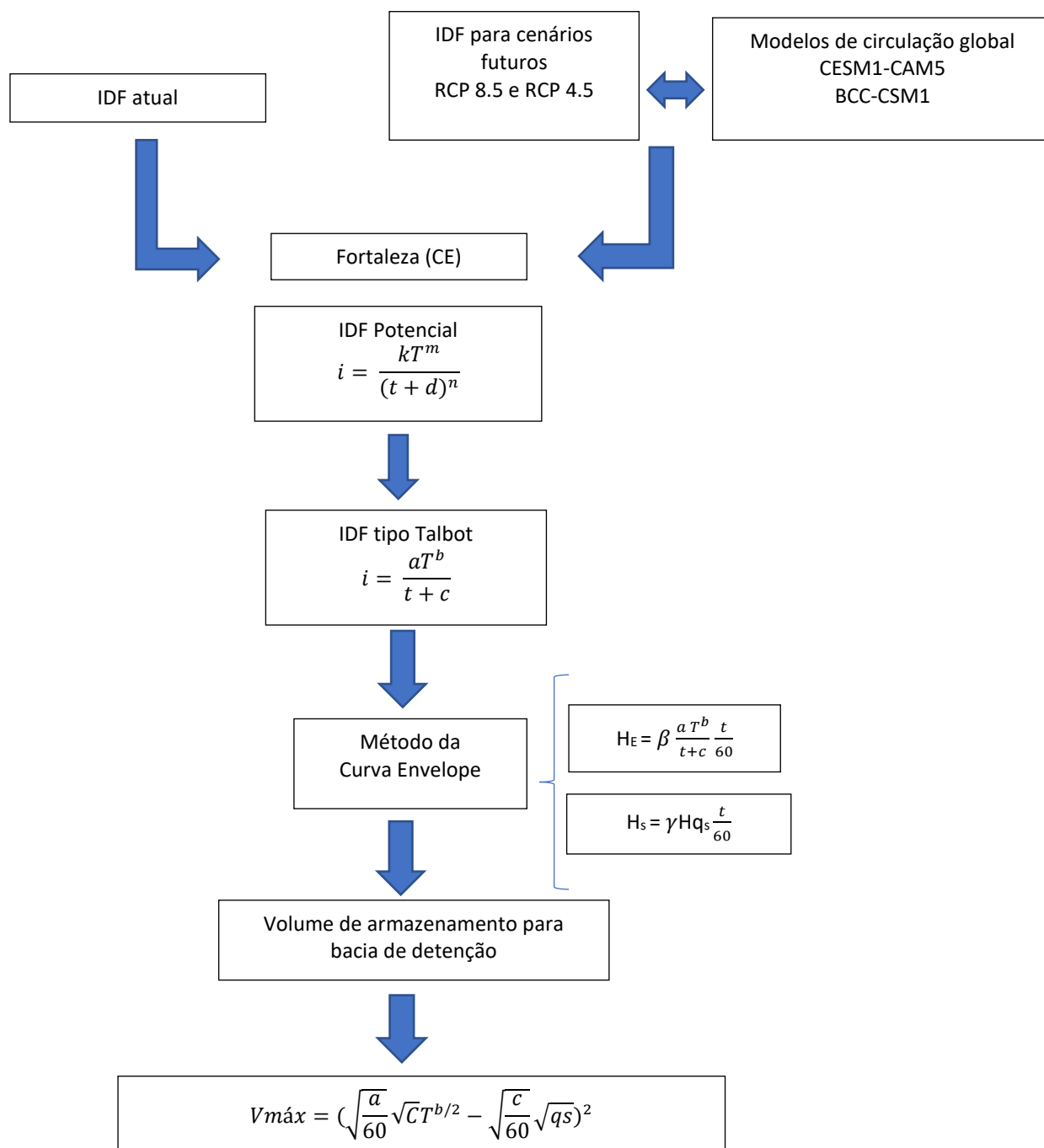


Figura 5. Fluxograma 1. Fonte: Elaborado pelos autores.

Pré – dimensionamento do reservatório de detenção

O cálculo do pré-dimensionamento do reservatório de detenção - volume máximo a ser reservado - de cada uma das microbacias foi realizado considerando o leito impermeável, igualando-se a vazão de saída à vazão de pré-dimensionamento (Silveira e Goldenfum, 2007).

Volume de armazenamento, tempo de funcionamento e de esvaziamento

Os valores dos volumes a serem armazenados (m^3) num reservatório de detenção para cada uma das microbacias de Fortaleza (CE) - A3.5, B1.4 e C5.2 - foram estimados pelo método simplificado das chuvas, para as IDF atual e dos modelos de circulação global CESM1-CAM5 (CESM1) e BCC-CSM1 (BCC1) aplicando as projeções climáticas RCP 4.5 e 8.5, nos tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

- *Microbacia A3.5*

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os valores de capacidade de armazenamento (m^3) do dispositivo de detenção e seus tempos de funcionamentos e esvaziamento, em horas, para a microbacia A3.5, nos tempos de 5, 10 e 25 anos, respectivamente. A Figura 6 mostra através do gráfico de barras os resultados para cada IDF - atual e modelos de circulação global (CESM1 e BCC) para os RCP 4.5 e 8.5 – os volumes a serem armazenados (m^3) para cada um dos tempos de retorno avaliados.

Tabela 2. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia A3.5 para TR de 5 anos.

IDF	TR 5 anos		
	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	12,058	5.62	4.12
CESM1 - RCP 4.5	20,155	9.13	6.88
CESM1 - RCP 8.5	46,480	18.95	15.87
BCC - RCP 4.5	6,061	3.24	2.07
BCC - RCP 8.5	7,894	4.03	2.70

Tabela 3. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia A3.5 para TR de 10 anos.

TR 10 anos			
IDF	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	13,550	5.62	4.12
CESM1 - RCP 4.5	22,185	9.06	6.81
CESM1 - RCP 8.5	52,575	19.74	16.57
BCC - RCP 4.5	6,227	2.97	1.89
BCC - RCP 8.5	8,135	3.80	2.46

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia A3.5 para TR de 25 anos.

TR 25 anos			
IDF	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	15,930	5.62	4.12
CESM1 - RCP 4.5	26,029	8.98	6.73
CESM1 - RCP 8.5	67,914	20.88	17.55
BCC - RCP 4.5	6,435	2.66	1.66
BCC - RCP 8.5	8,451	3.43	2.18

Conforme observado nas Tabelas 2, 3 e 4, quanto maior o tempo de retorno, maiores serão os valores de capacidade de armazenamento requerida pelo dispositivo de drenagem, chamando-se a atenção para a expressiva diferença percentual – aproximada - entre a IDF do modelo CESM1 – RCP 8.5 em relação IDF Atual, sendo de: 285% para TR 5 anos; 288% para TR 10 anos e de 326% para TR 25 anos. Para o cenário RCP 4.5, esse modelo apresentou diferença de 67% para o TR 5 anos, de 64% para TR 10 anos e de 63% para TR 25 anos. Na tendência contrária, o modelo BCC apresentou redução para ambos os cenários – RCP 4.5 e 8.5 - com diferença percentual em relação à IDF Atual, respectivamente de: 50% e 35% para TR 5anos; de 54% e 40% para TR 10 anos e de 60% e 47% para TR 25 anos.

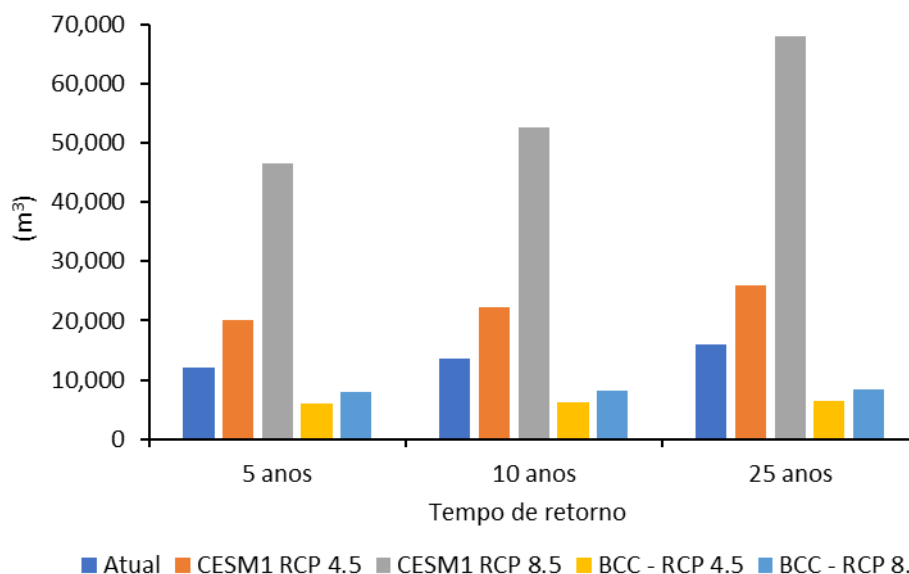


Figura 6. Volume de armazenamento da microbacia A3.4 para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

- Microbacia B1.4

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam os valores de capacidade de armazenamento (m³) do dispositivo de detenção e seus tempos de funcionamentos e esvaziamento, em horas, para a microbacia B1.4, nos tempos de 5, 10 e 25 anos, respectivamente. A Figura 7 mostra através do gráfico de barras os resultados para cada IDF - atual e modelos de circulação global (CESM1 e BCC) para os RCP 4.5 e 8.5 – os volumes a serem armazenados (m³) para cada um dos tempos de retorno avaliados.

Nas Tabelas 5, 6 e 7 observa-se o mesmo comportamento de aumento da capacidade requerida com o crescimento do tempo de retorno. Com diferença percentual – aproximada - no volume obtido entre a IDF Atual e a do modelo CESM1 – RCP 8.5 de 294% para o TR 5 anos, de 311% para TR 10 anos e de 336% para TR 25 anos. Para o cenário otimista - RCP 4.5, tem-se diferença de 68% para o TR 5 anos, de 66% para TR 10 anos e de 64% para TR 25 anos. A mesma tendência de queda no valor percentual para o modelo BCC para ambos os cenários – RCP 4.5 e 8.5 - em relação à IDF Atual, respectivamente de: 51% e 36% para TR 5anos; de 55% e 41% para TR 10 anos e de 61% e 48% para TR 25 anos.

Tabela 5. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia B1.4 para TR de 5 anos.

TR 5 anos			
IDF	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	28,904	4.83	3.49
CESM1 - RCP 4.5	48,542	7.95	5.87
CESM1 - RCP 8.5	113,762	16.67	13.75
BCC - RCP 4.5	14,183	2.71	1.71
BCC - RCP 8.5	18,600	3.50	2.25

Tabela 6. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia B1.4 para TR de 10 anos.

TR 10 anos			
IDF	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	32,587	4.91	3.49
CESM1 - RCP 4.5	54,184	7.89	5.81
CESM1 - RCP 8.5	134,028	17.37	14.37
BCC - RCP 4.5	14,530	2.56	14.37
BCC - RCP 8.5	19,118	3.22	2.05

Tabela 7. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia B1.4 para TR de 25 anos.

TR 25 anos			
IDF	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	38,185	4.83	3.9
CESM1 - RCP 4.5	62,658	7.82	5.73
CESM1 - RCP 8.5	166,421	18.31	15.23
BCC - RCP 4.5	14,946	2.28	1.37
BCC - RCP 8.5	19,772	2.89	1.81

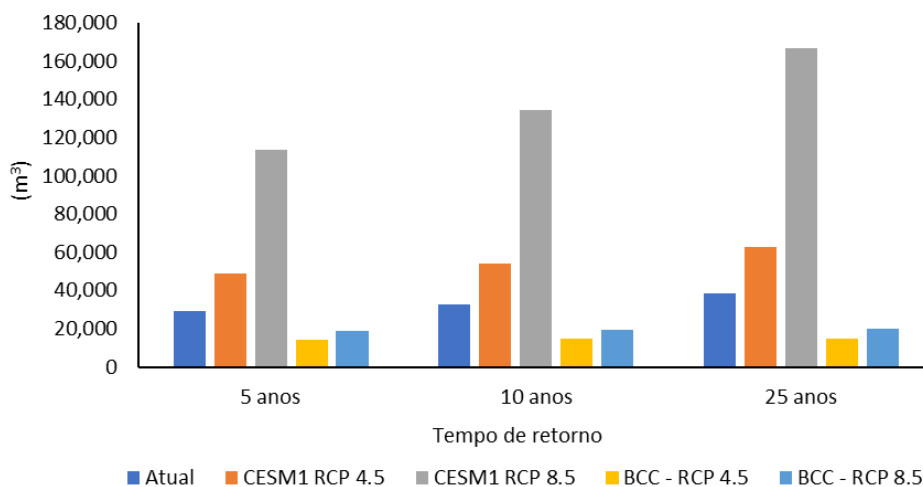


Figura 7. Volume de armazenamento da microbacia B1.4 para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos
Fonte: Elaborado pelos autores.

• Microbacia C5.2

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam os valores de capacidade de armazenamento (m³) do dispositivo de detenção e seus tempos de funcionamentos e esvaziamento, em horas, para a microbacia C5.2, nos tempos de 5, 10 e 25 anos, respectivamente. A Figura 8 mostra através do gráfico de barras os resultados para cada IDF - atual e modelos de circulação global (CESM1 e BCC) para os RCP 4.5 e 8.5 – os volumes a serem armazenados (m³) para cada um dos tempos de retorno avaliados.

Tabela 8. Volume a armazenar (m³), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia C5.2 para TR de 5 anos.

IDF	TR 5 anos		
	Volume máximo (m ³)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	25,580	5.5	4.1
CESM1 - RCP 4.5	42,760	9.1	6.8
CESM1 - RCP 8.5	98,639	19.0	15.8
BCC - RCP 4.5	12,852	3.2	2.0
BCC - RCP 8.5	16,741	4.0	2.7

Tabela 9. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia C5.2 para TR de 10 anos.

IDF	TR 10 anos		
	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	28,839	5.6	4.1
CESM1 - RCP 4.5	47,739	9.0	6.8
CESM1 - RCP 8.5	116,152	19.7	16.5
BCC - RCP 4.5	13,204	2.9	1.8
BCC - RCP 8.5	17,251	3.7	2.4

Tabela 10. Volume a armazenar (m^3), tempos de funcionamento e de esvaziamento (h) do reservatório de detenção para microbacia C5.2 para TR de 25 anos.

	TR 25 anos		
	Volume máximo (m^3)	Tempo de funcionamento (h)	Tempo de esvaziamento (h)
Atual	33,793	5.6	4.1
CESM1 - RCP 4.5	55,219	8.9	6.7
CESM1 - RCP 8.5	144,127	20.7	17.5
BCC - RCP 4.5	13,644	2.6	1.6
BCC - RCP 8.5	17,918	3.4	2.1

O aumento da capacidade requerida com o crescimento do tempo de retorno é verificado também para a microbacia C5.2, com diferenças percentuais – aproximadas - entre a IDF atual e a do modelo CESM1 – RCP 8.5, para os tempos de retorno 5, 10 e 25 anos, respectivamente: de 286%, de 303% e de 327%. O modelo CESM1 - RCP 4.5, obteve diferença de 67% para o TR 5 anos, de 66% para TR 10 anos e de 63% para TR 25 anos. Para o BCC – RCP 4.5 e 8.5 – o percentual de redução foi de, respectivamente: 50% e 35% para TR 5anos; de 54% e 40% para TR 10 anos e de 60% e 47% para TR 25 anos.

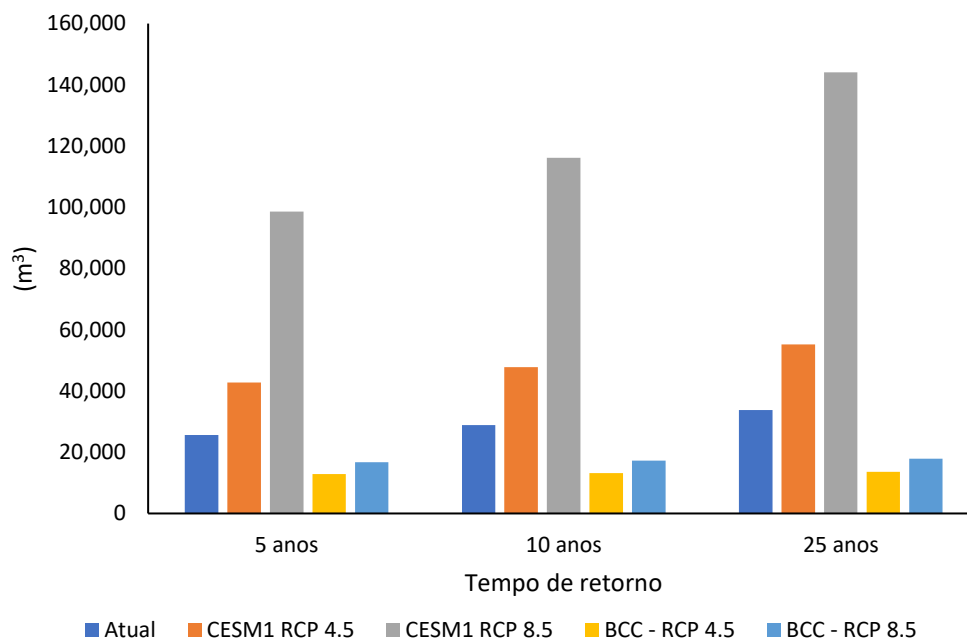


Figura 8. Volume de armazenamento da microbacia C5.2 para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

Para todas as microbacias avaliadas, os gráficos demonstraram aumento acentuado na capacidade de armazenamento do dispositivo para o modelo de circulação global CESM1-CAM5, tendo sido mais contundente no cenário futuro RCP 8.5 do que no RCP 4.5, corroborando com os resultados obtidos por Sabóia (2016) quando observou que o cenário mais pessimista – RCP 8.5 apresentou valores ainda maiores para vazões e volumes escoados do que o gerado pelo cenário RCP 4.5.

O modelo BCC-CSM-1 apresentou resultados de capacidade de armazenamento inferiores para ambos os cenários – otimista e pessimista, ficando abaixo até mesmo para o cenário atual para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos, o que demonstrou estar consonante com os resultados alcançados por Feitosa (2020), quando a autora afirmou que esse modelo possui a maior probabilidade de ocorrerem transtornos causados por chuvas de intensidades mais elevadas, caso seja o modelo adotado numa tomada de decisão.

Conforme Mailhot e Duchesne (2010), as intensidades das precipitações se excederão com o tempo, incorrendo em excesso dos critérios do projeto original. Os autores justificam que o uso dos tempos de retorno deve ser mantido convenientemente para garantir o processo de revisão dos projetos pelos estados e municípios.

Conclusões e recomendações

O estudo mostrou um impacto relevante do aquecimento global na vazão máxima, no volume específico e no volume de armazenamento do dispositivo de retenção, para a IDF do modelo de circulação global – CESM1-CAM5, quando comparado à IDF atual sugerida por Silva, Palácio Júnior e Campos (2013) e ao modelo BCC-CSM1 em ambos os cenários - otimista (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5). Isso remete à necessidade de se projetar uma estrutura mais robusta e onerosa para mitigar os efeitos dos extremos climáticos. Por outro lado, os resultados da IDF do modelo BCC-CSM1 mostram-se inferiores para ambos os RCP 4.5 e 8.5, em relação à IDF atual e ao modelo CESM1-CAM5, o que leva a considerar um subdimensionamento da estrutura do dispositivo, acarretando em futuras inundações e prejuízos sociais, ambientais e financeiros às cidades e seus habitantes.

As mudanças climáticas e os diversos modelos de circulação global com suas diferentes respostas, trazem dificuldades para a tomada de decisão, apresentando-se um futuro incerto e desafiador para os processos decisórios, devendo-se trazer à tona o conceito de cidades resilientes que convivam sustentavelmente com as consequências do aquecimento global.

Recomendam-se estudos futuros utilizando outros modelos de circulação global e outras técnicas compensatórias isoladas ou associadas às medidas convencionais que favoreçam a infiltração e o armazenamento temporário, evitando a transferência do problema do escoamento superficial às áreas a jusante, abrangendo também, tomadas de decisão cautelosas quanto ao uso e ocupação do espaço de maneira sustentável. Nesse sentido, estudos que contemplem o sistema de desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID) aliado ao planejamento e gestão de água urbanas com adequada estratégia de ocupação da bacia.

Referências bibliográficas

- Aguiar, M. J. N., Viana, T. V. de A., Aguiar, J. V. de; Lima, J. B. de; Crisóstomo Júnior, R. R., Aquino, F. C. de; Barreto Júnior, J. H. C. (2003) Documentos 75: Dados climatológicos – Estação de Fortaleza, 2002. Fortaleza: Embrapa. Acesso em: 11 out. 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/7897/1/doc75.pdf>
- Feitosa, R. B. F (2020). *Análise do Impacto das Climáticas no Dimensionamento de Rede de Drenagem Pluvial Convencional em Fortaleza (CE)*, (Graduação), Centro de Ciências Tecnológicas, Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, 92 pp. Acesso em: 27 nov. 2021, disponível em: <https://uol.unifor.br/oul/conteudosite/?cdConteudo=11072176>
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (2015) *Cidades@*. Acesso em 29 set. 2012. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>
- Köppen, W. (1948) *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura, México.
- Lima, J. S. Q. (2006). *Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Maranguapinho - Região Metropolitana de Fortaleza*, (Dissertação), Universidade Estadual do Ceará. Acesso em: 27 nov. 2021, disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=41860>

- Mailhot, A., Duchesne, S. (2010) *Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **136**(2), 201-208. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000023](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000023)
- Sabóia, M. A. M. (2016) *Estratégia robusta para a gestão de drenagem urbana em cenário de mudanças do clima*. Fortaleza, 149 f. Tese (doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Acesso em: 09 fev. 2021, disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/00002b/00002bea.pdf>.
- Silva, F. O. E. D. A.; Palácio Júnior, F. F. R., Campos, J. N. B. (2013). *Equação de Chuvas para Fortaleza-CE com Dados do Pluviógrafo da UFC*. *Revista DAE*, São Paulo, (192), 48-59. Acesso em: 06 mai. 2020. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_192_n_1491.pdf
- Silveira, A. L. L. Da; Goldenfum, J. A. (2007). *Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte*. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. **12**(2) Abr/Jun 2007, 157-168. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v12n2.p157-168>
- Zanella, M. E., Olímpio, J. L., Costa, M. C. L., Dantas, E. W. C. (2013). *Vulnerabilidade Socioambiental do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó*, Fortaleza-CE. *Soc. & Nat., Uberlândia*, **25**(2), 317-332. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132013000200009>