



## A FUNÇÃO DAS ÁREAS VERDES URBANAS NA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE RECIFE, PE-BRASIL

Caio Maurício

Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Campus Recife, Brasil  
[caio mauricio64@gmail.com](mailto:caio mauricio64@gmail.com)

Manuella Vieira Barbosa Neto

Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Campus Recife, Brasil  
[manuellaneto@recife.ifpe.edu.br](mailto:manuellaneto@recife.ifpe.edu.br)

Carlos Eduardo Menezes da Silva

Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Campus Recife, Brasil  
[carlosmenezes@recife.ifpe.edu.br](mailto:carlosmenezes@recife.ifpe.edu.br)

**RESUMO** – O avanço da urbanização gerou impactos na redução da cobertura vegetal, que podem provocar inúmeras problemáticas ambientais e socioeconômicas, como o aumento da suscetibilidade ao escoamento superficial. O objetivo deste trabalho foi analisar a função das áreas verdes urbanas, na redução do escoamento superficial na cidade do Recife - PE. Foi realizada uma análise multitemporal para os anos de 1991, 2006 e 2018, por meio de técnicas de geoprocessamento. Analisou-se aspectos da paisagem como, unidades geológicas, pedológicas, declividade, forma das vertentes e a cobertura vegetal através do NDVI. Foi gerada uma álgebra de mapas, por meio de uma matriz de ponderação de pesos. Verificou-se através do NDVI uma redução da cobertura vegetal de 17,57% ao longo do período analisado. Com a álgebra de mapas se verificou que esse processo impactou no aumento de 5,22% da alta susceptibilidade ao escoamento superficial, sendo um processo preocupante para o município do Recife.

Palavras-chave: Cobertura Vegetal; Suscetibilidade; Erosão Laminar.

## THE FUNCTION OF URBAN GREEN AREAS IN THE REDUCTION OF SURFACE RUNOFF: A CASE STUDY IN THE CITY OF RECIFE, PE-BRAZIL

**ABSTRACT** – This study aimed to analyze the role of urban green areas in reducing surface runoff in the city of Recife - PE. Using geoprocessing techniques, we carried out a multi-temporal analysis for the years 1991, 2006 and 2018. Aspects of the landscape, such as geological and pedological units, slope shape and vegetation cover, were analyzed using NDVI. We generate a map algebra using a weighting matrix. The NDVI showed a reduction in vegetation cover of 17.57% over the period analyzed. The map algebra showed that this process impacted the increase of 5.22% in the high susceptibility to surface runoff, which is a worrying process for the municipality of Recife.

Keywords: Vegetal cover; Susceptibility; laminar erosion.

## INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento dos grandes centros urbanos ao redor do mundo, modificou toda estrutura social, política e econômica, gerando impactos principalmente nas áreas de vegetação nativa. No Brasil, ao longo de sua área litorânea, o avanço dos grandes centros urbanos, gerou a supressão de aproximadamente 93% da vegetação de mata atlântica existente nesta área (OLIVEIRA, 2014). Essa dinâmica, que resulta na retirada da cobertura vegetal, pode gerar inúmeras problemáticas, que causam transtornos nas vidas das populações dessas regiões (ZHANG et al., 2015; CAMPOLI e STIVALI, 2023).

Diante de tal cenário, as áreas verdes urbanas trazem inúmeros benefícios que são derivados de serviços ecossistêmicos. Esses serviços ecossistêmicos são as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os compõem, sustentam a vida humana (MORALES-CERDAS et al., 2018). Os serviços ecossistêmicos providos por estas áreas verdes urbanas resultam em melhoria da qualidade de vida para as populações urbanas (AMATO-LOURENÇO et al., 2016; OLIVEIRA, 2023).

Em especial, dentre os serviços ecossistêmicos, as áreas verdes têm um papel importante em relação ao escoamento superficial, que é o deslocamento das águas pluviais sobre a superfície. Sendo a cobertura vegetal um agente responsável pela redução da velocidade do escoamento (BIAS et al., 2012; SANTOS e LOLLO, 2016; QUAGLILOLO, COMINO e PEZZOLI, 2021). No entanto, com a remoção das áreas verdes pode-se ter o aumento da velocidade do escoamento superficial, o que favorece a ocorrência de processos erosivos de diferentes magnitudes (CASTRO, 2022).

O escoamento superficial promovido pelas águas pluviais tende a ocorrer, em ambientes urbanos, com maior facilidade e intensidade a depender de condições ambientais, tais como, características pedológicas e geológicas, declividade da encosta, formas da encosta, cobertura vegetal, características do regime de chuvas; e de alterações promovidas por ações antrópicas sem o devido planejamento, como exemplos, desmatamento, aterros inadequados, concentração das águas pluviais, vazamento da rede de abastecimento de água e esgoto e disposição de lixo (GIRÃO, 2007).

Nesse sentido, a partir da análise de variáveis ambientais e antrópicas pode-se compreender o quanto suscetível uma área está para ocorrência de escoamento superficial. Desse modo, poderão ser implementadas medidas mitigadoras desse processo, que visem o equilíbrio ambiental, social e econômico em áreas urbanas. De acordo com Zhang et al. (2015), o advento das mudanças climáticas e o impacto da rápida urbanização ao longo do mundo, vem fazendo com que um número considerável de pesquisadores busque entender os efeitos dos espaços verdes urbanos no escoamento das águas pluviais.

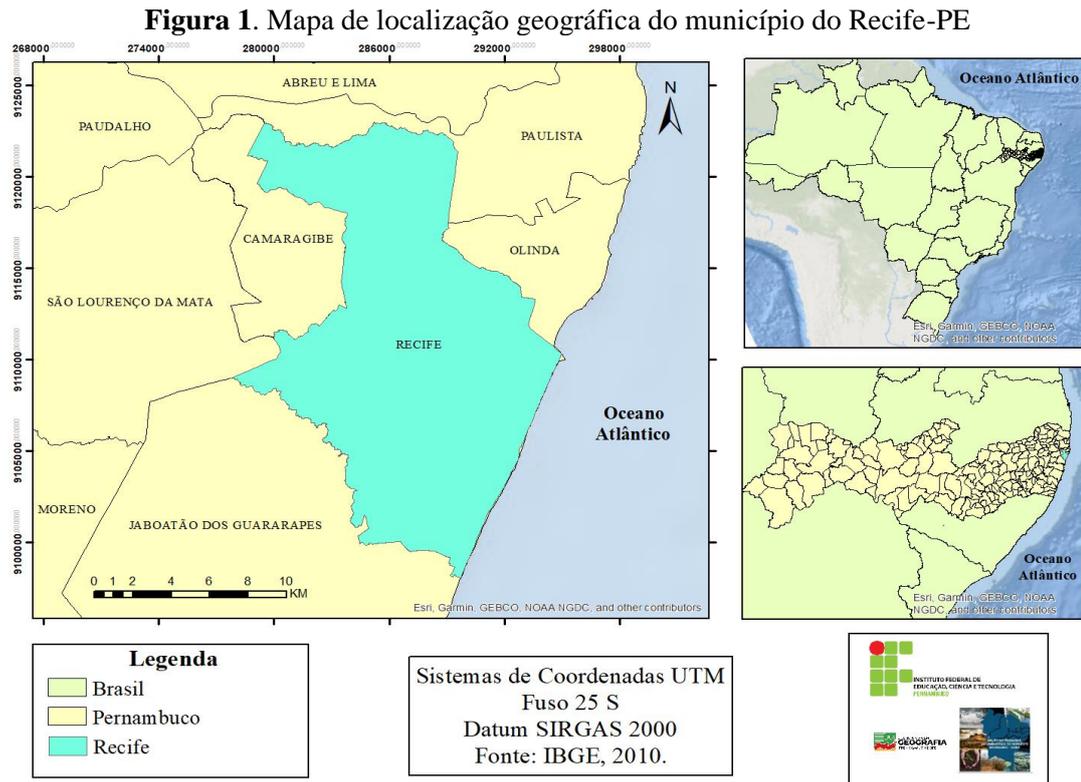
Para realizar análise sobre as contribuições das áreas verdes na redução da susceptibilidade ao escoamento superficial, vêm sendo utilizadas ferramentas de geoprocessamento. No âmbito internacional, Zhang et al. (2015), avaliaram o impacto da vegetação no escoamento superficial na cidade de Pequim. No Brasil, Sampaio, Cordeiro e Bastos (2016) realizaram uma análise semelhante na bacia hidrográfica do Alto do Mundaú. Especificamente em relação a cidade do Recife, essas ferramentas foram importantes, em estudos anteriores sobre a redução das áreas verdes do município e os impactos no clima local, e na geração de processos erosivos (OLIVEIRA et al., 2016).

Apesar da existência de trabalhos que avaliaram a relação da cobertura vegetal na redução do escoamento superficial no município do Recife, como exemplo o de Oliveira et al. (2016). Ainda se faz necessário compreender qual o impacto que as alterações ocorridas ao longo do processo de expansão do espaço urbano de Recife provocaram em relação ao aumento da susceptibilidade ao escoamento superficial, pois com esse conhecimento pode-se entender quais áreas foram mais impactadas e necessitam de ações que busquem equilibrar as condições socioambientais e a redução de desastres nas grandes cidades, como por exemplo, a implantação de parques com a ampliação de áreas verdes. Desta forma, este trabalho tem o objetivo de avaliar a efetividade de áreas verdes urbanas na redução do escoamento superficial na cidade de Recife-PE.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

Este estudo foi realizado na cidade do Recife (Figura 01) localizada na latitude 8° 04' 03'' s e longitude 34° 55' 00'' w tendo uma área total de 218. 843 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 1.661.017 milhões de habitantes pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). Segundo Rocha e Santos (2017), o clima do município do Recife é Tropical Quente e Úmido, com temperatura média de 25°C, tendo um alto índice de pluviosidade principalmente nas estações de outono/inverno. A área do município se encontra no domínio do bioma da Mata Atlântica (Figura 1).



Org: Os autores (2023).

### Procedimentos metodológicos

Para compreensão da função das áreas verdes urbanas para redução do escoamento superficial na cidade de Recife – PE, foram utilizados os procedimentos metodológicos descritos em Bias et al. (2012) e Oliveira (2012), com as adaptações que se fizeram necessárias. Foram analisados aspectos da paisagem para o entendimento da influência individual e sistêmica deles para a suscetibilidade ao escoamento superficial da área, tais como, cobertura vegetal, declividade, geologia, forma das vertentes, pedologia e a pluviosidade do local.

Para análise espaço-temporal da cobertura vegetal da área de estudo, foi gerado um NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). Para isto, foram utilizadas as imagens dos satélites Landsat 5 (14/06/1991 e 26/08/2006) e Landsat 8 (27/08/2018) obtidas na página da United States Geological Survey -USGS. A seleção das imagens de satélite seguiu o requisito da menor cobertura de nuvens possível, pois a área possui um clima úmido, o que gera consequentemente a ocorrência de imagens de satélite com forte nebulosidade.

O pré-processamento e processamento das imagens de satélite foram realizados no software Qgis 3.16. O primeiro procedimento foi a aplicação da calibração radiométrica nas bandas 3 (do vermelho) e 4 (do infravermelho próximo) das imagens do Landsat 5, que são dos anos de 1991 e 2006, pois as imagens do satélite Landsat 8, utilizadas para análise em 2018, são disponibilizadas com esse procedimento já realizado. Este processo, consiste na aplicação de uma equação proposta por Markham e Baker (1987), que resulta na conversão de cada nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática (OLIVEIRA, 2012). Este processo foi executado na calculadora raster do software Qgis 3.16.

O procedimento seguinte, foi o cálculo da reflectância nas bandas citadas. A equação para o cálculo de reflectância proposta por Allen et al. (2002) foi processada na calculadora raster do Qgis 3.16, e consiste na razão entre o fluxo de radiação solar no qual é refletido na superfície e o fluxo de radiação solar global incidente (OLIVEIRA, 2012). Para as imagens de Landsat 8 foi utilizada a ferramenta Semi-Automatic Classification Plugin, sendo inseridas as bandas 4 (do vermelho) e 5 (do Infravermelho próximo), no qual resulta na reflectância calculada dessas imagens.

Com base na realização dos cálculos de radiância e reflectância foi executado o cálculo para gerar o NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada), que neste contexto teve por finalidade apresentar a quantidade e o adensamento da vegetação verde (OLIVEIRA, 2012). Após o processamento das imagens, a classificação da cobertura vegetal foi gerada para os anos estudados no software Arcgis 10.2.2 (disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento – LABGEO – do IFPE Campus Recife). Para essa compartimentação, seguiu-se o modelo de Oliveira (2012), com as adaptações necessárias, onde, a área foi classificada em quatro classes de cobertura: (1) sombra, nuvem e água; (2) área urbana consolidada; (3) área intermediária: área urbana consolidada + vegetação esparsa; e (4) vegetação densa.

Para análise dos aspectos pedológicos e geológicos da área de estudo, foram utilizados, respectivamente, o banco de dados de solos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE (SILVA et al., 2001) que se encontra na escala de 1:100.000 e os dados geológicos da CPRM – Serviço Geológico Brasileiro que se encontram na escala 1:500.000. No mapeamento pedológico disponibilizado pelo ZAPE, a classe área urbana ocupa um espaço considerável, o que não permite um maior detalhamento das classes de solo existentes no local. Sendo assim, foi realizado um procedimento de adaptação do mapa pedológico, com o objetivo de gerar novos polígonos identificando as possíveis classes existentes nesse local, utilizando como critério características ambientais como o relevo.

Para isso, foi utilizado o mapa de declividade que permite verificar as áreas de topo, encosta e várzea, assim como, a observação das classes de solo de áreas próximas que estão no mesmo contexto ambiental. Nesse sentido, foram gerados novos polígonos com as seguintes classes de solo: Latossolo-Amarelo que se encontram em área de topo; Argissolo-amarelo que se encontram em área de encosta; e Espodossolo, Gleissolo e Neossolo Flúvico, que se encontram em área de várzea. Para estabelecimento dos pesos de susceptibilidade para as unidades de solo e geologia foi utilizada a metodologia de Crepani et al. (2001) com adaptações.

Para diagnosticar a declividade e as formas das vertentes foram utilizados os dados do programa Alos Pausar pertencente ao site Alasca Satellite Facility - ASF. O mapeamento das declividades da área foi elaborado utilizando os procedimentos descritos em Knierin et al. (2018) e Florenzano (2008). Para obtenção das formas das vertentes, foi utilizado o ArcMap 10.2.2, sendo utilizada inicialmente a ferramenta Curvature, do módulo Spatial Analyst. Após essa ação, obteve-se dois arquivos, o primeiro resultou no perfil de curvatura, e o segundo no plano de curvatura. O perfil de curvatura foi classificado em dois grupos de vertentes: as convexas e côncavas. O plano de curvatura foi classificado em dois grupos: em vertentes convergentes e divergentes (FLORENZANO, 2008; KNIERIN et al., 2018).

A obtenção das formas de vertentes deu-se usando a ferramenta Combine do módulo Spatial Analyst que faz a junção dos arquivos de perfil e plano de curvatura. Os resultados das formas das

vertentes foram divididos em 4 classes: convexo convergente, côncavo convergente, convexo divergente e côncavo divergente. As análises da declividade e das formas das vertentes foram baseadas nas metodologias de Knierin et al. (2018) e Florenzano (2008).

Para análise da precipitação, foram selecionados os dados de pluviosidades dos mesmos anos em que foram obtidos os dados de cobertura vegetal (1991, 2006 e 2018). Usou-se os dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. Durante o processo de obtenção dos dados de pluviosidade, houve dificuldades em encontrar as informações para os anos citados, obtendo-se dados apenas da estação de Recife Curado 00834007. Com base nessas informações, foi estabelecida a média anual da pluviosidade da área estudada.

Com base na metodologia utilizada por Bias et al. (2012), com as adaptações necessárias, foi aplicada para todos os atributos analisados uma matriz de pesos que varia de 0 a 5, com o valor mais alto (5) sendo direcionado para as áreas mais suscetíveis a escoamento superficial e o menor valor (0 a 1) sendo atribuído para as áreas com a menor suscetibilidade. Os dados dos parâmetros indicadores da susceptibilidade ao escoamento superficial foram submetidos através de uma operação algébrica, com o uso da equação 1.

$$SC = S + G + P + D + FV + CV \quad (1)$$

Onde: SC= Susceptibilidade; S= Susceptibilidade para o tema Solo; G= Susceptibilidade para o tema Geologia; P= Susceptibilidade para o tema Precipitação; D= Susceptibilidade para o tema Declividade; FV= Susceptibilidade ao tema Forma das Vertentes; NDVI= Susceptibilidade ao tema Cobertura Vegetal. Os dados de cada parâmetro, com os seus respectivos pesos atribuídos, foram processados com o uso da ferramenta Plus, presente no software ArcMap 10.2.2, onde após esse procedimento, foi possível obter o mapa de susceptibilidade ao escoamento superficial do município do Recife.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Cobertura vegetal

Após ser gerado o mapeamento da cobertura vegetal da área, através da aplicação do NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada), observou-se que no ano de 1991, a classe área urbana consolidada era de aproximadamente 48,4% (peso 5) em relação a classe cobertura vegetal densa, que era de 35,9% (peso 1) evidenciando uma expressiva redução da vegetação na cidade de Recife (Figura 2).

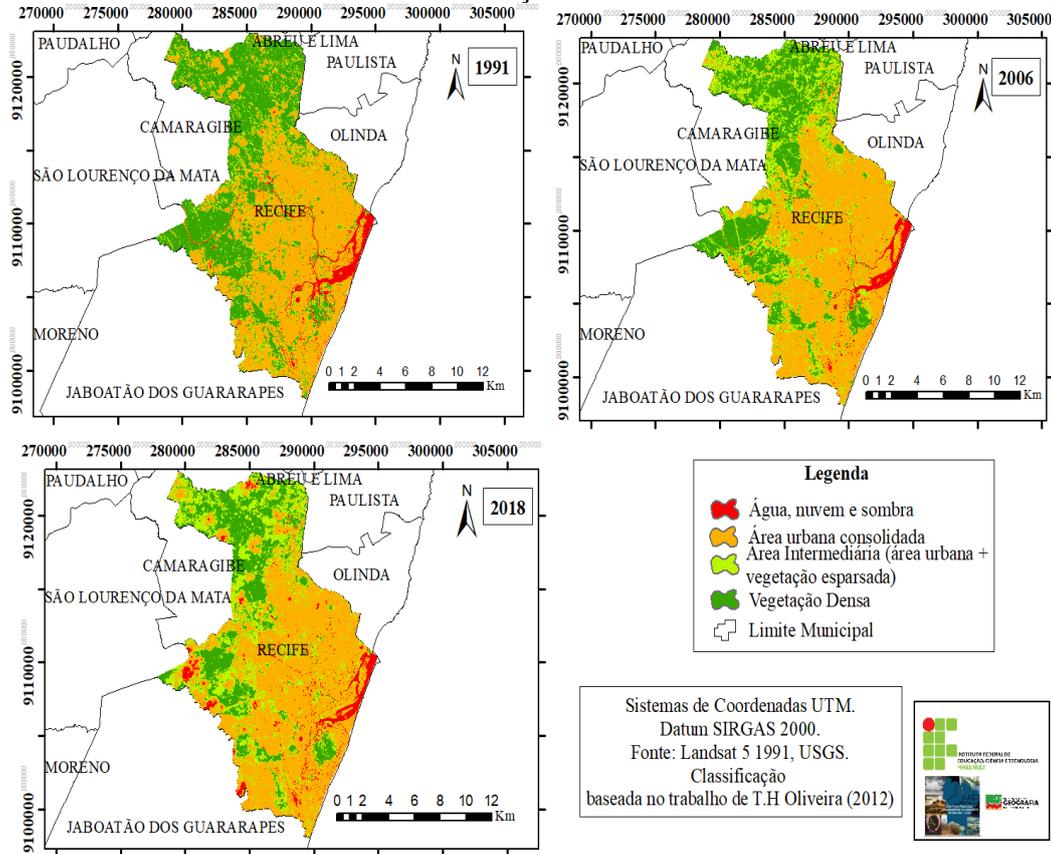
No ano de 2006, a classe área urbana consolidada passou a ter 51,4% (peso 5), o que representa um aumento significativo de 3% no intervalo de 15 anos. A cobertura vegetal densa (peso 1) apresentou uma supressão maior que o crescimento urbano, indo dos 35,9% para 24%, uma redução total de 11% da vegetação na cidade do Recife, mais que o triplo do percentual de crescimento urbano (Figura 2).

No ano de 2018 – 12 anos após 2006 – se observou que a classe área urbana consolidada (peso 5) passou de 51,4 % para 54%, com aumento de 2,6%, em contrapartida, a cobertura vegetal densa (peso 1) passou de 24% para 18,7% resultando numa redução de 5,3 % da vegetação, o dobro do crescimento urbano no mesmo período (Figura 2).

Esses aspectos demonstram uma correlação entre a expansão da malha urbana com o desmatamento no município do Recife, no qual é contemplado por um dos biomas mais degradados no Brasil que é a Mata Atlântica (DOS SANTOS et al., 2020). As áreas com vegetação possuem uma boa capacidade de percolação de água no solo, diminuindo o processo erosivo, já áreas sem vegetação passam a ser mais susceptíveis ao escoamento superficial da água, acarretando numa erosão laminar, que pode evoluir para feições lineares como exemplo:

sulcos, ravinas e até voçorocas, impactando na perda dos solos (BIAS, et al., 2012; OLIVEIRA, 2012; OLIVEIRA, et al., 2014 SANTOS e LOLLO, 2016;).

**Figura 2.** Mapeamento espaço – temporal da cobertura vegetal do Município do Recife – PE com a utilização do NDVI



Org: Os autores (2023).

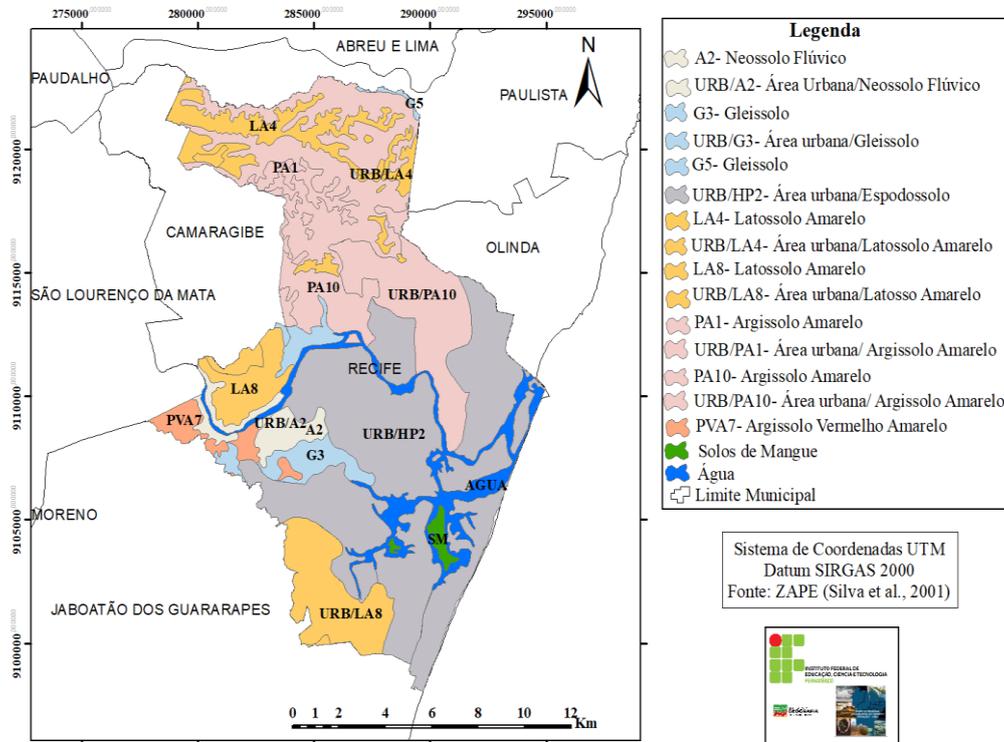
Nesse sentido, foi observada uma significativa perda de vegetação densa na cidade do Recife, entre os anos de 1991, 2006 e 2018. Esse processo acarretou diferentes problemáticas, pois o desmatamento deixa o solo desprotegido, assim tornando essas áreas mais suscetíveis ao escoamento superficial (CAMPOLI e STIVALI 2023). Importante destacar que muitas dessas áreas que foram desmatadas se encontram nas regiões norte e nordeste do município, que são locais de grande declividade (Figura 04), o que intensifica a susceptibilidade ao escoamento superficial no município do Recife.

### Solos

Os resultados evidenciaram grande variedade de unidades de solos presentes na cidade do Recife (Figura 03). É possível observar a predominância de alguns solos como o Argissolo Amarelo, com as unidades de mapeamento PA1 (2,0%) PA10 (17,7%), o Argissolo vermelho amarelo PVA7 (2,12%), o Latossolo Amarelo, com as unidades LA4(6,86%) LA8 (3,18%), o Gleissolo com as unidades G3 (3,62%) e G5 (0,20%) e o Neossolo flúvico com as unidades A2(2,92%). Nas áreas urbanas, onde foi realizada uma reclassificação, foram gerados os polígonos: Argissolo Amarelo, URB/PA10 (9,47%), URB/PA1 (0,01%); Latossolo Amarelo

URB/LA4 (0,42%), URB/LA8 (7,30%); Gleissolo URB/G3 (0,10%) e G5 (0,20%); Espodossolo com as unidades URB/HP2 (36,76%); e o Neossolo flúvico URB/A2 (0,08%).

Figura 3. Mapa das unidades de solos do Recife – PE



Org: Os autores (2023).

Verificou-se na área, solos que apresentam uma alta susceptibilidade ao escoamento superficial, sendo que as unidades PA10 e PA1 (Argissolos Amarelos) ficaram com peso 5 tanto em áreas naturais como em áreas urbanas. Já o PVA7 (Argissolo Vermelho-Amarelo) possui peso 4, assim como o LA8 e LA4 (Latosolos Amarelos), tanto para áreas naturais como urbanas. A Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA, 2018) destaca que, os Argissolos – devido ao acúmulo de argila no horizonte B – apresentam uma maior dificuldade na infiltração da água, que, ao aplicar nesse contexto, pode favorecer um maior escoamento superficial, resultando em um processo erosivo.

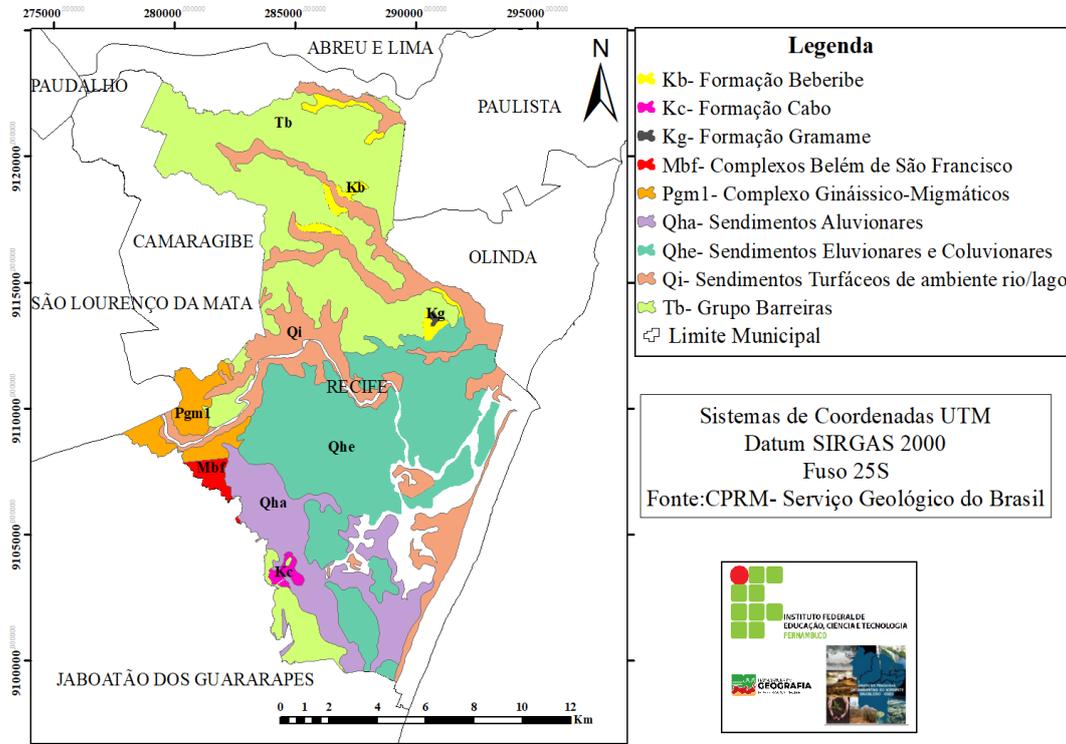
Mediante aos resultados expostos, é visível que 49,06% da área do município do Recife, está sobre unidades de solo que contém uma deficiência hídrica importante no qual resulta numa susceptibilidade elevada ao escoamento superficial principalmente nas áreas de encostas (HOFFMANN e NETO, 2020). Nesse sentido, a manutenção da cobertura vegetal se faz ainda mais importante, pois contribui para amenizar a dificuldade de infiltração que é natural da cobertura pedológica predominante na área.

## Geologia

O município do Recife está alocado em algumas classes geológicas (Figura 04) susceptíveis a denudação como a classe Tb (Grupo Barreiras que contempla 33,3% da área total) com o peso 4, Qhe (Sedimentos Eluvionares e Coluvionares, com 30% da área total) como o peso 3, Qha

(Sedimentos aluvionares, com 11,6% da área total) com o peso 3, e a classe Kg (Formação Gramame, com 0,06% da área total) com peso 5.

**Figura 4.** Mapa das unidades geológicas do Recife – PE



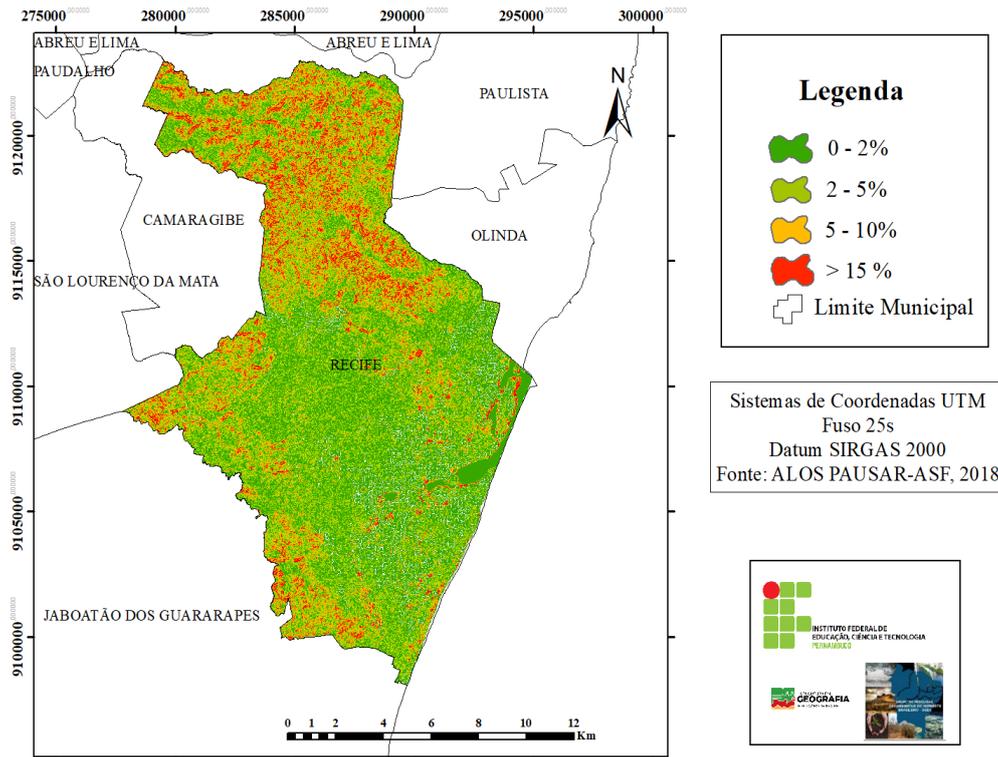
Org: Os autores (2023).

As classes citadas contemplam grau de alta susceptibilidade a processos de denudação, por conta das suas características físicas e serem sedimentares como no caso do grupo barreiras (NUNES, 2011). A suscetibilidade para essas classes varia neste contexto de média a alta susceptibilidade, acentuadas por agentes erosivos que podem intensificá-la, como o exemplo do escoamento superficial (CREPANI et al., 2001; FONTES, 2010).

### Declividade

Em relação a declividade do município do Recife (Figura 05), 37,7% correspondem a áreas com declividade de 0-2%, que são locais mais planos (peso 1). 37,1% correspondem a áreas com declividade 2-5% que são consideradas suave onduladas (peso 2). 18,3% correspondem a áreas com declividade 5-15% que resulta em um relevo ondulado (peso 4). E 6,8% correspondem a áreas de declividade >15% resultando em um relevo fortemente ondulado (peso 5). Segundo Knierin et al. (2018), áreas de relevo fortemente onduladas detém uma capacidade para uma alta susceptibilidade ao escoamento superficial, sendo áreas onde o uso da terra é mais restrito, por serem mais íngremes.

**Figura 5.** Mapa da Declividade de Recife – PE



Org: Os autores (2023).

Dessa forma, se observa que quanto maior for a declividade de um local, maior será sua susceptibilidade ao escoamento superficial. Essa característica quando intensificada por outros fatores, como exemplo o desmatamento, onde o solo desprotegido pode vir a contemplar processos erosivos, decorrentes das grandes precipitações, resultando assim um grande transporte de solos sobre essas áreas. (GIRÃO, 2018; KINIERIN et al., 2018).

### Forma das vertentes

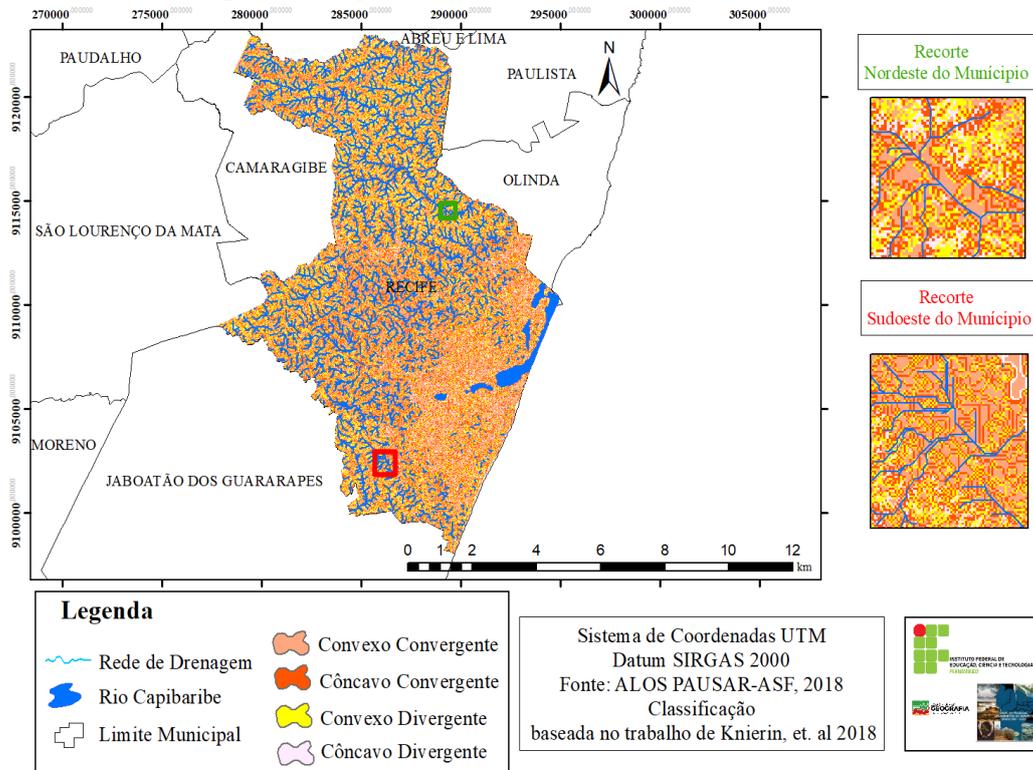
O procedimento de junção do perfil de curvatura e do plano de curvatura permitiu obter a forma das vertentes do município do Recife (Figura 06), dividindo-se em quatro classes de vertentes.

A primeira convexo-convergente, predomina em 39,6% do município (peso 3). Esta classe de vertente tem o fator de predomínio do aumento da energia dos fluxos superficiais e dos processos de infiltração, resultando no início do escoamento no local. A classe côncavo-convergente contempla 23% do município, tendo por característica dominante o acúmulo e a concentração máxima dos fluxos de escoamento das vertentes (peso 2).

A classe convexo-divergente cobre 31,9% do município e tem como característica o aumento da energia do fluxo com menor infiltração e máxima dispersão da drenagem neste caso (peso 5). Por fim, a classe côncavo-divergente contempla apenas 5,38% do município (peso 4). Essa classe é caracterizada pela dispersão de fluxo no contexto divergente e uma maior velocidade do escoamento no ponto de mudança do perfil convexo para côncavo, seguido de uma perda de velocidade, ao se aproximar da base da vertente. Neste contexto as classes de vertentes convexo-divergente e côncavo-divergente, estão mais suscetíveis a um elevado escoamento

superficial, por ambas terem a característica de maior dispersão de fluxo e menor processo de infiltração (KINIERIN et al., 2018).

**Figura 6.** Mapa das Formas das Vertentes de Recife - PE.



Org: Os autores (2023).

## Precipitação

Os resultados demonstram uma média de 195,8 mm de chuva entre os anos de 1979 e 1991. A média foi de 178,3 mm de chuva entre os anos de 1992 e 2006. E de 179,1 mm de chuva entre 2007 e 2018. Após a análise dos dados elencados, foi compreendido, que as médias pluviométricas, apresentaram, pequenas oscilações, porém mesmo assim acabam causando impactos na intensificação do escoamento superficial, sem a presença de cobertura vegetal no solo, atribuindo-se assim peso 5, para impactos em processos de denudação (DA SILVA et al., 2020; ANA, 2022).

Esse processo ocorreu em função da região climática no qual o Recife está alocado ser quente e úmida, com ocorrência de grandes precipitações no período do outono e do inverno, diferente do trabalho de Bias et al. (2012), onde as chuvas no Cerrado brasileiro ocorrem com maior frequência no verão, e entre os anos 2000 e 2007, houve uma redução na ocorrência de precipitação, resultando em um menor impacto do escoamento superficial na bacia hidrográfica de São Bartolomeu, no Distrito Federal (BIAS et al., 2012; DA SILVA JÚNIOR & NETO, 2020; SILVA e MANDÚ, 2020; SILVA et al., 2021).

## Susceptibilidade ao escoamento superficial

Para obtenção dos fatores que promovem o escoamento superficial e sua intensificação no município do Recife, foi realizada a correlação dos dados referentes às características

ambientais. Os resultados demonstraram que, em 1991, 21,70% da cidade do Recife apresentou uma classificação de baixa susceptibilidade ao escoamento superficial, 47,48% em média susceptibilidade, e 30,81% em alta susceptibilidade (Tabela 01).

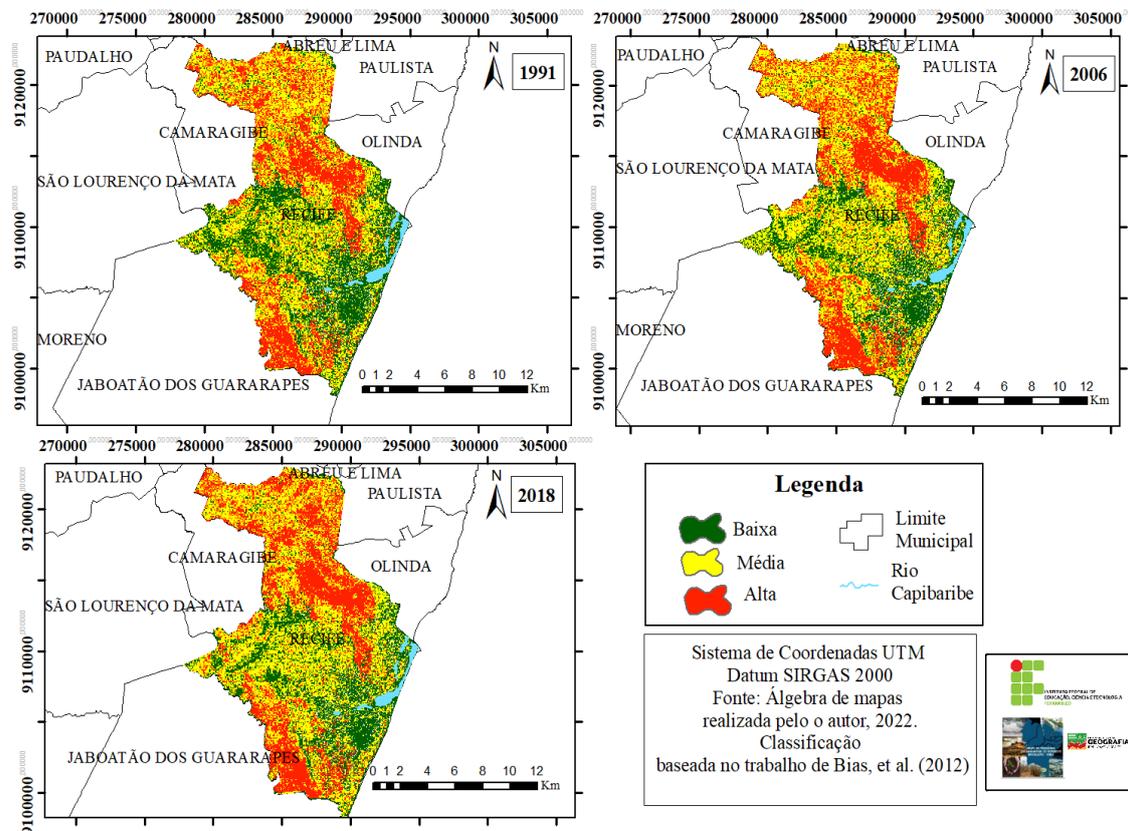
**Tabela 1.** Classificação da susceptibilidade ao escoamento superficial no município do Recife – PE

Anos	Classes de suscetibilidade (Área em %)		
	Baixa	Média	Alta
1991	21,70	47,48	30,81
2006	17,12	49,14	33,76
2018	16,77	47,22	36,01

Org: Os autores (2023).

Para o ano de 2006 há uma redução nas áreas de baixa susceptibilidade – de 21,70% para 17,12% – enquanto há um aumento nas áreas de média susceptibilidade – de 47,48% para 49,14% – e de alta susceptibilidade – de 30,81% para 33,76%. Para 2018 observou-se uma redução do percentual nas áreas de baixa susceptibilidade – de 17,12% para 16,77% – e de média susceptibilidade – de 49,14% para 47,22%, em relação a 2006. Em contrapartida, houve um contínuo aumento nas áreas de alta susceptibilidade, que passaram a ser de 36,03% (Figura 7).

**Figura 7.** Mapa da susceptibilidade do município do Recife nos anos trabalhados



Org: Os autores (2023).

As mudanças de intervalos entre 1991 e 2006 e 2006 até 2018, evidenciaram que o avanço desordenado da urbanização e da degradação da cobertura vegetal – que deixam o solo exposto – associados a fatores como precipitação, unidades de solos, geologia, declividade e forma das vertentes presentes no município de Recife, fazem com que algumas áreas – principalmente as de encosta – sejam mais suscetíveis a intensificação do escoamento superficial, podendo acarretar em processos erosivos, que ao ocorrerem no meio urbano podem resultar em catástrofes (OLIVEIRA, 2012; SILVA, 2019).

Apesar de uma maior área do município está classificada como de média susceptibilidade, houve uma redução nas áreas de baixa susceptibilidade e um aumento de 5,22% das áreas de alta susceptibilidade, no período de 27 anos analisado. Esse ritmo de perda de vegetação que eleva a susceptibilidade é um fator preocupante para o município, já que uma alta susceptibilidade ao escoamento superficial pode resultar em severos impactos socioeconômicos e ambientais (YOUNG, et al., 2015). Esses processos além de gerarem impacto social tendo uma grande perda significativa de vidas, podem representar um forte impacto econômico, principalmente na região Nordeste do Brasil, onde foi realizado um levantamento de 1991 até 2012, que demonstrou uma perda total de 82 bilhões de reais, ou 29% do valor nacional (TRISTÃO, 2022)

Os resultados obtidos indicam a necessidade do crescimento de áreas arborizadas no município do Recife. Sendo importante a manutenção dos pequenos fragmentos florestais, aumento de parques urbanos, recuperação de áreas de mata atlântica densas no Recife que são constantemente degradadas, assim como, o aumento da arborização nas principais vias (OLIVEIRA, GALVÍNIO e PIMENTEL, 2016).

Essas medidas representam importância tanto numa escala local como global, pois a conservação e crescimento das áreas verdes, principalmente nos grandes centros urbanos, representa uma medida para mitigação dos impactos que podem ser ocasionados pelas mudanças climáticas. Segundo Bias et al. (2018), corredores de vegetação e parques verdes que absorvem água podem ser integrados às áreas construídas, reduzindo os riscos de erosão e inundação, melhorando a biodiversidade e o armazenamento de carbono. Essas medidas podem contribuir para se alcançar o que preconiza o Objetivo para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 - cidades e desenvolvimento sustentável – que tem como parâmetro a redução de morte por catástrofes (SILVA JÚNIOR, 2021).

Projetos visando a melhoria da arborização também são importantes em áreas de encosta no Recife, pois podem resultar em impactos importantes para diminuição do escoamento das águas pluviais em áreas desprotegidas que pode resultar em consequências, como processos erosivos. Sendo importante destacar, que a recuperação da cobertura vegetal nesses espaços, terá que ser de mata atlântica para ocorrer a redução do escoamento superficial, caso a vegetação não seja apropriada ao local, pode resultar no encharcamento do solo e intensificar ao escoamento superficial (CANABRAVA NETO et al., 2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que 49,06% da área do município do Recife, está sobre unidade de solo que contém uma deficiência na capacidade da infiltração importante, que é o Argissolo, o que resulta numa susceptibilidade elevada ao escoamento superficial. Em relação a geologia 74,96% da área está sobre classes geológicas com menor resistência a processos de denudação.

Para a declividade, apesar da predominância de um relevo de plano a suave-ondulado, 25,1% da área está num contexto de maior susceptibilidade ao escoamento superficial. Em relação a forma das vertentes, 37,28% do município está alocado sobre vertentes convexas-divergentes e côncavas-

divergentes que são mais susceptíveis ao processo de escoamento superficial. Em relação aos dados da cobertura vegetal, houve uma redução de 17,57% da cobertura densa, influenciando diretamente no aumento do escoamento superficial.

Através da álgebra de mapas, que permitiu uma análise integrada da paisagem do Recife, foi notável que no período de 27 anos analisados, entre 1991 e 2018, ocorreu um aumento de 5,22% de áreas com alta susceptibilidade ao escoamento superficial.

Os dados já mostram um retrato importante da evolução da cobertura vegetal na cidade. No entanto, em função das limitações das imagens disponíveis, são necessários estudos de aprofundamento com imagens de melhor resolução espacial. Esses estudos futuros podem contribuir para um diagnóstico mais preciso dessa situação e fornecer ainda mais subsídios para políticas públicas.

Nossos resultados já apresentam uma realidade que demonstra ser necessário reduzir o desmatamento dos fragmentos florestais que existem no município do Recife, assim como, aumentar a cobertura verde da área, principalmente em locais com maiores declividades, para que se possa diminuir impactos socioambientais.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica - CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e ao Instituto Federal de Pernambuco - IFPE *campus* Recife por fornecer a infraestrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. HidroWeb: Sistema nacional de informações hidrometeorológico Nacional. Governo do Brasil. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 2 de Fevereiro, 2022.

AMATO-LOURENÇO, L. F. et al., Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. Estudos avançados, v. 30, n.86 p. 113-130, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/115084> Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

ASF. ALOS PALSAR. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>. Acesso em: 24 de Fevereiro, 2022.

BAI, X.; DAWSON, R. J.; URGE-VORSATZ, D.; DELGADO, G. C.; BARAU, A. S.; DHAKAL, S.; DODMAN, D.; LEONARSEN, L.; MASSON-DELMOTTE, V.; ROBERTS, D.; SCHULTZ, S. Six research priorities for cities and climate change. Nature, 27 de fev. de 2018. 23-25p. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-02409-z>. Acesso em: 04 de out. de 2022.

BIAS, E. de S. et al. Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, DF. Geociências, v. 31, n. 3, p. 411-429. São Paulo: UNESP, 2012. Disponível em: [https://www.revistageociencias.com.br/geocienciasarquivos/31\\_3/Art\\_08\\_Bias\\_et\\_al.pdf](https://www.revistageociencias.com.br/geocienciasarquivos/31_3/Art_08_Bias_et_al.pdf). Acesso em: 22 Jul, 2023.

CAMPOLI, J. S.; STIVALI, M. Custo social do desmatamento nos biomas brasileiros. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Brasília, janeiro de 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11811>. Acesso em: 15 ago, 2023.

CANABRAVA NETO, E. G.; KAUFMANN ALMEIDA, A.; LEITE, I.; GUARIENTI, J.A.; ALMEIDA, I. Telhado verde: Alternativa sustentável para a drenagem do escoamento superficial green roof: sustainable alternative for surface flow. MIX Sustentável. 2021. 7. 10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.125-136.

CASTRO, L. Q. de. Mapeamento da linha de costa e avaliação da vulnerabilidade e susceptibilidade à erosão costeira entre a foz do rio São João e a foz do rio Una - Cabo Frio/ RJ. 2020. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, 2020. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/13133>>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?UserActiveTemplate=cprm%5Fflayout&sid=94>> Acesso em: 12 de mar. 2022

CREPANI, E. et al., Uso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf> . Acesso em: 28 de outubro, 2022.

DA SILVA JUNIOR, M. A. B.; D. F. NETO, G. C.; CABRAL, J. J. da S. P. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS EM SÉRIES TEMPORAIS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NO RECIFE-PE. Revista de Geografia (Recife), v. 37, n. 1, 2020.

DA SILVA, A. L. et al., Avaliação da Precipitação da Microrregião do Seridó Oriental Paraibano. Geografia, v. 45, n. 2, p. 213-233, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5016/geografia.v45i2.15085>>. Acesso em: 22 Jul, 2022.

DOS SANTOS, L. D., SCHLINDWEIN, S. L., FANTINI, A. C., HENKES, J. A., & BELDERRAIN, M. C. N. DINÂMICA DO DESMATAMENTO DA MATA ATLÂNTICA: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. 2020. 9(3), 378–402. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020378-402>

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / H. G. dos S. ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

FLORENZANO, T.G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos. 2008. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/livro/geomorfologia-conceitos-e-tecnologias-atuais/>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022. FONTES, A.L.. Geomorfologia fluvial e hidrografia. São Cristovão, 2010.

GIRÃO, Ítalo R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 4, p. 71–83, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273>. Acesso em: 12 jan. 2023.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas como unidades de gestão e planejamento, a partir do estudo de áreas a sudoeste da cidade do Recife – PE. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 242-267. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/download/228730/23144>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

HOFFMANN, A.; SILVA, M.; NETO, G. ESCOAMENTO SUPERFICIAL E PERDAS DE SOLO EM SUB-BACIA FLORESTAL, MUNICÍPIO DE ELDORADO DO SUL, RS. Brazilian Journal of Development. 2020. 6. 58111-58132. 10.34117/bjdv6n8-283.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados. Pernambuco: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>>

KNIERIN, I. da S.; TRENTIN, R.; DE SOUZA R., L. E.. RELAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES COM OS ATRIBUTOS DO RELEVO NO MUNICÍPIO DE UNISTALDA-RS. Geo UERJ, n. 32, p. 23397, 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/23397>. Acesso em: 28 de outubro, 2022.

MORALES CERDAS, V.; PIEDRA CASTRO, L. & ROMERO, M. & BERMÚDEZ-ROJAS, T. Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. Revista de biología tropical. 2018. 66. 1421-1435. 10.15517/rbt.v66i4.32258.

NUNES, F. C.; SILVA, E. F. da; VILAS-BOAS, G. da S. Grupo Barreiras: Características, Gênese e Evidências de Neotectonismo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes>

OLIVEIRA, P. J. L. de; GUEDES, J. F.; COSTA, D. F. da S. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE REGULAÇÃO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL. Mercator (Fortaleza), v. 21, p. e21028, 2023.

OLIVEIRA, T. H. de et al. Análise da Variação Espaço-Temporal das Áreas Verdes e da Qualidade Ambiental em Áreas Urbanas, Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, [S.l.], v. 7, n. 6, p. 1196-1214, jul. 2014. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233564>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

OLIVEIRA, T. H.; de GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M. (Land cover classification and change analysis in Recife-PE municipality using unsupervised classification | Classificação da cobertura do solo e análise de mudanças no município de Recife-PE usando classificação de classificação não supervisionada. Revista Geama. 2016. 2(3), 352–371. Recuperado de <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/865>

OLIVEIRA, T. H. de. Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE. Recife, 2012. 154 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia. Recife, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10921>. Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

OLIVEIRA, T. H. de et al. Evolução Espaço-Temporal da Drenagem Superficial e do Processo de Impermeabilização em Santo Amaro, Recife-PE (Time-Space Evolution of Surface Drainage and Waterproofing Process in Santo Amaro, Recife-PE). Revista Brasileira de Geografia Física, [S.l.], v. 8, n. 6, p. 1571-1587, jan. 2016. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233668>. Acesso em: 15 ago. 2023. doi:<https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150088>.

QUAGLILOLO, C.& COMINO E. & PEZZOLI, A. Experimental Flash Floods Assessment Through Urban Flood Risk Mitigation (UFRM) Model: The Case Study of Ligurian Coastal Cities. Frontiers in Water. 2021. 3. 663378. 10.3389/frwa.663378.

ROCHA, J. V. de C.; SANTOS, V. A. dos. CARACTERIZAÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CIDADE DO RECIFE UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS. Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 20, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v20i0.43518. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13958>. Acesso em: 15 ago. 2023.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. Nunes; BASTOS, F. de H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 01, p. 125-143, 2016.

SANTOS, F. M. DOS .; LOLLO, J. A. DE. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 663–675, out. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/CGrNxSKVKymfjbdKZsDtGRD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

SILVA JÚNIOR, F. J. da. Impactos sociais, ambientais e econômicos provocados por córrego a céu aberto na zona sudeste de Teresina, PI: uma análise do planejamento urbano vis à vis ao ODS 11 da ONU. 2021. Dissertação (Mestrado em Análise e Planejamento Espacial) - Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina central, Teresina, 2021.

SILVA, A. J. da. Escoamento superficial e erosão entressulcos em planossolo sob pastagem com diferentes períodos de implantação. TCC – Agronomia. Universidade Federal da Paraíba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/16560>. Acesso em: 15 ago, 2023.

SILVA, F. B. R. et al. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4697/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-pernambuco-zape>. Acesso em: 28 de Outubro, 2022.

SILVA, W.; BARBOSA, H. Avaliação da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso usina coruripe para as safras de 2000/2005. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2021. 14. 1352-1366. 10.26848/rbgf.v14.3.p1352-1366.

SILVA, E.; MANDÚ, T. Rainfall intensity variability in the rainy season in Recife-PE *Brazilian Journal of Development*. *Brazilian Journal of Development*. 2021. 6. 69044-69053. 10.34117/bjdv6n9-376.

TRISTÃO, L. F. Plano de recuperação de área degradada em local de efeitos de terra: um estudo de caso. 2022. 46 f. Monografia (Graduação em Bacharel em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal do Espírito Santo, Ibatiba, 2022.

YOUNG, C. E. F.; AGUIAR, C.; SOUZA, E. Valorando Tempestades: Custo econômico dos eventos climáticos extremos no Brasil nos anos de 2002 – 2012. *Observatório do clima*. São Paulo, 2015.

ZHANG, B. et al. Effect of urban green space changes on the role of rainwater runoff reduction in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, v.140, p.8-16, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016920461400276X>. Acesso em 28 de Outubro, 2022.