



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



MARIANA DE ALBUQUERQUE BRAGA ALVES

Cenários Climáticos e Planejamento Urbano:
Caminhos para uma Cidade Sustentável

Garanhuns-PE
2022

MARIANA DE ALBUQUERQUE BRAGA ALVES

Cenários Climáticos e Planejamento Urbano:
Caminhos para uma Cidade Sustentável

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de mestre(a) em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Tecnologias

Linha de Pesquisa: Modelagem Socioambiental e Tecnologias

Orientadora: Werônica Meira de Souza

Garanhuns-PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns - PE, Brasil

A474c Alves, Mariana de Albuquerque Braga.
Cenários climáticos e planejamento urbano: caminhos para
uma cidade sustentável / Mariana de Albuquerque Braga Alves.
– 2022.
98 f. : il.

Orientadora: Werônica Meira de Souza.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós
-Graduação Ciências Ambientais, Garanhuns, BR – PE, 2022.
Inclui referências.

1. Eventos extremos. 2. Cenários climáticos 3. Expansão
urbana I. Souza, Werônica Meira de, orient. II. Título

CDD 363.7003

MARIANA DE ALBUQUERQUE BRAGA ALVES

Cenários Climáticos e Planejamento Urbano:
Caminhos para uma Cidade Sustentável

Data de Aprovação:

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a) Dr.(a) Werônica Meira de Souza (Orientadora)

UFRPE/UFAPE

Prof.(a) Dr.(a) Janaína Maria Oliveira de Assis (Examinador interno)

UFPE/RECIFE

Prof.(a) Dr.(a) Ruskin Fernandes Marinho de Freitas (Examinador externo)

UFPE/RECIFE

DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação e todos os seus frutos àquele que me apresentou a importância de buscar o equilíbrio entre as estruturas naturais e construídas, àquele que me ensinou a reconhecer nas árvores e no solo natural os caminhos para manutenção da vida e para a qualidade ambiental, àquele que me tocou a alma com a missão de passar adiante esses conhecimentos tão importantes para todas as pessoas em meu caminho... Professor Dr. Ruskin Fernandes Marinho de Freitas, minha referência profissional, meu amigo, mentor e grande exemplo de retidão, clareza, competência, objetividade, simplicidade e praticidade. Jamais esquecerei seus ricos ensinamentos, meu querido Mestre...

Sua vida aqui na Terra encerrou-se muito brevemente há poucos dias, deixando-nos todos perplexos diante da fragilidade da vida, mesmo para uma pessoa tão viva, presente, atuante e produtiva. Sua vida material se encerrou, mas seu legado segue com muito mais força... seus conhecimentos partilhados com muitos seguem frutificando, assim como esta Dissertação. Os artigos que você visualizou aqui serão construídos com a máxima qualidade, a melhor comunicação e os conhecimentos gerados serão compartilhados com toda a sociedade, como você mesmo me ensinou. Conforme conversamos certa vez... estou cuidando de minha pequena muda com muito cuidado, compromisso e carinho. Um dia ela será uma árvore bela e frondosa como a que você se tornou. Obrigada, Ruskin, por tanto e por tudo o que você representa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Pelo sopro da vida em mim e por tudo o que dele vivi até hoje... agradeço a Deus!

Pelo amor incondicional, por todo o apoio, pelos valores passados, pelo constante estímulo ao crescimento e, principalmente, por terem caminhado cada passo ao meu lado... agradeço aos meus pais Alexandre e Maria e aos meus irmãos Luciana e Romero. Sem vocês, eu nada seria. Pela adesão à ideia de abraçar esta missão, pela compreensão diante das ausências e por acreditar que tudo valeria à pena... agradeço ao meu marido Wendell e às nossas filhas Marina, Amanda e Melissa (que se juntou a nós durante essa jornada). Amo vocês, meu tudo!

Pela torcida, pelo carinho e pelas orações... agradeço aos queridos familiares e amigos. Em especial, agradeço à querida amiga Cida que, com seu carinho materno, assumiu os cuidados com Melissa para que eu tivesse condições físicas e psicológicas para me dedicar à esta Dissertação, e aos bons amigos João Vitor Almeida e Suianne Melo pelo tempo, pela atenção e pelo carinho em me acompanhar em reflexões e meios criativos de chegar onde eu idealizei.

Pela disposição e ajuda com a coleta de dados e informações em órgãos governamentais e empresas públicas e privadas... agradeço a Dinaldo Macedo, Wanessa Pereira, Josué Bernardo, Charles Ruas, Neide Brandão e Carlos Henrique Joazeiro. Pelas imagens aéreas realizadas em voo do Grupamento Tático Aéreo, Secretaria de Defesa Social de Pernambuco – SDS/PE, gentilmente cedidas para este trabalho... agradeço ao Major Heitor Martins.

Por aceitar e enriquecer minha proposta de trabalho e, principalmente pelas valiosas contribuições com seu conhecimento e experiência em orientação... agradeço à minha orientadora Prof. Dra. Werônica Meira de Souza. E por aceitar nosso convite para das Bancas de Qualificação e Defesa de Dissertação e, principalmente pelas extremamente ricas contribuições dadas para a continuidade desse trabalho... agradeço aos ilustres Professores Dra. Janaína Maria Oliveira de Assis e Dr. Ruskin Fernandes Marinho de Freitas. Agradeço ainda ao Prof. Dr. Ricardo Vigoderis, por suas contribuições em Banca de Seminários.

Por me receber de braços abertos e me iluminar o caminho das Ciências Ambientais para que eu pudesse vislumbrar o melhor caminho para cumprir esta missão... agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPCIAM/UFPE. E por caminhar junto comigo em todos os momentos de novidades, incertezas, incompreensões e desafios pela novidade do conhecimento, mas, sobretudo, pela condição do isolamento social imposto pela pandemia que nos afetou... agradeço aos colegas da 1ª turma de mestrado PPCIAM.

Por aceitar minhas inquietações e embarcar comigo em viagens em busca de mais conhecimento, me inspirando a querer aprender mais a cada dia... agradeço aos meus queridos alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil da Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns – AESGA, em especial: Juan Pedro, Maysa Rodrigues, Letícia Cordeiro, Élide Gisele e Valmir Júnior.

E, finalmente, por acreditar que o cumprimento desta missão se realiza como mais um degrau na escada do crescimento... agradeço a todos os Professores que tive ao longo de minha formação, desde as primeiras letras do alfabeto até esse mesmo instante. Sua paciência, persistência e alegria em aprender e compartilhar o conhecimento foram sempre inspiradores para mim. Ficam aqui registradas minha máxima admiração e minha eterna gratidão!

APRESENTAÇÃO DA AUTORA

A autora possui formação de graduação no curso de Arquitetura e Urbanismo, pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (2005.1), e Pós-graduação Lato Sensu de Especialização em Educação e Desenvolvimento Sustentável, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Garanhuns – UAG (2008). Atuou em diversas atividades profissionais ligadas ao planejamento urbano desde sua vida estudantil, a exemplo de monitoria e estágio no Laboratório de Conforto Ambiental – LACAM da UFPE (1999-2001) e de participação de equipe de suporte técnico para elaboração do Plano Diretor de Olinda, através do Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada - CECI (2003-2004). Em sua vida profissional, destaque para suas contribuições na secretaria Municipal de Planejamento de Garanhuns/PE (2006-2015), tendo ocupado, inclusive, o cargo de Secretária Municipal de Planejamento (2009-2011). Desde agosto de 2011 atua no corpo docente da Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns – AESGA, como Professora nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, neste último, lecionando disciplinas ligadas ao Planejamento Urbano e ao Conforto Ambiental. Sua formação acadêmica e suas experiências profissionais agregam valor às discussões desenvolvidas neste trabalho e contribuem com um olhar prático na interpretação de questões complexas no âmbito da política urbana e nas recomendações feitas como sugestão para a gestão municipal, como principal contribuição desta Dissertação.

RESUMO

As transformações das cidades com a substituição da paisagem natural por estruturas construídas, tem ocasionado impactos danosos à qualidade de vida da sociedade, com aumento das ilhas de calor e mudanças significativas na paisagem natural. Esta pesquisa teve como objetivo contribuir com o planejamento urbano e ambiental de Garanhuns, em Pernambuco, visando agregar ao seu futuro crescimento características de uma cidade sustentável, considerando resultados de diferentes cenários climáticos e a valorização da qualidade ambiental como diferencial para as futuras construções. Para desenvolvimento do trabalho, construiu-se uma Linha do Tempo com os marcos e eventos construtivos mais significativos do Município de 1960 a 2020, por meio do levantamento de dados referentes ao Plano de Desenvolvimento Urbano, Lei de Zoneamento, Plano Diretor Participativo, Programa Minha Casa Minha Vida, entre outros documentos, além de imagens de satélites. Calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) utilizando informações da banda espectral do vermelho e infravermelho próximo obtidas pelos satélites Landsat 8 e Landsat 5 para os anos de 1990, 2000, 2008 e 2019, por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com o intuito de avaliar os impactos ambientais da expansão urbana municipal. Foram calculadas as tendências dos índices de extremos climáticos em Garanhuns-PE através do software RCLIMDEX (versão 3.2.1.), a partir do processamento dos dados diários de precipitação, temperaturas máximas e mínimas de 1 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2019, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram gerados cenários climáticos para o período de 2022 a 2099 das variáveis precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, temperaturas máximas e mínimas, considerando os cenários de emissão de gases de efeito estufa otimista e pessimista, cujos dados foram obtidos pelo PROJETA-CPTEC/INPE. Por fim, foi realizado um levantamento sobre as oportunidades de mercado para expansão urbana e sobre a legislação local para uso e ocupação do solo, expansão urbana e valorização ambiental. Dos resultados encontrados, destacaram-se: o aumento da tendência de eventos extremos, especialmente na última década, fato observado juntamente com a aceleração do crescimento construtivo no Município; o alerta gerado pelos cenários climáticos, que apontam tendência de aumento das temperaturas e redução das chuvas, com sérios riscos para o abastecimento de água da região. Desta forma, é urgente a proposta de princípios, diretrizes e ações para consideração na próxima revisão de plano diretor municipal, com vistas ao crescimento urbano com qualidade ambiental de Garanhuns/PE, garantindo melhores condições para o desenvolvimento municipal e para qualidade de vida de seus cidadãos.

Palavras-chave: eventos extremos, cenários climáticos, expansão urbana.

ABSTRACT

The transformation of cities with the replacement of the natural landscape by built structures has caused harmful impacts on the quality of life of society, with an increase in heat islands and significant changes in the natural landscape. This research aimed to contribute to the urban and environmental planning of Garanhuns, in Pernambuco, aiming to add to its future growth characteristics of a sustainable city, considering the results of different climatic scenarios and the valorization of environmental quality as a differential for future constructions. For the development of the work, a Timeline was built with the most significant construction milestones and events in the Municipality from 1960 to 2020, through the collection of data regarding the Urban Development Plan, Zoning Law, Participatory Master Plan, Minha Programa Minha Casa Minha Vida, among other documents, as well as satellite images. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated using information from the red and near-infrared spectral band obtained by the Landsat 8 and Landsat 5 satellites for the years 1990, 2000, 2008 and 2019, through the Instituto Nacional de Pesquisas (INPE), with the aim of evaluating the environmental impacts of municipal urban expansion. The trends of climatic extremes indices in Garanhuns-PE were calculated using the RCLIMDEX software (version 3.2.1.), from the processing of daily precipitation data, maximum and minimum temperatures from January 1, 1961 to December 31, 1961. 2019, provided by the National Institute of Meteorology (INMET). Climate scenarios were generated for the period from 2022 to 2099 of the variables rainfall, average air temperature, maximum and minimum temperatures, considering the optimistic and pessimistic greenhouse gas emission scenarios, whose data were obtained by PROJETA-CPTEC/INPE . Finally, a survey was carried out on market opportunities for urban expansion and on local legislation for land use and occupation, urban expansion and environmental valorization. Of the results found, the following stand out: the increase in the trend of extreme events, especially in the last decade, a fact observed together with the acceleration of constructive growth in the Municipality; the alert generated by the climate scenarios, which point to a trend towards an increase in temperatures and a reduction in rainfall, with serious risks for the region's water supply. Thus, it is urgent to propose principles, guidelines and actions for consideration in the next revision of the municipal master plan, with a view to urban growth with environmental quality in Garanhuns/PE, guaranteeing better conditions for municipal development and for the quality of life of its inhabitants. citizens.

Keywords: extreme events, climate scenarios, urban sprawl.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 01: Variação da Precipitação Anual em Piracicaba/SP (1917-2004).....	25
Figura 02: Localização do Município de Garanhuns.....	32
Figura 03: Mapa da classificação climática para estado de Pernambuco, na escala de Köppen (1936).....	33
Figura 04: Modelado do relevo de Garanhuns.....	46
Figura 05: Relevo e limites da mancha urbana de Garanhuns (2020).....	46
Figura 06: Curvas de nível e limites da mancha urbana de Garanhuns (2020).....	47
Figura 07: Ocupação urbana e os limites causados pela topografia em Garanhuns/PE.....	47
Figura 08: Vista aérea da periferia oeste do Município de Garanhuns/PE, com áreas de reserva hídrica para abastecimento.....	47
Figura 09: Vista aérea de voçoroca vegetada no Município de Garanhuns/PE.....	48
Figura 10: Perfis do relevo de Garanhuns (2020).....	48
Figura 11: Rosa dos ventos – Garanhuns/PE (dia).....	49
Figura 12: Rosa dos ventos – Garanhuns/PE (noite).....	49
Figura 13: Expansão urbana em Garanhuns-PE (1965).....	51
Figura 14: Expansão urbana em Garanhuns-PE (1983).....	51
Figura 15: Expansão urbana em Garanhuns-PE (2006).....	51
Figura 16: Expansão urbana em Garanhuns-PE (2020).....	51
Figura 17: Linha do tempo dos principais marcos e eventos do crescimento urbano em Garanhuns/PE (1960 – 2020).....	54
Figura 18: Mapeamento dos principais marcos e eventos do crescimento urbano em Garanhuns/PE (1960 – 2020).....	56
Figura 19: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (1990).....	58
Figura 20: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (2000).....	58
Figura 21: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (2008).....	58
Figura 22: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (2019).....	58
Figura 23: Vista aérea dos Conjuntos Residenciais Viana e Moura (vermelho), São Vicente II (amarelo) e Antônio Cordeiro (verde), Município de Garanhuns/PE.....	59
Figura 24: Vista aérea do Conjunto Residencial São Vicente II, Município de Garanhuns/PE.....	60
Figura 25: Vista aérea do Condomínio Bellevue, Município de Garanhuns/PE.....	60
Figura 26: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação para Garanhuns-PE (1961 a 2019).....	61
Figura 27: Índices de extremos climáticos relativos à quantidade de dias consecutivos secos e úmidos para Garanhuns-PE (1961 a 2019).....	62
Figura 28: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação em 1 e em 5 dias para Garanhuns-PE (1961 a 2019).....	62
Figura 29: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação em 10 e em 20 dias para Garanhuns-PE (1961 a 2019).....	63
Figura 30: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação em 10 e em 20 dias para Garanhuns-PE (1961 a 2019).....	63
Figura 31: Índice de extremo climático relativo aos dias extremamente úmidos para Garanhuns-PE (1961 a 2019).....	64
Figura 32: Comportamento temporal dos índices: TX – máximo e mínimo das temperaturas máxima (a) e TN – mínimo e máximo das temperaturas mínimas observados no período de 1961 a 2019 em Garanhuns-PE.....	64
Figura 33: Comportamento temporal dos índices DTR - amplitude diária de temperatura (a) e WSDI - ondas de calor (b) observados no período de 1961 a 2019 em Garanhuns-PE.....	65
Figura 34: Comportamento temporal dos índices TX90p - dias quentes (a) e TN90p - noites quentes (b) no período de 1961 a 2019 em Garanhuns-PE.....	66
Figura 35: Projeções da precipitação pluviométrica anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.....	68
Figura 36: Projeções da temperatura média anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.....	70

Figura 37: Projeções da temperatura máxima anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.....	72
Figura 38: Projeções da temperatura mínima anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.....	74

QUADROS

Quadro 01: Exemplo de arquivo de entrada dos dados.....	37
Quadro 02: Índices climáticos dependentes da precipitação pluviométrica diária, temperaturas máxima e mínima com suas definições e unidades.....	38

LISTA DE TABELAS

TABELAS

Tabela 01: Critérios ambientais para aprovação de novos loteamentos em Garanhuns/PE.....	80
Tabela 02: Percentuais para diversificação de árvores.....	80

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

EC: Estatuto da Cidade

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

MCMV: Minha Casa Minha Vida

NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

PDP: Plano Diretor Participativo

PDPG: Plano Diretor Participativo de Garanhuns

QV: Qualidade de Vida

SIMCEU: Sistema Municipal de Monitoramento e Controle da Expansão Urbana

WCDMP: World Climate Data Monitoring Programme

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Qualidade ambiental e qualidade de vida.....	18
3.2 Economia e meio ambiente: planejando cidades sustentáveis.....	19
3.3 Clima, extremos climáticos e variabilidade.....	23
3.4 Cenários climáticos e planejamento urbano.....	27
3.5 Plano Diretor como definidor da qualidade ambiental.....	29
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1. Área de estudo.....	32
4.2 Procedimentos metodológicos.....	33
4.2.1 Modelado de relevo.....	33
4.2.2 Mapeamento da evolução da expansão urbana.....	34
4.2.3 NDVI.....	35
4.2.4 Legislação urbanística e ambiental.....	35
4.2.5 Índices de Extremos Climáticos.....	36
4.2.5.1 Software RCLIMDEX.....	36
4.2.5.2 Controle de Qualidade dos Dados.....	37
4.2.5.3 Formato de Entrada dos Dados.....	37
4.2.6 Cenários de Mudanças Climáticas.....	43
4.2.7 Proposição de diretrizes para o planejamento municipal.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Condições naturais para ocupação urbana em Garanhuns/PE.....	46
5.2 Oportunidades econômicas da expansão urbana e suas consequências ambientais.....	49
5.2.1 Impactos ambientais da expansão urbana municipal.....	57
5.2.2 Extremos Climáticos identificados: causas e consequências.....	61
5.3 O futuro através de Cenários Climáticos.....	68
5.4 Legislação Municipal e Qualidade Ambiental.....	75
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
6.1. Recomendações.....	84
7. REFERÊNCIAS.....	89

1. INTRODUÇÃO

Observando a história das cidades no mundo, é possível perceber que o advento da Revolução Industrial, com início marcado no final do século XVIII, intensificou o processo de urbanização, atraindo um grande volume de pessoas do campo para os centros urbanos em busca de emprego e melhores condições de vida, como aponta Benévolo (1991). Como resultado, vêm ocorrendo transformações físicas substanciais das cidades com a substituição da paisagem natural por estruturas construídas, em decorrência da aceleração do crescimento urbano para acomodar essa nova e crescente população. No Brasil, os efeitos desse processo só foram observados a partir da década de 1960.

De maneira geral, considera-se que não há cidade sem construções, não há desenvolvimento urbano sem obras, não há obras que não causem algum tipo de impacto, nem tampouco existem cidades sem problemas urbanos. O desenvolvimento é bem-vindo e novas construções são não apenas uma consequência, mas principalmente uma necessidade. Edifícios devem ser construídos para abrigar pessoas nas mais variadas funções de uma propriedade urbana: habitação, saúde, trabalho, lazer, etc., assim como vias públicas devem ser pavimentadas para a promoção da mobilidade, integrando setores diferentes, facilitando deslocamentos, fazendo fluir o trânsito, além de promover mais segurança, dignidade, conforto e valorizar a paisagem com o embelezamento de espaços coletivos através de ações em obras que demonstrem que o progresso ali chegou. Entretanto, a qualidade ambiental não pode ser esquecida, pois a supressão das estruturas naturais feitas “em nome do progresso” causa impactos danosos à qualidade de vida, profundos e significativos, como as mudanças climáticas.

As condições climáticas das áreas urbanas, entendidas como clima urbano, derivam da alteração da paisagem natural e da sua substituição por ambientes construídos, como ressalta Mendonça (2003). Ou seja, o clima constitui uma das dimensões do ambiente urbano e seu estudo é fundamental para oferecer importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental nas cidades. Assim, o planejamento ambiental deve ser considerado como elemento tanto básico como complementar na elaboração de programas de desenvolvimento econômico e social, além de sê-lo também para otimização de plano de uso, manejo e gestão de qualquer unidade territorial, como apontam Rodriguez; Silva; Cavalcanti (2007).

Há muitas consequências quando o planejamento para este crescimento inexistente, ou falha, especialmente para o comprometimento da qualidade ambiental, pois, sabe-se que a urbanização promove alterações climáticas em escalas horizontais e verticais, devido a diversos

fatores como: materiais usados nas construções, pavimentação asfáltica, atividades humanas geradoras de calor, supressão das águas superficiais e da vegetação, impermeabilização do solo, gerando um clima urbano que, associado a aspectos específicos, como localização, topografia e principalmente do uso e ocupação dos solos, tem suas especificidades, como destacam Lima e Araújo (2016).

Ressalta-se que as variabilidades climáticas, principalmente os extremos climáticos, são fatores determinantes na qualidade de vida de uma sociedade, pois exercem influência significativa nas atividades industriais, comerciais, agrícolas, turismo, entre outros, sem falar no conforto ambiental, como enfatizam de Souza e de Azevedo (2009). O clima influencia o homem, fazendo com que ele reflita suas percepções sensoriais e sensação de satisfação em sua motivação pessoal e na sua capacidade de imprimir qualidade ao trabalho, ao repouso e ao lazer. Nóbrega e Lemos (2011) mencionam a influência do clima sobre o homem, ressaltando que o homem desempenha um papel importante na dinâmica climática através de suas várias atividades. Se a sociedade influi no clima em escala global isso ainda é alvo de muita discussão entre os inúmeros cientistas, entretanto, parece ser unânime que o homem seja capaz de alterar o clima em escala local e uma das áreas mais afetadas é a cidade.

O município de Garanhuns, distante 230km da capital Recife, está localizado no Agreste Meridional de Pernambuco, em região de relevo acidentado, conhecido como Planalto da Borborema. Sua malha urbana se desenvolve sobre superfície de topografia acidentada, sujeita a um clima do tipo mesotérmico do tipo Csa, de acordo com Köppen (1936), com chuvas de outono e inverno, cuja temperatura média anual encontra-se em torno de 20°C.

Conhecido ao longo do tempo pelas temperaturas amenas, o Município tem sofrido transformações ambientais importantes, principalmente na última década, com reflexos diretos para as temperaturas médias e para a frequência e intensidade das chuvas. Observa-se a redução significativa de massas verdes e de solo natural em detrimento do aumento de construções civis e de impermeabilização do solo em toda a zona urbana de Garanhuns. Árvores cortadas sem controle adequado, jardins dando lugar a garagens e pisos concretados, calçadas impermeabilizadas, o aumento de vias pavimentadas, etc. O aumento de superfícies construídas e a crescente impermeabilização de solo fazem com que as águas das chuvas corram superficialmente e sejam levadas para cada vez mais longe da cidade, ao invés de ser absorvidas pelo solo, afastando assim o ciclo natural da água da cidade, tornando-a mais quente e seca a cada ano.

O mercado de construção civil, estimulado por programas governamentais de incentivo à minimização do déficit habitacional, a exemplo do Programa Minha Casa Minha Vida - MCMV, lançado através da Caixa Econômica Federal em 2009, vislumbrou boas oportunidades de negócios para o setor em todo o país e em Garanhuns não foi diferente. Essas oportunidades se transformaram em realidade e, como reflexo imediato, promoveram rápida expansão urbana não prevista no Plano Diretor da Cidade, pois o mesmo entrou em vigor meses antes do lançamento do MCMV.

É fato que os municípios precisam manter sua economia ativa e, para isso, as oportunidades criadas são fundamentais. Entretanto, as estruturas naturais também precisam de atenção e garantias, pois referem-se à qualidade ambiental e como tal, têm fundamental importância para a qualidade de vida. Esse discurso desperta interesse para a reflexão e impulsiona o pensamento em busca de alternativas para preservar os bens naturais face às pressões econômicas para o desenvolvimento da cidade.

As preocupações com a qualidade ambiental crescem à medida em que a qualidade de vida é afetada. A capacidade de antecipar situações (otimistas e pessimistas) pode ser a chave para orientar o planejamento urbano com vistas ao desenvolvimento de uma cidade sustentável. Estas preocupações estão diretamente ligadas às condições que afetam elementos climáticos como temperaturas e precipitação, uma vez que estes protagonizam diferenciais importantes para a qualidade ambiental e constituem referência sólida para a qualidade de vida. Compreender seu comportamento e de que maneira estão sujeitos a variações é fundamental para antecipar situações possíveis e fundamentar propostas de planejamento que visam direcionar ações mitigadoras de impactos e de adaptação para motivar o crescimento sustentável. Entende-se que a perda de qualidade ambiental do município de Garanhuns esteja associada ao aumento de suas temperaturas médias em consequência da supressão de boa parte da cobertura vegetal do solo com impermeabilização de superfícies, causadas pelo adensamento construtivo e pela pavimentação padrão de vias de circulação. Acredita-se que a indicação de diretrizes ambientalmente sustentáveis para o crescimento construtivo deverá proporcionar um melhor equilíbrio ambiental, portanto mais qualidade ambiental para o espaço urbano, e melhor qualidade de vida para todos os seus usuários.

Essa dissertação visa contribuir com o planejamento urbano e ambiental de Garanhuns/PE, visando agregar ao seu futuro crescimento características de uma cidade sustentável, considerando resultados de diferentes cenários climáticos e a valorização da qualidade ambiental como diferencial para as futuras construções. Os resultados encontrados se

configuram como importante alerta para a gestão municipal no que se refere à capacidade de crescimento e qualidade de desenvolvimento com reflexos para a qualidade de vida da população.

O trabalho está organizado em 04 partes, após esta Introdução e a apresentação de objetivos, da seguinte maneira: a 1ª parte apresenta o referencial teórico embasado em revisão bibliográfica, onde se discutem conceitos fundamentais para a compreensão da discussão e das propostas; a 2ª apresenta os materiais e os métodos dotados para desenvolver o trabalho; a 3ª apresenta e comenta todos os resultados e, a 4ª, pontua as considerações finais, apresentando, por fim, recomendações para a gestão municipal no que se refere à legislação ligada à política urbana e ambiental do Município, ou seja, ao Plano Diretor Participativo de Garanhuns.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Contribuir com o planejamento urbano e ambiental de Garanhuns/PE, visando agregar ao seu futuro crescimento características de uma cidade sustentável, considerando resultados de diferentes cenários climáticos e a valorização da qualidade ambiental como diferencial para as futuras construções.

2.2 Específicos

- Mapear e discutir condições e motivações para a evolução da expansão urbana em Garanhuns (1960 a 2020);
- Compreender os conceitos “Economia Ambiental” e “Cidade Sustentável” para fundamentar a valorização da qualidade ambiental junto aos interesses econômicos tradicionais do mercado imobiliário dominante no município;
- Avaliar os índices climáticos referentes às variáveis climáticas: precipitação, temperaturas máximas e mínimas (1961 a 2019);
- Gerar cenários climáticos futuros das variáveis precipitação, temperatura média, temperaturas máximas e mínimas para o período de 2022 a 2099;
- Propor diretrizes para o planejamento urbano e ambiental de Garanhuns/PE, visando agregar ao seu futuro crescimento características de uma cidade sustentável.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Qualidade ambiental e qualidade de vida

Qualidade de vida é algo que a maior parte das pessoas almeja, entretanto, considerando o entendimento de Pereira (2012), Ruidiaz-Gómez e Cacante-Caballero (2021) afirmam que a qualidade de vida (QV) é um conceito complexo, influenciado por múltiplas dimensões que incluem a saúde física, estado psicológico, nível de independência, condições de vida e relações sociais do indivíduo e leva os críticos à compreensão da qualidade de vida sob uma perspectiva que inclui o contexto econômico e político.

Fator imprescindível para consideração no momento da escolha sobre onde morar, a compreensão do termo pode variar a depender de que aspectos se considera fundamentais a satisfazer e de onde se considera viável a moradia: cidade ou campo. Sobre isso, Pereira (2012) aponta, baseado no entendimento de Gill & Feisntein (1994), que, apesar de haver inúmeras definições, não existe uma definição de qualidade de vida que seja amplamente aceita e que o conceito não inclui apenas fatores relacionados à saúde, como bem-estar físico, funcional, emocional e mental, mas também outros elementos importantes da vida das pessoas como trabalho, família, amigos, e outras circunstâncias do cotidiano.

Ou seja, o campo, para muitas pessoas, é sinônimo de qualidade de vida porque está relacionado com a qualidade do ar que se respira, com a quantidade de verde e solo natural e à qualidade da água, além do ritmo de vida orientado quase que exclusivamente pelas condições naturais às quais o viver no campo está sujeito. Para outras pessoas, entretanto, a qualidade de vida está na facilidade de acesso à oferta de serviços e às dinâmicas ligadas ao desenvolvimento que o viver na cidade proporciona.

Ruidiaz-Gómez e Cacante-Caballero (2021) destacam que os atributos da qualidade de vida são estabelecidos pelas condições de vida, bem-estar físico, bem-estar material, bem-estar social, bem-estar emocional, desenvolvimento econômico, estabilidade política, meio ambiente e percepção de satisfação geral e representações sociais a que ele obedece. Determinantes individuais, relacionados entre si e com aspectos políticos. Esse pensamento torna possível admitir que a ideia da qualidade de vida pode ser interpretada de maneira a considerar os benefícios considerados nas duas formas de morar (cidade e campo) de maneira associada, como um ideal a atingir, em que condições mais próximas ao equilíbrio das estruturas ambientais naturais e construídas tornem a vida de seus usuários mais segura, mais confortável e proporcione mais condições para o desenvolvimento, ou seja, a qualidade e vida está

diretamente relacionada com a qualidade ambiental e com o que ela proporciona para o desenvolvimento.

Com foco no equilíbrio entre o natural e o construído, planejadores urbanos e gestores públicos devem estar atentos à evolução da tecnologia dos sistemas construtivos e dos novos materiais de construção, para buscar as melhores soluções construtivas para os espaços numa cidade. Sobre a impermeabilização de solos, por exemplo, existem soluções permeáveis bastante interessantes e funcionais para pavimentação de calçadas, vias e estacionamentos que apontam inúmeros benefícios como: evitar alagamentos, sobrecarga do sistema de drenagem pluvial, além de serem acessíveis e seguros. A permeabilidade oferece ainda outros benefícios, como a necessária renovação de lençóis freáticos e a permanência de umidade nas camadas superficiais do solo, o que promove condições mais adequadas à manutenção da vegetação existente e no controle das temperaturas.

Planejar soluções sustentáveis requer estudos específicos, criatividade e bom senso, mas isso não é tudo. Requer do planejador parceria com o gestor e, sobretudo, com o usuário, pois ambos deverão ser orientados sobre a necessidade de respeitar e manter cada detalhe planejado funcionando, afinal, numa intervenção com compromisso voltado à sustentabilidade, tudo terá sido pensado para funcionar em perfeita harmonia. Os resultados podem ser percebidos na qualidade funcional e sensorial dos espaços, beneficiando toda a cidade em diversos aspectos que colaboram para uma melhor qualidade de vida.

Para compreender melhor o que acontece e fundamentar a discussão sobre as possibilidades de solução, faz-se necessário aprofundar o conhecimento sobre alguns conceitos-chaves, tais como clima, eventos extremos, variabilidade climática, cenários climáticos, economia ambiental, cidades sustentáveis. Desta forma, seguem nos tópicos adiante.

3.2 Economia e meio ambiente: planejando cidades sustentáveis

Os termos “recursos ambientais”, ou mesmo “recursos naturais”, foram largamente utilizados na literatura e nas legislações pertinentes. Entretanto, essas referências têm sofrido algumas atualizações e novos termos vêm aparecendo corriqueiramente. Dulley (2004), em seus estudos, percebeu, no entanto, que a linguagem das legislações no Brasil vem adotando novos termos quando se referem aos Recursos Naturais ou Recursos Ambientais. Por exemplo, utilizam-se os termos “ativos ambientais” para designar: água, ar, solo, vegetação, fauna, flora marinha, floresta, mangues, dunas, subsolo, águas interiores, etc. O termo “ativos ambientais” poderia ser substituído pelo termo “recursos ambientais” sem nenhum prejuízo, portanto, são

equivalentes. Independentemente da nomenclatura utilizada, esses elementos se configuram como sendo fundamentais na composição do ecossistema urbano pelas suas características particulares em desempenhar funções únicas, dessa maneira, são tidos como indispensáveis para o bom funcionamento de toda a estrutura.

Santos (2003) afirma que a tecnociência e o capital global não se interessam pelos recursos biológicos mas pelo potencial para reconstruir o mundo, pois potencial significa potência no processo de reprogramação e recombinação. Sendo assim, é fundamental garantir continuidade desses Recursos Ambientais como potenciais transformadores para que se possa continuar usufruindo economicamente e ambientalmente de seus inúmeros benefícios.

A economia convencional não leva em consideração qualquer ligação entre sistemas ecológicos, atividades de produção e consumo. Para os economistas, os fluxos monetários circulam em um sistema fechado, entre produtores e consumidores, entre empresas e indivíduos. Neste molde, o meio ambiente é considerado uma “externalidade” (CAVALCANTI, 2010).

Para Chang (2005), os recursos naturais e o meio ambiente são externos ao mercado e sua inclusão seria dada a partir do estabelecimento de um preço, uma ideia apoiada por outros autores. Cavalcanti (2010) explica que os economistas ambientais enxergam motivação na internalização de custos ambientais, buscando máximo benefício pelo custo mínimo, mas promovendo a preocupação com os impactos ambientais decorrentes da exploração dos recursos naturais em prol do crescimento econômico. Portanto, a Economia Ambiental preconiza a valoração dos ativos ambientais com o objetivo de garantir sua existência para a sustentabilidade dos negócios que os envolvam e assim proporcionar condições de sucesso para o sistema econômico.

De acordo com Oliveira (2017), a economia ambiental se caracteriza por olhar a questão ambiental apenas pela ótica monetária. Contudo há pensamentos divergentes que alertam sobre o perigo de monetizar os ativos ambientais. Cavalcanti (2004) alerta sobre o perigo de atribuir valor monetário a bens e serviços ecológicos, tornando-os substituíveis. Como alternativa à monetização dos ativos ambientais, surgem ideias para compensar as perdas causadas pela exploração desses bens, em benefício do sistema econômico. Souza *et al.* (2016) ressaltam que o uso de técnicas de recuperação e conservação em áreas de degradação, associadas a incentivos econômicos podem impulsionar o uso de boas práticas. Em seu estudo foi feita uma reflexão sobre a necessidade de diversificar técnicas de recuperação e aprofundar os conhecimentos, a avaliação e o monitoramento dos serviços ambientais nas áreas degradadas.

As compensações de perdas ambientais são fundamentais para garantir a conservação dos recursos naturais. Essas compensações podem ser realizadas de maneiras diferentes, a depender da legislação em vigor. Entretanto, seja de maneira direta (recompondo os bens naturais diretamente de onde se causam os impactos) ou indireta (através de custos pagos às instâncias responsáveis por licenciamento), essas compensações obrigatórias internalizadas nos custos da empresas são compreendidas como passivo ambiental. Bergamini Júnior (1999) diz que o passivo ambiental é compreendido como uma obrigação por parte da empresa que incorreu em um custo ambiental ainda não desembolsado.

O passivo ambiental está presente nas empresas através dos riscos do negócio que podem ser revelados através de situações: por iniciativa da empresa que reconhece suas obrigações, antecipando as ações de terceiros; por reivindicação de terceiros, em que são requeridos pela comunidade em decorrência de prejuízos sofridos em função das atividades operacionais; e, finalmente, por exigibilidade das obrigações ambientais, cujos órgãos ambientais aplicam penalidades ao verificar o grau de responsabilidade da empresa (GALDINO *et al.*, 2004). Salienta-se que cabe ao poder público, ao qual esses órgãos ambientais estão vinculados, estabelecer através de leis específicas de que maneira o passivo ambiental será trabalhado.

Thomas, Callan (2010) apontam que a premissa é fazer com que o crescimento econômico e a qualidade ambiental possam ser valorizados juntos, em vez de constituírem objetivos concorrentes. Ou seja, as implicações práticas sobre o passivo ambiental trabalhado não deve ser visto como uma punição porque envolve um custo para executar, ou, ainda, como algo que envolve uma penalidade em caso de não cumprimento, mas devem ser trabalhadas como uma necessidade para agregar mais valor ao ativo ambiental e, conseqüentemente, ao negócio vinculado, fortalecendo a importância do desenvolvimento econômico juntamente com a preservação das estruturas naturais.

Esse pensamento direciona os caminhos para uma cidade sustentável. Entretanto, é importante compreender que não se pode estabelecer um conceito padrão para essa ideia, pois, de acordo com Scruggs (1993, p. 37), uma das dificuldades para definir uma cidade sustentável é o fato de que não há apenas um único modelo. Lugares diferentes têm parâmetros físicos e climáticos diferentes. Pessoas diferentes têm necessidades e desejos econômicos e sociais diferentes. Rodriguez *et. al* (2018) apontam que as variantes do crescimento urbano sustentável (ou seja, cidades inteligentes, cidades, cidades resilientes, cidades com baixo carbono, cidades sustentáveis) trazem oportunidades renovadas para criar caminhos para o desenvolvimento urbano sustentável. Afirmam ainda que elas criaram agendas confusas para os tomadores de

decisão, planejadores, partes interessadas e comunidades empresariais, mas que o progresso pode acontecer concentrando-se em oportunidades que criam precedentes para um desenvolvimento urbano transformador e sustentável. Ou seja, associando os conteúdos citados pelos autores acima, compreende-se que é fundamental identificar características naturais da cidade e compreender os potenciais atrelados para direcionar ações que visem criar ferramentas para instrumentalizar o planejamento urbano, utilizando uma linguagem clara e objetiva, harmonizando seu plano diretor com Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, constantes da Agenda 2030 (IPCC, 2015), visando garantir disponibilidade e manejo sustentável da água, construir de infraestrutura resiliente, tornar as cidades resilientes e sustentáveis, assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra, deter a perda da biodiversidade e fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável para que todos caminhem numa mesma direção, conferindo assim condições suficientes para trilhar o caminho da sustentabilidade.

Petersen (2016) alerta que, no futuro, um dos principais desafios das sociedades será a transformação das cidades em assentamentos sustentáveis. Isso porque criar cidades sustentáveis requer muitas intervenções, desde o desenvolvimento do capital humano e do conhecimento da economia à proteção do meio ambiente, cidades sustentáveis, novas ou adaptadas, devem estabelecer novos padrões para governar as cidades do futuro (SODIQ et al., 2019).

A legislação municipal sobre uso e ocupação do solo, ordenamento do crescimento e defesa das estruturas naturais, nesse contexto, aparece como sendo ferramenta essencial para orientar os gestores no seu planejamento e nas melhores tomadas de decisão para atingir os melhores resultados no que se refere à promoção de melhores condições para crescimento urbano com qualidade ambiental e de vida. Entretanto, a pluralidade de leis em vigor exige do corpo técnico da administração uma boa organização de dados e informações de modo a articular as regulamentações e providências de cada uma, priorizando o interesse comum, voltado não apenas para o crescimento, mas sobretudo para a qualidade ambiental que proporciona o desenvolvimento urbano.

Destaca-se a lei de política ambiental cumpre um papel estratégico na definição de objetivos, obrigações, normas básicas para administração da qualidade ambiental e posturas a serem adotadas para a proteção, o controle, o desenvolvimento do meio ambiente e a melhoria da

qualidade de vida da população, pelo menos em forma de diretrizes, respeitadas as competências da União e do Estado. Suas definições devem estar reunidas em Lei Municipal própria, articulada com outras Leis Municipais estruturadoras do crescimento e do ordenamento urbano, a exemplo do Plano Diretor, da lei de Uso e Ocupação do Solo, Lei de Parcelamento, etc. Vinculados à Lei que institui a Política Ambiental estão instrumentos que regulamentam especificações e orientam com mais detalhes as obrigações e posturas a ser cumpridas. Como exemplos, é possível apontar a legislação ambiental, o zoneamento ambiental, o fundo municipal de meio ambiente, a avaliação de impactos ambientais e análise de riscos, o licenciamento ambiental, o controle, o monitoramento e a fiscalização de atividade efetiva ou potencialmente poluidora, degradadora ou que utilizem, sob qualquer forma, recursos ambientais, entre outros.

Essa rede articulada de posturas e ações evidencia a importância de combinar o valor que os recursos naturais têm para a qualidade de vida com sua importância para o desenvolvimento econômico da sociedade, tornando-os parte essencial para o todo, cada um com seu valor único pela função que desempenha no contexto geral da qualidade ambiental e de vida, incluindo aí a maneira com a qual influencia as oportunidades econômicas que impulsionam o crescimento e o desenvolvimento.

3.3 Clima, extremos climáticos e variabilidade

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) apontam que os clássicos conceitos de clima revelam preocupação com a apreensão do que seja a característica do clima quanto ao comportamento médio de **elementos atmosféricos** (ex. média térmica, pluviométrica e de pressão). Destacam ainda que alguns conceitos formulados conforme prerrogativas da Organização Mundial de Meteorologia - OMM, internalizam também a determinação temporal cronológica para a definição de tipos climáticos, de onde as médias estatísticas devem ser estabelecidas a partir de uma série de dados de um período de 30 anos (id., n.p.).

O **clima** é, portanto, resultado da combinação de comportamentos dos **elementos climáticos** com **fatores climáticos** ao longo de um período de 30 anos, cuja média de comportamento (excetuando-se os extremos) corresponde à **climatologia**. Os elementos estão representados por temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, nebulosidade, radiação solar, entre outros, e os fatores englobam condições geográficas como relevo, continentalidade, latitude, altitude, massas verdes, correntes marítimas, entre outros. Mas há que se considerar também os **fenômenos climáticos** que se caracterizam por eventos atmosféricos que ocorrem naturalmente

em uma determinada região e diferem do comportamento usual, como por exemplo: El Niño, La Niña, Inversão térmica, Efeito estufa, entre outros (DIAS, 2014; Siebert, 2012;).

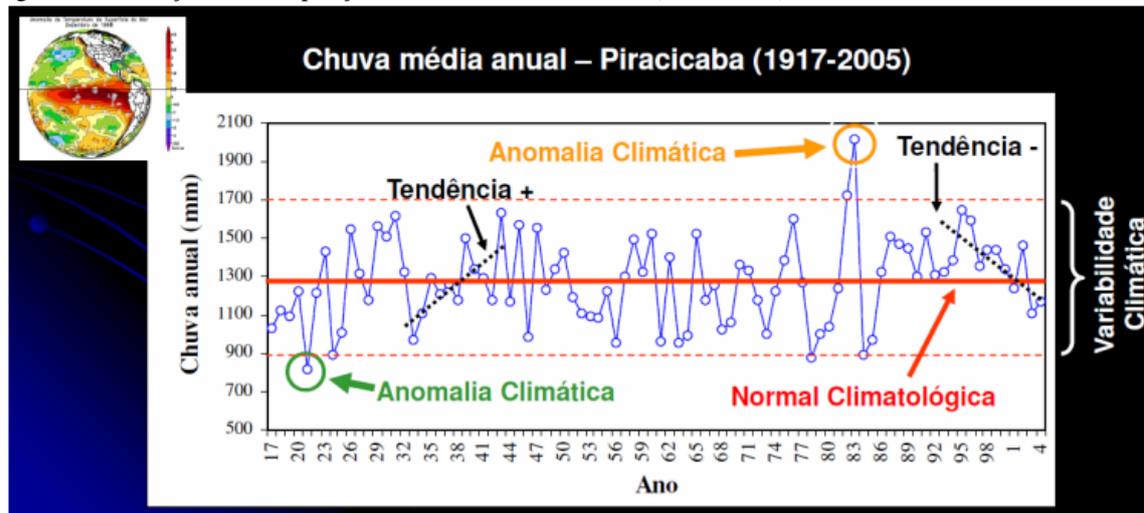
Variáveis consideradas para a compreensão do clima de uma região são fortemente influenciadas por características físicas locais (naturais e construídas). Por força do crescimento urbano, conforme vão se alterando essas características, modificam-se também os resultados das variáveis locais, causando impacto no conforto ambiental e na qualidade de vida.

Estudos sobre o clima implicam em compreender como se comportam os elementos climáticos em virtude da combinação de fatores climáticos e fenômenos climáticos, considerando recortes temporais específicos. Entretanto, de acordo com Ayoade (2007, p. 2), o clima abrange um maior número de dados do que as condições médias do tempo numa determinada área, pois inclui considerações dos desvios em relação às médias (variabilidade), condições extremas e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo.

A **variabilidade climática** trata-se, de acordo com Angelocci e Sentelhas (2010), da combinação das escalas temporal e espacial dos fenômenos meteorológicos, que se refere às flutuações das condições meteorológicas e, por extensão, das condições climáticas em torno da média climatológica.

A Figura 01 ilustra valores de uma série histórica sobre a Precipitação Anual em Piracicaba/SP, para o período de 1917-2004. Observa-se que a variabilidade climática foi identificada segundo valores máximos e mínimos ocorridos dentro de uma faixa que varia entre 900 e 1.700mm, gerando uma média de 1.300mm, que recebe o nome de normal climatológica. Observando a variabilidade climática em destaque é possível perceber tendências de crescimento e diminuição desses valores ao longo dos anos e, pontualmente, alguns extremos são registrados fora da faixa de variabilidade, denominados **anomalias climáticas**. Angelocci e Sentelhas (2010) afirmam que esses eventos anômalos estão normalmente associados a um fator causal, os quais podem ter várias origens, por exemplo nos fenômenos El Niño e La Niña.

Figura 01: Variação da Precipitação Anual em Piracicaba/SP (1917-2004).



Fonte: Angelocci e Sentelhas (2010)

Adicionalmente, os autores chamam a atenção para o termo **mudança climática** como sendo a indicação de uma tendência de alteração estatística significativa da média de um elemento climatológico ou de sua variabilidade em períodos de tempo mais extensos, como décadas ou séculos. Esse entendimento cria um alerta para a observação das alterações significativas do comportamento das médias, seja de elevação, seja de diminuição, pois a mudança climática tem implicações diversas sobre o ecossistema urbano, sobre o funcionamento da cidade e, portanto, sobre sua qualidade de vida.

Souza (2011) alerta para a **diferença conceitual entre variabilidade e mudança climática** e destaca que a variabilidade climática é a flutuação do clima em um período de tempo inferior a uma década e que, após cessar o efeito do evento, o clima retorna aos valores anteriores, enquanto que, na mudança climática, o clima não retorna aos padrões anteriores, ou seja, ele passa a apresentar novas características.

Associados às mudanças climáticas, estão os **eventos extremos** que, por sua vez se referem à ocorrência de picos (altos e baixos) registrados em momentos específicos ao longo do recorte temporal considerado. Através de registros feitos ao longo do tempo, é possível gerar dados para observar o comportamento dos elementos climáticos e identificar os eventos extremos.

Loureiro et al (2014) chama à atenção o fato de que nas últimas décadas, os eventos extremos têm causado constantes impactos em inúmeras cidades brasileiras. Os autores destacam que estes eventos podem ocorrer de várias maneiras, como ondas de calor, períodos de estiagem, inundações, deslizamentos, etc. e que eventos extremos costumam ganhar destaque na mídia devido aos impactos socioambientais ocasionados nas grandes áreas urbanas, implicando em elevado número de mortes, feridos, desabrigados, proliferação de doenças, perdas econômicas

onerosas, impactos ao meio ambiente, dentre outros. A pesquisa destaca ainda que esses impactos estão fortemente relacionados com a maior exposição da população a riscos diversos e que o fenômeno da urbanização desordenada contribui ainda mais para um aumento nos impactos ocasionados por episódios de precipitações extremas.

Portanto, conhecer esses extremos é fundamental para compreender os riscos aos quais está sujeita a população, tornando possível antecipar problemas e buscar meios de auxiliar o planejamento urbano no sentido de estabelecer regras e promover ações para minimizar esses riscos e promover um ambiente urbano mais seguro, mais saudável e com mais qualidade de vida para seus usuários.

No mundo inteiro, muitos pesquisadores vêm debatendo e aprofundando pesquisas e conhecimentos sobre a forte relação entre clima e ações antrópicas como fato marcante para as mudanças climáticas que vem sendo identificadas.

Silva, Montenegro e Souza (2017) apontam que desde o surgimento da questão “mudança climática”, diversos autores propõem diferentes índices e metodologias melhor compreender as variações climáticas, objetivando utilizá-los para identificar tendências de mudanças climáticas em regiões com qualquer tipo de clima.

Karl et al. (1997), afirmam que nem sempre o aumento da média está relacionado com um aumento nos extremos e que as mudanças nos extremos (ex: redução dos dias frios, aumento da duração das ondas de calor, etc) causam expressivos impactos na sociedade e nos ecossistemas em geral.

A análise de banco de dados climáticos consiste na principal ferramenta utilizada para compor uma linha estimativa temporal. O banco de dados de informações climatológicas brasileiro é administrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e possui dados registrados desde antes de 1900, para algumas regiões.

A bibliografia disponibiliza exemplos da utilização de dados de variação climática para aplicação em planejamento urbano. Rodrigues et al. (2020), analisando o banco de dados de precipitação para o município de Natal, capital do Rio Grande do Norte, no período de 1984 a 2014, obtiveram uma estimativa de ocorrência de eventos extremos em dois períodos do ano, onde o período com intensidade de chuvas (maio a julho) apresentaria um índice pluviométrico diário maior que 60mm, e obtendo uma probabilidade de 37,7% a 73,7% de que o evento ocorra. Um padrão de aquecimento generalizado foi uma tendência obtida para o Estado do Paraná, onde as temperaturas mínimas, por exemplo, apresentariam um valor mais alto. Os resultados foram obtidos após realizarem um análise de tendência dos dados da série histórica (entre 1976

a 2010) sobre precipitação e temperatura do ar, coletados de 20 estações meteorológicas distribuídas pelo estado e, em seguida, aplicarem os valores relativos a cada indicador no software RClimDex (SILVA et al., 2015).

A geração dos índices de extremos climáticos com o software RClimdex gera gráficos que ilustram, além dos eventos extremos, as tendências e também gera uma linha com a média do comportamento. Entretanto, para conferir maior qualidade à interpretação dos resultados gerados, é fundamental estabelecer também um paralelo com o mapeamento do uso e da ocupação do solo urbano no mesmo recorte temporal, considerando que esta atividade apresenta implicações para a variabilidade climática em nível local, ou mesmo regional, a depender da intensidade dos impactos gerados. Esses impactos podem, em momentos específicos, ser potencializados por fenômenos climáticos de ordem mundial, causando desastres e muitos prejuízos urbanos que juntos põem em risco a qualidade de vida.

3.4 Cenários Climáticos e Planejamento Urbano

Dados relativos a ocorrência de extremos climáticos podem ser analisados com objetivo de garantir uma previsibilidade, com maior assertividade, no acometimento de desastres causados pela intensidade de tais eventos. A estimativa da ocorrência e magnitude de um evento climático pode auxiliar no planejamento de formas de lidar com o acometimento, através de elaboração de planejamento de ações de gestão de risco, medidas preventivas, protetivas e de evacuação. A previsão de uma condição climática deve ser considerada para minimizar problemas que reduzam a qualidade de vida de uma população, que resultem em perdas econômicas ou, ainda, humanas. Além disso, o desenvolvimento econômico de uma região e a qualidade de vida da população relacionam-se diretamente com a habilidade de gerenciar os riscos associados aos eventos climáticos extremos (WCDMP, 2009).

Martins e Ferreira (2011) afirmam que a capacidade de um grupo humano de enfrentar e de se adaptar a novas realidades com objetivo de evitar riscos futuros depende, principalmente, de sua capacidade de organização socioeconômica, cultural e política. Adicionalmente, Apollaro e Alvim (2017) apontam que muitos governos e administrações locais não possuem clareza de seu papel neste contexto ou de que maneira incorporar as questões acerca do clima na agenda política e nas estratégias de desenvolvimento das cidades e que os custos resultantes – sociais, econômicos, humanos e materiais – da ausência de ação são muito altos e, levando em conta o intenso crescimento dos centros urbanos, medidas urgentes serão necessárias para lidar com problemas de diversos aspectos, tais como aqueles relativos à construção, infraestrutura urbana

e densidade. As autoras destacam, ainda que evidencia-se a necessidade de uma interlocução maior entre a sociedade com agentes públicos e privados, além do estabelecimento de acordos internacionais que garantam a implementação de ações locais e globais efetivas em relação à mudança climática.

Ainda no entendimento de Apollaro e Alvim (2017) sobre o que destaca Giddens (2010), a escala local fornece informações essenciais para o enfrentamento de impactos e permite a criação de um ambiente propício para elaboração e implementação das estratégias necessárias, além de promover o envolvimento da população neste processo.

Lemos (2010, p. 121) salienta que a cidade deve “ser adaptada para reduzir a vulnerabilidade às ameaças climáticas existentes e durar como estrutura que mantém a vida em sociedade sem causar danos ao ambiente ou ampliar o processo de aquecimento global” para que possa ter condições efetivas de lidar com os desafios impostos pela mudança do clima.

As autoras Apollaro e Alvim (2017) chamam à atenção o fato de que as previsões futuras feitas por especialistas são muito diversas, que ainda há pouca convergência sobre efeitos subjacentes dos principais impactos da mudança climática e que o próprio contexto do fenômeno (mudanças climáticas) é um exemplo de uma condição de incerteza, mas destacam que a imprecisão científica não deve justificar a ausência de responsabilidade dos atores envolvidos diante das possíveis ameaças de alterações no sistema climático e no meio ambiente.

Diante do atual ritmo de degradação ambiental das cidades e das incertezas dos possíveis efeitos das mudanças climáticas e variabilidades climáticas, a modelagem de sistemas ambientais se apresenta como uma alternativa importante para o planejamento urbano, monitoramento, desenvolvimento de planos de manejo e mitigação dos efeitos das mudanças ambientais globais (CHRISTOFOLETTI, 2004). As técnicas de sensoriamento constituem ferramentas na análise destas e de outras transformações espaciais resultantes de atividades humanas. O menor custo para a produção de imagens, comparando com a fotogrametria aérea, a agilidade, a qualidade cada vez maior de imagens geradas com sensores de alta tecnologia, fazem com que as técnicas de sensoriamento remoto sejam fundamentais para a cartografia, quer na produção e/ou atualização de mapas (ROSA, 2005).

Os cenários climáticos surgem como ferramenta fundamental para a previsibilidade do comportamento dos elementos climáticos no recorte temporal futuro. A modelagem de cenários diferentes, considera dados otimistas e pessimistas fundamentados no volume de emissão de gases do efeito estufa – GEE pelas diversas formas antrópicas de utilizar os recursos naturais

do planeta, pois, as elevações da temperatura global que foram identificadas e que estão ocorrendo são resultantes da elevada concentração de GEE (WCDMP, 2009).

O sexto relatório do Grupo de Trabalho I do IPCC mostra que o mundo provavelmente atingirá ou excederá 1,5 °C de aquecimento nas próximas duas décadas – mais cedo do que em avaliações anteriores. Limitar o aquecimento a este nível e evitar os impactos climáticos mais severos depende de ações nesta década Levin et. al. (2021). De acordo com os autores, somente cortes ambiciosos nas emissões permitirão manter o aumento da temperatura global em 1,5°C, o limite que os cientistas dizem ser necessário para prevenir os piores impactos climáticos. Complementam ainda que, em um cenário de altas emissões, o IPCC constata que o mundo pode aquecer até 5,7°C até 2100 – com resultados catastróficos.

Para Freitas et al. (2021) à medida que o crescimento das cidades tem continuidade, e, agora, com a evidência das mudanças climáticas, que tem na ação antrópica uma de suas principais causas, é de extrema pertinência o planejamento urbano considerar o agravamento dos problemas ambientais, a começar pelo clima. Portanto, os estudos sobre o clima constituem ferramentas imprescindíveis para o planejamento urbano, pois trabalham detalhes da combinação de comportamentos entre elementos e fatores climáticos ao longo do tempo, associados a situações urbanas diversas, para não apenas compreender o que acontece, mas também e, sobretudo, para simular possibilidades de condições futuras que antecipam possibilidades e fundamentam as tomadas de decisão.

3.5 Plano Diretor como definidor da qualidade ambiental

De acordo com Braga e Alves (2020) o crescimento populacional ocorrido nas grandes cidades brasileiras, especialmente a partir de 1960, gerou forte demanda por novos espaços, induzindo o poder público a renovar a legislação urbanística vigente, ultrapassando os padrões técnico-científicos da época. Nos últimos 30 anos, principalmente com a mudança na distribuição de sua população, cada vez mais urbana e menos rural, cresceu a preocupação com a gestão urbana e com políticas públicas voltadas para a gestão urbana. A gestão do ambiente urbano configura-se como grande desafio, cabendo à administração pública propostas de ações efetivas relacionadas ao planejamento municipal (Lopes et al., 2017, p. 147).

Entretanto, planejar o crescimento de uma cidade de maneira ordenada não é tarefa fácil, pois envolve diversas ações e atores diferentes para, em etapas diferentes do processo de planejamento, definir as prioridades de ação que guiarão os rumos do crescimento e do desenvolvimento de um município.

O Estatuto da Cidade, como é conhecida a Lei Federal n. 10.257/2001, aponta a obrigatoriedade do Plano Diretor Participativo – PDP para os municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes, integrantes de regiões metropolitanas, situados em áreas de interesse turístico e localizados em áreas de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental na região ou no país (BRASIL, 2001). O plano diretor, aprovado por lei municipal, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (Estatuto da Cidade, Art. 40) que reúne um conjunto de diretrizes capazes de orientar as linhas de crescimento para um município, visando seu crescimento ordenado. Constitui legislação própria, cuja função é orientar o gestor no cumprimento da função social da propriedade urbana. Bernardy (2013, p.14), destaca o processo de elaboração como fator essencial para a efetividade de um Plano Diretor, pois deve se apoiar nas condições da realidade local, sem transferir modelos padronizados externos, com foco em temáticas voltadas para ações e investimentos que visem à melhoria na qualidade de vida da população, e não que atenda apenas aos interesses de grupos hegemônicos. Contudo, o PDP, apesar de constituir lei municipal que reúne grande quantidade de informações sobre o município e aponta os caminhos a seguir para seu crescimento e desenvolvimento, tem ele mesmo seus limites e possibilidades.

Como limites, o Plano Diretor não confere plano de ação ou conjunto de projetos, mas aponta diretrizes que vão indicar caminhos a seguir, pensados de maneira articulada, criando um passo a passo que dará vez a projetos estruturadores e posturas municipais importantes para garantir o cumprimento dessas diretrizes ao longo do tempo. Ou seja, partindo dessas diretrizes, outras leis devem ser criadas para regulamentar detalhadamente algumas situações e criar condições para que todos os atores envolvidos saibam exatamente o que fazer e o que esperar nessas situações. Um exemplo disso é a criação de leis específicas para regulamentar os instrumentos urbanos do Estatuto da Cidade indicados num PDP. O Plano indica o Instrumento e aponta no zoneamento onde ele será passível de aplicação. Caberá ao município criar lei específica regulamentando as condições de funcionamento desse Instrumento, se há valores de impostos a gerar decorrentes de sua aplicação, em que condições, se há restrições, etc.

Entre as possibilidades estão a definição de princípios norteadores de todo o planejamento adequados às condições locais, de maneira a fortalecer seus potenciais e tornar clara sua ligação com os objetivos e diretrizes decorrentes, além da indicação de outros instrumentos de ordenamento, a criação de conselhos para instrumentalizar a gestão participativa e a possibilidade de agregar o planejamento ambiental, considerando assim o funcionamento do conjunto das estruturas naturais e antrópicas, e não apenas o ambiente construído.

A criação de leis complementares, bem como a criação de estruturas de gestão compartilhada, para se articularem com o PDP e conferem ao gestor condições mais seguras para fundamentar seu planejamento, suas ações, suas permissões, sua fiscalização e seu monitoramento de resultados. Todas essas possibilidades devem convergir para a ideia de prover ao gestor condições legais mínimas para fazer cumprir as diretrizes do PDP e, de maneira mais pontual, o que preconizam as leis complementares que regulamentam os instrumentos do Plano Diretor. Entretanto, Bernardy (2013, p. 12) alerta que o desenvolvimento de um Plano Diretor no município não deve apenas considerar as contemplações legais do Estatuto da Cidade, para os municípios acima de 20 mil habitantes, contudo, deve aportar para a equalização dos investimentos públicos e para a melhoria da qualidade de vida da população. Ou seja, o PDP sozinho não proverá detalhes de regulamentação de cada diretriz apontada, mas estabelecerá prioridades e prazos para que sejam regulamentados e implementados e as leis decorrentes tem papel fundamental para orientar a todos em detalhes quanto ao funcionamento do mecanismo regulamentado e sua implementação, fiscalização e monitoramento poderão conferir melhores resultados com reflexos diretos para a qualidade ambiental do ambiente urbano e, portanto, para a qualidade de vida da população.

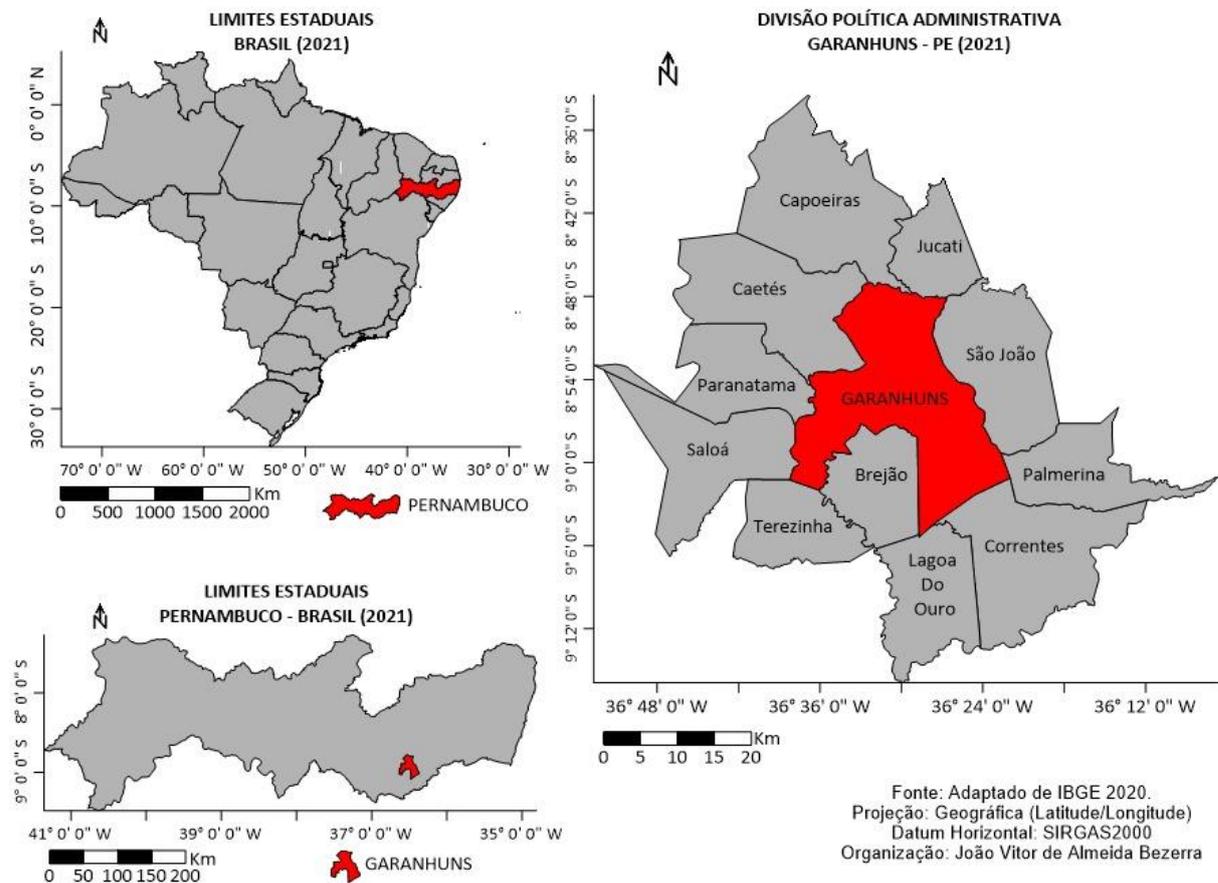
A busca pela formatação de um PDP que vise construir caminhos para uma cidade sustentável passa pela definição de princípios voltados à promoção da qualidade ambiental e, por consequência, a qualidade de vida. Segundo Sperandio et al. (2021), os preceitos da Cidade Saudável podem ser adotados por Planos Diretores independentemente do porte da cidade, uma vez que são considerados universais e de forma geral, podem ser incorporados na forma de princípios e valores. Adicionando a essa compreensão os limites e possibilidades apresentadas anteriormente, compreende-se que o PDP pode configurar um forte definidor de qualidade ambiental no município, desde que ele assuma essa característica entre seus princípios básicos, gerando objetivos e diretrizes que incluam o planejamento ambiental como o todo que é, considerando estruturas naturais e antrópicas, especialmente no que se refere à ampliação do termo “função social” para “função sócio-ambiental”, pois adiciona contribuição ambiental de cada nova propriedade urbana, criando prerrogativa importante para o crescimento ambientalmente equilibrado e elevando os padrões de qualidade ambiental e de vida, além, é claro, da regulamentação de leis específicas para ordenar o crescimento urbano fundamentado na qualidade ambiental como princípio ordenador de sua estrutura,

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O município de Garanhuns, distante 230km da capital Recife, está situado no Agreste Meridional de Pernambuco (Figura 02), mais especificamente no Planalto da Borborema, com Latitude: 8° 53' 27" Sul e Longitude: 36° 29' 48" Oeste (Cidade-Brasil, 2022) com sua malha urbana se desenvolvendo sobre superfície de topografia acidentada.

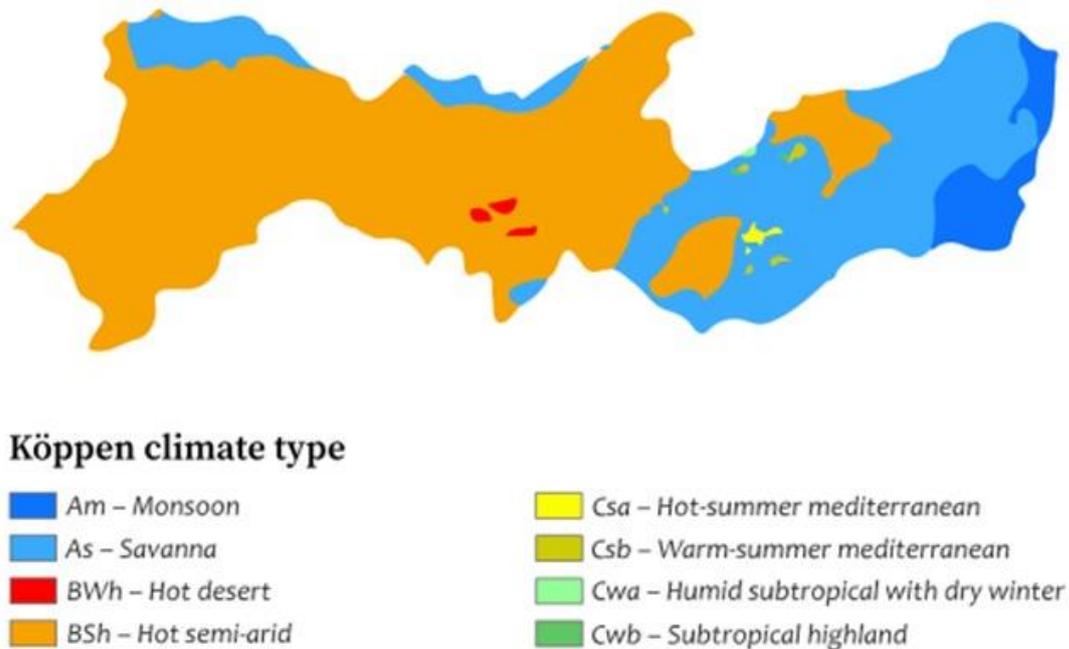
Figura 02: Localização do Município de Garanhuns.



A região possui uma cobertura vegetal de transição, sendo que historicamente, a sua porção barlavento originalmente era recoberta de Mata Atlântica, e a sotavento apresentava predomínio da caatinga arbórea hipoxerófila. Atualmente só existem resquícios dessas coberturas vegetais (MELO; SOUZA, 2015).

O perímetro urbano de Garanhuns, bem como seu entorno, está enquadrado em um clima de características de tropical quente sub-úmido seco, referentes ao As', BShs' e Cs'a, segundo Köppen. Com temperatura média anual entre 20,1 e 22,0 °C, pluviosidade entre 751 – 1000 mm anuais (Barbosa et al., 2016), como pode ser observado na Figura 03.

Figura 03: Mapa da classificação climática para o estado de Pernambuco, na escala de Köppen (1936).



FONTE: Alvares et al., 2014.

A localização geográfica estratégica com clima ameno e abundância de recursos hídricos foi fundamental para o surgimento da ocupação inicial do município de Garanhuns que teve a história de seu crescimento marcado por processos dinamizadores da economia que aceleraram vertiginosamente a expansão urbana. A chegada da linha férrea em 1887 foi um desses processos e desencadeou um vigoroso crescimento urbano fortalecido na década de 1950 pela construção de rodovias que propiciaram a transformação de Garanhuns em polo regional (SOARES; TROLEIS, 2018).

4.2 Procedimentos Metodológicos

4.2.1 Modelado de relevo

Para melhor compreender as condições climáticas às quais está sujeito o Município de Garanhuns é fundamental conhecer seu relevo e como suas características físicas peculiares influenciam o comportamento climático na região em que se insere. Assim foi gerada uma imagem tridimensional do relevo local através de mapeamento do uso e cobertura do solo. Para isto, foram utilizados dados altimétricos do projeto ASTER GDEM v2 da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço - NASA (2011) que possuem resolução de 30 metros, correspondendo ao Modelo Digital de Elevação (MDE); imagens Landsat, obtidas gratuitamente através do site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

correspondentes a três anos distintos: chuvoso, seco e normal, os quais foram selecionados após a análise da série histórica obtida pelo INMET; e o software ArcGis 10.3 sob licença temporária disponibilizada no site da ESRI (Environmental Systems Research Institute).

As imagens Landsat passaram inicialmente por um pré-processamento através do software ArcGis 10.3, compreendendo as seguintes etapas básicas: correção geográfica, registro, recorte da área de interesse, eliminação de nuvens e correção atmosférica. Para o mapeamento das classes de uso e cobertura do solo, foi utilizada a interpretação visual de forma, textura, tonalidade/cor e comportamento espectral das unidades que compõe a paisagem. A classificação da imagem foi feita de forma supervisionada utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança (Maxver) onde foram coletadas amostras de treinamento das classes de uso e cobertura do solo referente à mata nativa, mata secundária (vegetação em estágio inicial e médio de regeneração), campo, lavoura, solo exposto e água. A classe referente à área urbana foi obtida através da digitalização em tela da área compreendida por esta classe.

4.2.2 Mapeamento da evolução de ocupação do solo

Para visualizar o processo evolutivo da expansão urbana no município de Garanhuns/PE, entre os anos de 1960 e 2020, foram utilizadas imagens aéreas com manchas representativas do crescimento urbano, trabalhadas por AZAMBUJA e DE BARROS CORRÊA (2015), e uma imagem de satélite com delineamento manual dos limites da expansão urbana no ano de 2020, trabalhada pela autora, respeitando a mesma legenda das imagens anteriores para dar sequência à visualização do crescimento da mancha urbana nas décadas seguintes. Para a elaboração desta última imagem foi utilizada como base imagem de satélite gratuita registrada no ano de 2020, disponível para acesso universal através do software Google Earth Pro, de distribuição também gratuita.

Visando compreender melhor o processo de adensamento construtivo e crescimento da malha urbana, foi construída uma Linha do Tempo que salienta fatos ocorridos com impacto direto sobre uso e ocupação do solo em Garanhuns, no recorte temporal de 1960 a 2020. Esses fatos foram associados aos anos ou períodos referentes à sua implantação, de acordo com as informações coletadas junto aos órgãos governamentais competentes (Prefeitura Municipal de Garanhuns, da Pernambuco Participações e Investimentos A/A - detentora do passivo da antiga Companhia de Habitação do Estado de Pernambuco - COHAB, incluindo seus arquivos documentais - Caixa Econômica Federal, entre outras) com o objetivo de tornar visível neste

recorte temporal quais os marcos construtivos mais impactantes e os períodos mais representativos da expansão urbana no Município.

A partir das informações na Linha do Tempo, foi possível gerar, ainda, um mapa com legenda própria para identificação dos empreendimentos construtivos mais significativos para o crescimento da mancha urbana de 1960 a 2020, objetivando completar uma base referencial sobre a evolução da expansão urbana para ser confrontada com outros dados coletados para o mesmo período, para identificar impactos do crescimento urbano sobre a superfície do solo e suas consequências para a qualidade ambiental.

4.2.3 NDVI

Para avaliar os impactos do crescimento urbano sobre a vegetação no território municipal, foi calculado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) que constitui um método eficiente de classificação capaz de registrar alterações na vegetação em função do uso e ocupação do solo (ABURAS et al., 2015). A classificação compreende a atribuição de valores que variam de -1 a +1, onde os mais altos valores registrados estão associados às maiores densidades de vegetação (CODERIRO et al., 2017). Esses valores são calculados segundo a equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

Sendo:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada;

ρ_{NIR} = valor da banda espectral do infravermelho próximo;

ρ_{Red} = valor da banda espectral do vermelho.

Importante destacar que as informações da banda espectral do vermelho e infravermelho próximo foram obtidas pelos satélites Landsat 8 e Landsat 5 no portal Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

4.2.4 Legislação urbanística e ambiental

O método utilizado foi a pesquisa bibliográfica que estabeleceu um referencial teórico importante para a compreensão dos problemas e fundamentação da discussão. Para isso, foram utilizados como fonte de pesquisa artigos sobre a temática, publicados em revistas científicas, além de consulta a livros que abordam os conceitos de economia ambiental, cidades sustentáveis, planejamento urbano e leis municipais ligadas ao uso do solo e à proteção

ambiental. Todos esses conteúdos combinados propiciaram uma base teórica atual e diversificada com mais subsídios para suporte à discussão trabalhada.

4.2.5 Índices de Extremos Climáticos

Para calcular as tendências dos índices de extremos climáticos em Garanhuns-PE foi utilizado o software RCLIMDEX (versão 3.2.1.), que é um programa recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) utilizado para o cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas locais. Foi desenvolvido por Byron Gleason, pesquisador do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e tem sido empregado recentemente em workshops e oficinas de índices climáticos da CCI/CLIVAR (*International Research Programme on Climate Variability and Predictability*) desde 2001. Este software é de distribuição gratuita e está disponível no *website* dos índices da ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>).

Através deste software foram processados dados diários de precipitação, temperaturas máximas e mínimas no período de 1 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2019, cedido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir das informações geradas pelo RCLIMDEX, diagnosticou-se índices de extremos climáticos para monitorar e detectar possíveis mudanças climáticas localizadas.

4.2.5.1 Software RCLIMDEX

O RCLIMDEX é um programa usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. O RCLIMDEX foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA, e tem sido usado em oficinas CCI/CLIVAR (*International Research Programme on Climate Variability and Predictability*) sobre índices climáticos desde 2001.

O software foi projetado para proporcionar uma interface amigável para calcular índices de extremos climáticos. Calcula todos os 27 índices básicos recomendados pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Índices” (ETCCDMI), assim como, outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário. Um dos principais objetivos de desenvolver índices de extremos climáticos é usá-los em estudos de monitoramento e detecção de mudanças climáticas. É de distribuição gratuita e está disponível para download no *website* dos índices da ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>).

4.2.5.2 Controle de Qualidade dos Dados

O controle de qualidade dos dados do RCLimindex é um pré-requisito para o cálculo dos índices, baseando-se nos procedimentos a seguir:

- 1) substitui todos os dados faltosos (atualmente codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R;
- 2) substitui todos os valores não aceitáveis por -99.9. Estes valores incluem:
 - a) quantidades de precipitação diárias menores que zero;
 - b) temperatura máxima diária menor que a temperatura mínima diária.

Adicionalmente, o controle de qualidade também identifica valores extremos nas temperaturas diárias máximas e mínimas. Os valores extremos são valores diários que se encontram fora de uma região definida pelo usuário. Atualmente esta região se define como n vezes o desvio padrão do valor do dia, isto é, (média - n *std, média + n *std). Onde std representa o desvio padrão para o dia e n é uma entrada do usuário.

4.2.5.3 Formato de Entrada dos Dados

Todos os arquivos de dados que são lidos e escritos estão em formato de lista. A única exceção é o primeiro arquivo de dados que é processado no passo de Controle de Qualidade. Este arquivo de entrada requer:

1. Arquivo de texto ASCII;
2. Colunas das seguintes seqüências: ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN). (NOTA: unidades de precipitação = milímetros e unidades de temperatura = graus Celsius);
3. O formato descrito acima deve ser delimitado por espaços, em geral, cada elemento separado por um ou mais espaços e;
4. Para os registros dos dados, os dados faltosos devem ser codificados como -99.9 e os registros dos dados devem estar em ordem cronológica (Canadian International Development Agency, 2004).

Quadro 01: Exemplo de arquivo de entrada dos dados:

1950	1	1	9.8	27.3	17.1
1950	1	2	0	27.5	17.8
1950	1	1	-99.9	28.1	16.4

Fonte: elaboração própria da autora, 2022.

Assim, fazendo uma leitura dos dados presentes na 1ª linha, entende-se que no dia 1 de janeiro de 1950 a precipitação foi de 9.8 mm, a temperatura máxima de 27.3°C e a temperatura mínima 17.1°C. Já a leitura da 3ª linha mostra que o dado de precipitação do dia 3 de janeiro é inexistente.

No Quadro 02, estão apresentados os índices climáticos, derivados da precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima recomendados pelo ETCCDMI, gerados pelo software. A saída do RCLindex para todos os índices, fornecem dados estatísticos, tais como: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa; assim como, os gráficos das séries anuais. As possíveis mudanças climáticas estão associadas àquelas em que o índice apresentava tendência linear (positiva ou negativa) superior ao erro padrão de estimativa e estatisticamente significativa (valor de $p < 0.1$).

Quadro 02 – Índices climáticos dependentes da precipitação pluviométrica diária, temperaturas máxima e mínima com suas definições e unidades.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR \geq 1\text{mm}$)	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$	dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1\text{mm}$	dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R10	Precipitação de um dia superior a 10mm	Número de dias no ano com precipitação $\geq 10\text{mm}$	dias
R20	Precipitação de um dia superior a 20mm	Número de dias no ano com precipitação $\geq 20\text{mm}$	dias
Rnn	Número de dias com precipitação acima de nmm, definido pelo usuário	Número de dias em 1 ano em que a precipitação foi $\geq n\text{mm}$, definido pelo usuário	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 95$ percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 99$ percentil	mm

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
TXx	Valor Máximo da temperatura máxima diária	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	°C
TNx	Valor máximo da temperatura mínima diária	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	°C
TXn	Valor mínimo da temperatura máxima diária	Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária	°C
TNn	Valor mínimo da temperatura mínima diária	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	°C
DTR	Amplitude anual média da temperatura diurna	Valor correspondente à diferença entre a temperatura máxima e mínima diária	°C
WSDI	Ondas de calor	Quantidade anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos em que TX > percentil 90	dias
TX90p	Quantidade de dias quentes	Quantidade anual de dias em que TX > percentil 90	dias
TN90p	Quantidade de noites quentes	Quantidade anual de dias em que TN > percentil 90	dias

Fonte: RCLIMDEX 1.0 - Manual Del usuário (2004).

Desta forma, as equações dos índices de detecção de mudanças climáticas utilizados foram as que seguem:

PRCPTOT (Precipitação total anual dos dias úmidos*)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i de um período j . Se I representa o número de dias em j , então:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (1)$$

*Considera-se dias úmidos, os dias com precipitação igual ou acima de 1 mm (RCLIMDEX 1.0 – MANUAL DEL USUARIO, 2004).

SDII (Índice simples de intensidade diária)

Seja RR_w a quantidade diária de precipitação nos dias úmidos, w ($RR \geq 1$ mm) em um período j . Se W representa o número de dias úmidos em j ; então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (2)$$

DCS (Dias consecutivos secos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i de um período j . O índice de extremo climático CDD indica o número máximo de dias consecutivos em que a chuva diária foi menor que 1 mm ($RR_{ij} < 1\text{mm}$) no período j . A unidade do índice CDD é dia. Então:

$$RR_{ij} < 1\text{mm} \quad (3)$$

DCU (Dias consecutivos úmidos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de chuva no dia i e período j . O índice de extremo climático CWD indica o número máximo de dias consecutivos em que a chuva diária foi maior ou igual a 1 mm ($RR_{ij} \geq 1\text{mm}$) no período j . A unidade do índice CWD é dia. No cálculo do índice CWD aplicou-se a mesma metodologia descrita para o índice CDD para os dados faltantes. Então:

$$RR_{ij} \geq 1\text{mm} \quad (4)$$

Rx1day (Quantidade máxima de precipitação em um dia)

Seja RR_{ij} o total diário de precipitação num dia i e num período j ; logo, os valores máximos de 1 dia para o período j são:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (5)$$

Rx5day (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias)

O índice de extremo climático Rx5day representa a chuva máxima registrada em cinco dias consecutivos no período j , então:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (6)$$

Em que: RR_{kj} é a quantidade de chuva para o intervalo de cinco dias terminando em k dentro do período j , sendo j uma estação específica do ano ou o ano como um todo. A unidade do índice Rx5day é mm.

R10 (Número de dias com chuva maior ou igual a 10mm)

Seja RR_{ij} o montante de precipitação diária acumulado em um dia i de um período j ; São contados os dias em que:

$$RR_{ij} \geq 10\text{mm} \quad (7)$$

R20 (Número de dias com chuva maior ou igual a 20 mm)

Seja RR_{ij} o montante de precipitação diária acumulada em um dia i de um período j . São contados os dias em que:

$$RR_{ij} \geq 20mm \quad (8)$$

Rnn (Número de dias acima de nn mm) *

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i de um período j . Se * nn representa qualquer valor razoável de precipitação diária então, soma-se, então, o número de dias em que:

$$RR_{ij} \geq nnmm \quad (9)$$

* Neste estudo se utilizou $nn = 50 mm$, pois com isto se pode observar o comportamento deste índice, de chuva extrema, na região.

R95p (Dias muito úmidos)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação em um dia úmido w ($RR \geq 1.0mm$) em um período j e seja $95 RR_{wn}$ o 95° percentil da precipitação nos dias úmidos no período 1964-2014. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R95 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad (10)$$

R99 p (Dias extremamente úmidos)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação em um dia úmido w ($RR \geq 1.0mm$) em um período j e seja $99 RR_{wn}$ o 99° percentil da precipitação nos dias úmidos no período 1964-2014. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R99 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}99 \quad (11)$$

TXx (Máximo da temperatura máxima diária)

Seja TXx_{ij} o valor máximo da temperatura máxima diária num dia i e num período j ; logo, os valores máximos de 1 dia para o período j são:

$$TXx_{ij} = \max (TXx_{ij}) \quad (12)$$

TNx (Máximo da temperatura mínima diária)

Seja TNx_{ij} o valor máximo da temperatura mínima diária num dia i e num período j ; logo, os valores máximos de 1 dia para o período j são:

$$TNx_j = \max (TNx_{ij}) \quad (13)$$

TXn (Mínimo da temperatura máxima diária)

Seja TXn_{ij} o valor mínimo da temperatura máxima diária num dia i e num período j ; logo, os valores mínimos de 1 dia para o período j são:

$$TXn_j = \min (TXn_{ij}) \quad (14)$$

TNn (Mínimo da temperatura mínima diária)

Seja TNn_{ij} o valor mínimo da temperatura mínima diária num dia i e num período j ; logo, os valores mínimos de 1 dia para o período j são:

$$TNn_j = \min (TNn_{ij}) \quad (15)$$

DTR - Amplitude anual média da temperatura diurna

Sejam Tx_{ij} e Tn_{ij} as temperaturas máxima e mínima diárias respectivamente no dia i no período j . Se i representa o número de dias em j , então:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I} \quad (16)$$

WSDI - Número máximo de dias consecutivos no ano com TX > percentil 90

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j e seja Tx_{in90} o percentil 90 do dia do calendário centrado em uma janela de 5 dias (calculada usando o método do Apêndice D). Em seguida, soma-se o número de dias por período onde, em intervalos de pelo menos 6 dias consecutivos:

$$Tx_{ij} > Tx_{in90} \quad (17)$$

TX90p - Quantidade de dias quentes

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j e seja Tx_{in90} o percentil 90 do dia do calendário centrado em uma janela de 5 dias (calculada usando o método do Apêndice D).

A porcentagem de tempo é determinada onde:

$$Tx_{ij} > Tx_{in90} \quad (18)$$

TN90p - Quantidade de noites quentes

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i no período j e seja Tn_{in90} o percentil 90 do dia do calendário centrado em uma janela de 5 dias (calculado usando o método do Apêndice D).

O percentual do tempo é determinado com:

$$Tn_{ij} > Tn_{in90} \quad (19)$$

Foi utilizado o teste estatístico paramétrico t-student, tendo em vista que o software RClimdex gera em seu pacote operacional. Neste trabalho o teste deverá considerar tendências significativas ou não. Ressalta-se que o t-student é bastante utilizado nos estudos de meteorologia (KOUSKY e KAYANO, 1994; KAYANO e KOUSKY, 1996; CASTRO, 2002; SILVA e SOUZA, 2013), e pode ser calculado da seguinte forma:

$$tc = \frac{t}{\sqrt{(n-2) + t^2}} \quad (20)$$

Em que:

tc = valor do percentil;

c = grau de liberdade;

t = valor do percentil .

O valor p calculado pelo teste de t-student representa o nível de significância estatística, caso o valor de p de um índice qualquer seja igual ou inferior a 0,1 a tendência do índice é estatisticamente significativa em 90%, se for igual ou inferior a 0,05 em 95% e para p menor que 0,01 tem-se uma tendência com significância estatística de 99%.

4.2.6 Cenários de Mudanças Climáticas

Foram adquiridos dados modelados das variáveis precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, temperaturas máximas e mínimas por meio do PROJETA (Projeções de mudança

do clima para a América do Sul regionalizadas pelo Modelo Eta) para o período de 2022 a 2099 para os cenários pessimista e otimista, cuja a automatização do processo de extração e disponibilização dos dados das projeções climáticas regionalizadas para Brasil foram geradas pelo Centro de Previsão de Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

O PROJETA permite o acesso amplo e irrestrito a diversos parâmetros climáticos disponíveis, e visa atender as demandas dos usuários por acesso aos dados das projeções climáticas, tratados e compatíveis com programas e plataformas de análises setoriais.

Os cenários climáticos foram gerados a partir do **modelo climático regional Eta** configurado na resolução de 20km, na área que cobre a América do Sul, a América Central e o Caribe, cuja área coberta pelo modelo na resolução de 5km é reduzida, devido à maior demanda computacional nessa resolução. Os modelos **climáticos globais disponíveis são: HadGEM2-ES (Collins et al. 2011); MIROC5 (Watanabe et al., 2010) e CanESM2 (Arora et al., 2011).** **As simulações com o modelo Eta, disponibilizadas via PROJETA, utilizam os RCP4.5 e RCP8.5, o primeiro cenário é relativamente otimista enquanto o segundo é o mais pessimista.** Em relação a concentração dos gases, o cenário RCP4.5 atinge cerca de 650ppm de CO₂ equivalente no final do século, enquanto que no cenário RCP8.5 o CO₂ equivalente excede 1000ppm.

Cabe ressaltar que a geração dos cenários os dados de entrada se referem ao período histórico de 1961 a 2019, chamado de *baseline* de referência, que correspondem ao período em que se utiliza concentrações de gases do efeito estufa em concentrações atuais. As projeções de mudanças do clima atual utilizaram os cenários RCP4.5 e RCP8.5, para o período de 2022 até 2099. **Portanto, os cenários climáticos na resolução de 20km são compostos por 4 simulações do clima de referência (histórico) ou *baseline* com 4 projeções de mudança do clima (regionalização de 2 modelos globais em 2 níveis de emissão cada).** Recomenda-se utilizar o maior conjunto possível de dados para melhor refletir as incertezas associadas à modelagem numérica.

Desta forma, para extrair os dados de Garanhuns foi utilizada a localização da estação meteorológica do INMET, coordenadas (latitude e longitude) por meio da plataforma PROJETA, referente aos cenários climáticos regionalizados pelo modelo Eta, alinhado com os modelos globais MIROC5 e HADGEM2-ES, pelo período de referência (histórico) e os cenários de emissão de gases de efeito estufa RCP4.5, RCP8.5 para o período de projeção considerado (2022 a 2099). A escolha dos modelos foi feita de modo a adotar um padrão de

referência com aspectos globais (HADGEM2-ES) e outro cuja referência considera dados mais próximos da região objeto de estudo (MIROC5), ou seja, **os cenários projetados para este último modelo devem apresentar resultados mais confiáveis e, portanto, devem ser considerados prioritariamente.**

4.2.7 Proposição de diretrizes para o planejamento urbano municipal

Por fim, considerando todos os resultados encontrados para a evolução da expansão urbana, confrontando-os com os resultados dos cenários de mudanças climáticas gerados, bem como com a base conceitual construída e, considerando o formato da legislação urbana e ambiental em vigor no município, foi possível propor diretrizes para o planejamento urbano municipal com o objetivo de orientar o crescimento urbano com a valorização da qualidade ambiental como diferencial a ser explorado pelo mercado imobiliário e com reflexos diretos para combater os impactos previstos para a climatologia em Garanhuns/PE.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas pesquisas e coleta de dados que propiciaram a geração de imagens e gráficos que possibilitaram iniciar discussões.

Cabe dizer que as figuras com gráficos dos índices de extremos climáticos e com os cenários climáticos foram geradas para livre interpretação assim como para sua confrontação com outros dados desenvolvidos ao longo de todo o processo de construção da dissertação, como as informações geradas pelas pesquisas de estudo sobre a evolução da expansão urbana no município.

5.1 Condições naturais para ocupação urbana em Garanhuns/PE

Inicialmente observa-se a importância do relevo que, associado à localização no planeta, promove condições específicas para a definição do clima na região.

Localizado no nordeste brasileiro, com latitude $8^{\circ} 53' 27''$ Sul e longitude $36^{\circ} 29' 48''$ Oeste, o Município de Garanhuns ocupa uma área de $458,552\text{km}^2$ no Agreste Meridional de Pernambuco, na região de planalto conhecida como Borborema (Figura 04).

Figura 04: Modelado do relevo de Garanhuns.

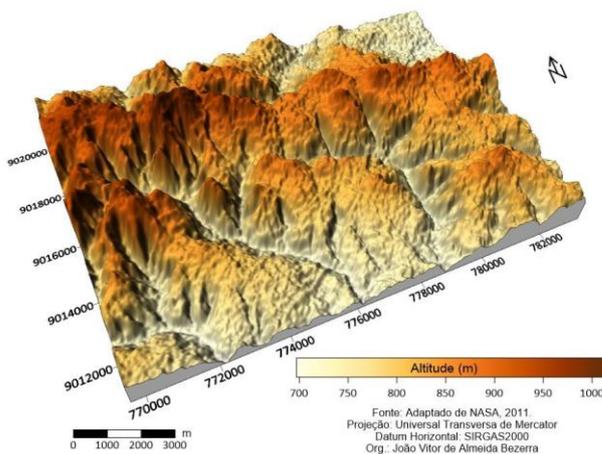
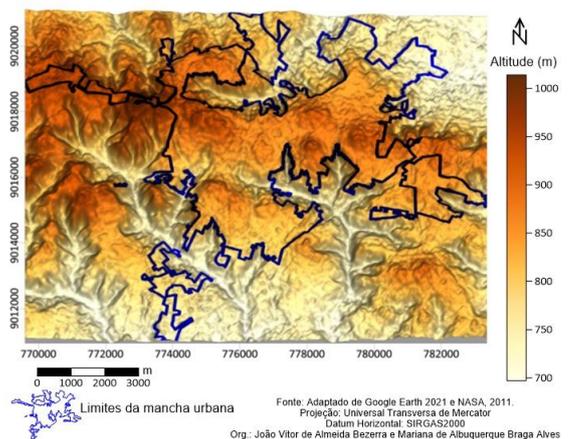


Figura 05: Relevo e limites da mancha urbana de Garanhuns (2020).



A malha urbana se desenvolve sobre uma superfície acidentada, apresentando altitudes variadas (Figura 05), sendo registrada a altitude de 841m no marco zero do município e a altitude máxima de 1.030m (PREFEITURA DE GARANHUNS, 2019), na localidade conhecida como Monte Magano.

Figura 06: Curvas de nível e limites da mancha urbana de Garanhuns (2020).

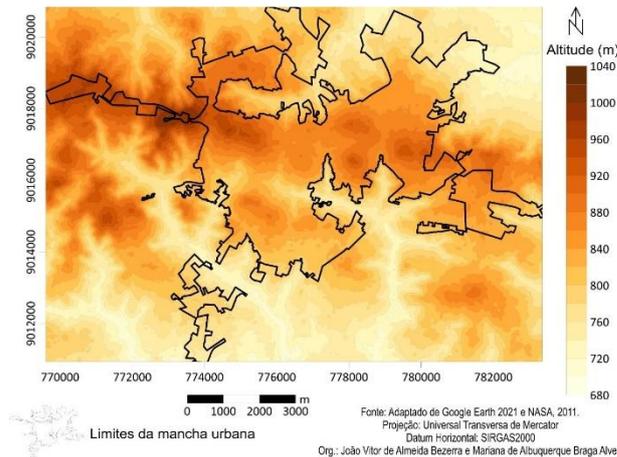
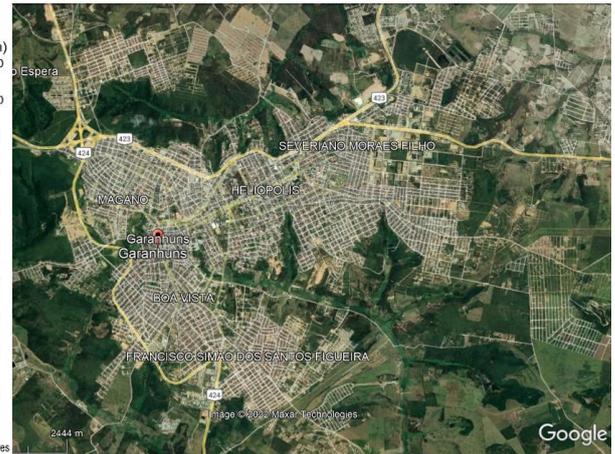


Figura 07: Ocupação urbana e os limites causados pela topografia em Garanhuns/PE.



Fonte: Google Earth Pro, 2022.

A expansão urbana do distrito sede (Garanhuns) ocorreu ao longo dos anos nas áreas mais altas e nas áreas mais planas, encontrando limites para o crescimento nas grandes variações de relevo, notadamente nas formações erosivas conhecidas como voçorocas, causando recortes bruscos no desenho da mancha urbana, como pode ser visto nas Figuras 06 e 07.

Figura 08: Vista aérea da periferia oeste do Município de Garanhuns/PE, com áreas de reservação hídrica para abastecimento.



Fonte: Heitor Martins, Major QOC/BM – Grupamento Tático Aéreo, Secretaria de Defesa Social de Pernambuco – SDS/PE, 2022.

A Figura 08 ilustra os limites da ocupação urbana, contrastando com a topografia acidentada do relevo de planalto. Na parte superior da imagem, pode-se verificar o reservatório Mundaú, parte do sistema de reservação hídrica municipal, responsável por cerca de 15% do abastecimento da rede integrada regional, segundo informações da Companhia Pernambucana

de Saneamento - COMPESA (2022). Já A Figura 09 mostra uma voçoroca em estado natural de vegetação, em local onde a ocupação urbana ainda não chegou. Ao centro é possível observar a BR – 423, com as instalações industriais da Unilever no Município.

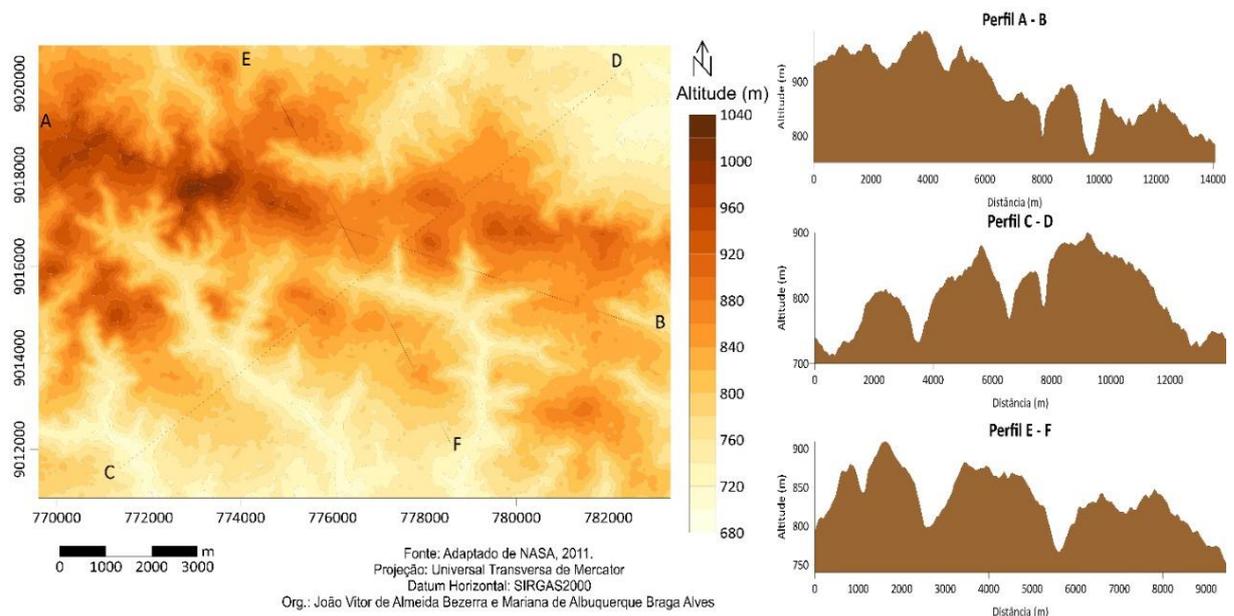
Figura 09: Vista aérea de voçoroca vegetada no Município de Garanhuns/PE.



Fonte: Heitor Martins, Major QOC/BM – Grupamento Tático Aéreo, Secretaria de Defesa Social de Pernambuco – SDS/PE, 2022.

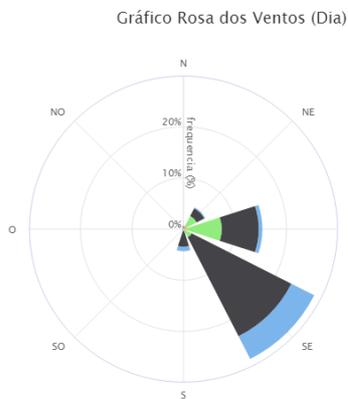
Observando os perfis do relevo representados na Figura 10, é possível perceber que existem variações de altitude bastante significativas no tocante à viabilidade de ocupação do solo, refletindo nas condições do crescimento urbano. Como resultado, é possível observar áreas de paisagem natural bastante modificadas, com o mínimo de vegetação e muitas superfícies impermeabilizadas, características físicas bastante ligadas à elevação de temperaturas.

Figura 10: Perfis do relevo de Garanhuns (2020).



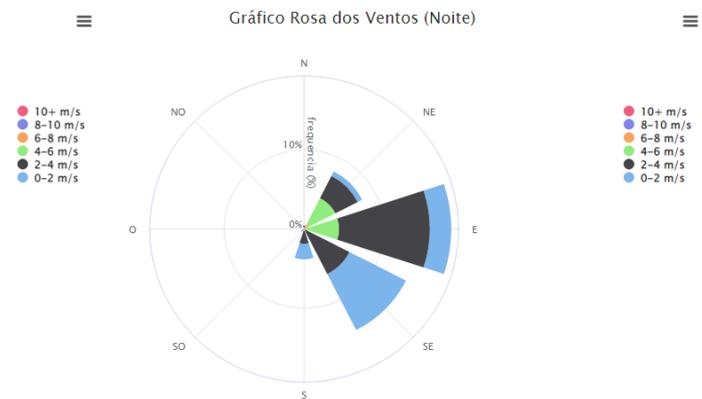
Outro aspecto importante a ressaltar é o fato de o relevo acidentado influenciar na forma com que os ventos se comportam, constituindo barreiras à ventilação ou corredores que potencializam a força dos ventos incidentes. Todas essas influências impactam sobre as temperaturas e se caracterizam como sendo fundamentais para compreender as condições climáticas e microclimáticas às quais a região está sujeita.

Figura 11: Rosa dos ventos - Garanhuns/PE (dia).



Fonte: dados INMET (2016) trabalhados por Labeee/UFSC.

Figura 12: Rosa dos ventos - Garanhuns/PE (noite).



Fonte: dados INMET (2016) trabalhados por Labeee/UFSC.

Considerando que os ventos na região chegam ao Município predominantemente vindos do Sudeste durante o dia (Figura 11) e do Leste à noite (Figura 12). Associando a essas informações aquelas sobre altimetria apontadas nas Figuras 05 e 06, observou-se que as altitudes a sudeste e a leste da zona urbana são mais baixas e, portanto, não conferem barreiras aos ventos que circulam sobre a maior parte da malha urbana. Os recortes de ocupação causados pelos limites com as erosões (Figuras 07) conhecidas como voçorocas conferem boas condições para que os ventos vindos do sudeste possam permear a cidade, até mesmo com mais força, causado pelo efeito corredor em alguns casos. Por causa disso, as áreas que recebem esses ventos mais fortes têm reflexos para suas temperaturas que são normalmente mais baixas e umidade que são normalmente mais altas, pois os ventos trazem a umidade natural dos vales verdes e úmidos formados nas zonas mais baixas.

5.2 Oportunidades econômicas da expansão urbana e suas consequências ambientais

Programas governamentais para incentivo à minimização do déficit habitacional frequentemente criam boas oportunidades para o setor da construção civil em todo o país, promovendo a expansão urbana. Um exemplo disso é o Programa Minha Casa Minha Vida - MCMV, lançado através da Caixa Econômica Federal em 2009.

O Programa foi criado com o principal objetivo de reduzir o déficit habitacional do país, que em 2009 chegava a 5,89 milhões de moradias (BRASIL, 2019). Frutos desse cenário de oportunidades criadas, surgiram diversos conjuntos habitacionais em todo o país. Muitas empresas se especializaram nesse ramo e vêm construindo suas experiências com participação ativa no âmbito da produção e do desenvolvimento econômico dos municípios. Os subsídios ao MCMV foram da ordem de R\$ 113 bilhões, viabilizando a entrega de 4,1 milhões de unidades habitacionais de um total de 5,5 milhões de unidades contratadas. Sobre os impactos do Programa no setor econômico ligado à construção civil, foi estimado o efeito dos investimentos do MCMV, considerando uma média de R\$ 52 bilhões anuais entre os anos de 2009 e 2016, e os resultados encontrados indicam que houve, em termos globais, a criação de cerca de 89 a 182 mil empregos formais (BRASIL, 2019).

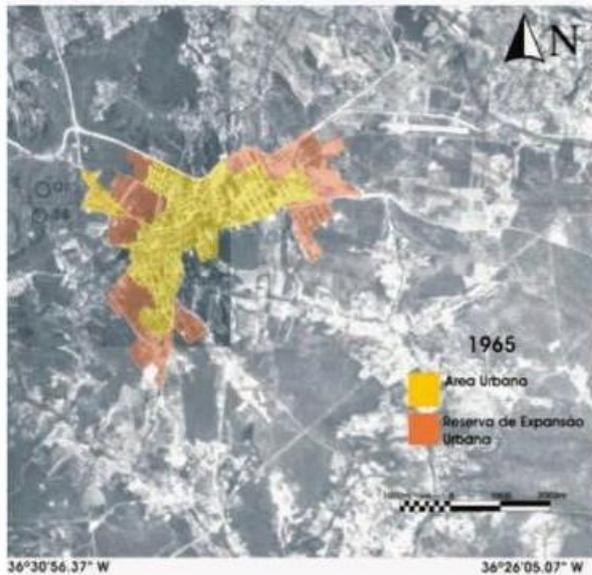
Esses dados referem-se apenas aos impactos do Programa MCMV, sem contar com outros empreendimentos realizados com recursos de outras naturezas. Muitas empresas vêm gerando empregos diretos o que, por consequência, oferecem poder de compra a muitas famílias e, consequentemente, melhores condições de vida para todas elas. O comércio e o serviço se tornam mais movimentados e os municípios também arrecadam mais impostos com o processo de aprovação de projetos, os alvarás de construção emitidos e taxas para fiscalização, seguidas do Imposto Predial Territorial Urbano – IPTU, o que é uma rede de relações absolutamente necessária para o desenvolvimento das cidades.

A meta abrangente de desenvolvimento sustentável exige mudanças fundamentais em como a sociedade toma decisões de mercado. O desafio é alcançar prosperidade econômica alterando a atividade do mercado para que os recursos naturais e o meio ambiente sejam protegidos (THOMAS; CALLAN, 2010). Entretanto, problemas ambientais decorrentes desse crescimento se tornaram objeto de estudo e debates frequentes entre ambientalistas, estudiosos e gestores públicos nesse período, fazendo com que as ideias convergissem para discutir soluções viáveis, pois o aumento significativo da densidade construtiva, juntamente com a redução dramática das coberturas vegetais e da impermeabilização de superfícies, apontavam reflexos negativos consideráveis para a qualidade ambiental, ameaçando causar danos tão prejudiciais capazes de modificar condições microclimáticas a princípio e de escassez de recursos naturais em uma perspectiva não tão distante.

Com população de 139.788 pessoas apontada pelo último censo (IBGE, 2010), das quais 115.356 são residentes urbanos (GOVERNO DO ESTADO DE PRNAMBUCO, 2019), ou seja, aproximadamente 89% do total de habitantes, o município foi criado em 10 de março de 1811

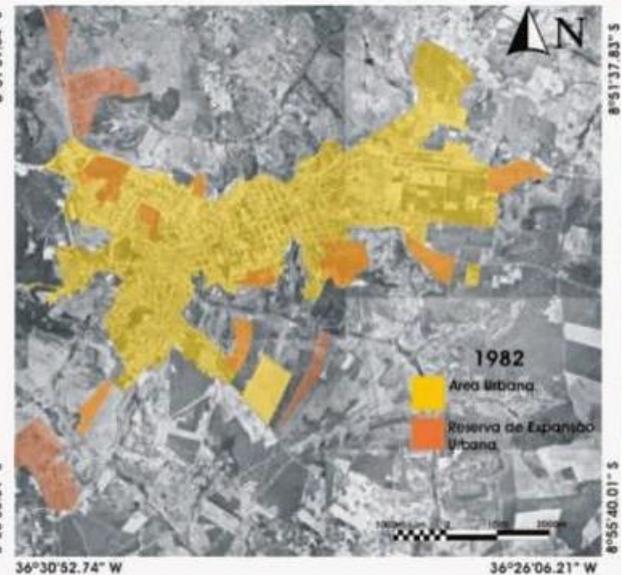
e teve sua emancipação decretada em 4 de fevereiro de 1879 (PREFEITURA DE GARANHUNS, 2019), portanto constitui um município ainda jovem, com apenas 140 anos de autonomia política.

Figura 13: Expansão urbana em Garanhuns-PE (1965).



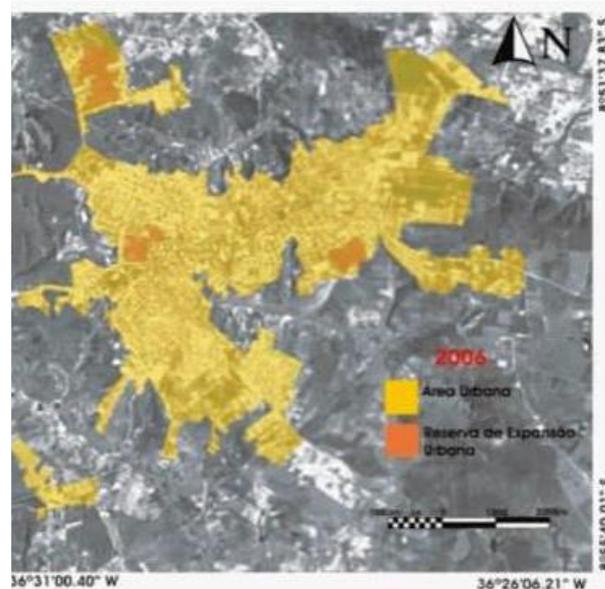
Fonte: AZAMBUJA e DE BARROS CORRÊA, 2015.

Figura 14: Expansão urbana em Garanhuns-PE (1983).



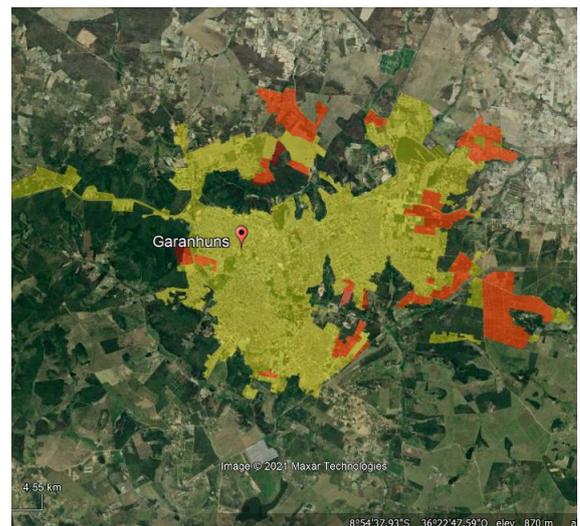
Fonte: AZAMBUJA e DE BARROS CORRÊA, 2015.

Figura 15: Expansão urbana em Garanhuns-PE (2006).



Fonte: AZAMBUJA e DE BARROS CORRÊA, 2015.

Figura 16: Expansão urbana em Garanhuns-PE (2020).



LEGENDA: ÁREA URBANA
 RESERVA DE EXPANSÃO URBANA

Fonte: Base Google Earth Pro (2020), produção da autora (2021).

Mais especificamente a partir da década de 1960, quando os principais eixos de crescimento já estavam implantados - a exemplo das Avenidas Rui Barbosa, Duque de Caxias e Deolinda da

Mota Valença, entre outros – foi possível perceber um grande crescimento da mancha urbana de Garanhuns. As Figuras 13, 14 e 15 retratam a expansão urbana em 3 décadas diferentes: 1965, 1983 e 2008, respectivamente. A mancha amarela indica a área urbana consolidada e a mancha vermelha os setores em expansão.

A Figura 13 aponta uma mancha urbana bastante compacta em relação às condições atuais. Foi possível perceber que a zona urbana consolidada se desenvolvia ao longo dos eixos principais de formação e indicava tendência de expansão nas 3 extremidades. A relação entre zona de expansão e zona consolidada se apresentava, aproximadamente, numa proporção de equidade, em que cada uma das categorias se desenvolve em aproximadamente 50% da área total de ocupação.

A Figura 14 apresenta uma mancha urbana consolidada bem maior, indicando que houve desenvolvimento, valorização e crescimento de uso e ocupação do solo, principalmente no eixo leste-oeste. A relação entre zonas de expansão e áreas consolidadas muda nessa fase de maneira que as áreas consolidadas superam as áreas de expansão, indicando uma proporção de cerca de 80% do total de ocupação.

Já a Figura 15 mostra uma zona urbana consolidada muito mais desenvolvida não apenas no eixo leste-oeste, mas também no eixo norte-sul. Entretanto, seu formato aparenta bem mais recortados nas bordas, indicando que a ocupação encontrou os limites geográficos impostos pela topografia acidentada (Figura 06), cujas diferenças de nível inviabilizam a ocupação urbana e os fluxos de circulação, conforme indicado nos perfis topográficos na Figura 10. Observou-se ainda que a relação entre as zonas de expansão e a zona urbana consolidada se tornou muito mais discrepante, com a zona consolidada ocupando aproximadamente 95% do total da ocupação.

Para dimensionar a evolução da expansão urbana ocorrida de 2006 a 2020, foi criada uma imagem (Figura 16) a partir de um delineamento manual feito sobre a imagem de satélite disponível no programa gratuito Google Earth Pro (2020), obedecendo a mesma legenda utilizada nas Figuras 13, 14 e 15, cujo resultado permitiu realizar a leitura da evolução da mancha urbana nesse último período. Foi possível observar que a mancha urbana consolidada cresceu ainda mais e que há novas expansões. As tendências de crescimento dessas expansões se concentram agora nas áreas com topografia menos acidentada, ao norte, a nordeste, a leste e a sudeste do centro, predominantemente, cuja mancha representativa apresenta uma relação de cerca de 20% da área total de ocupação, o que indica que o município está vivendo outra fase

de crescimento, se comparada com a fase ilustrada na Figura 15, ou seja, esse crescimento de áreas de expansão indica que há novas oportunidades de mercado.

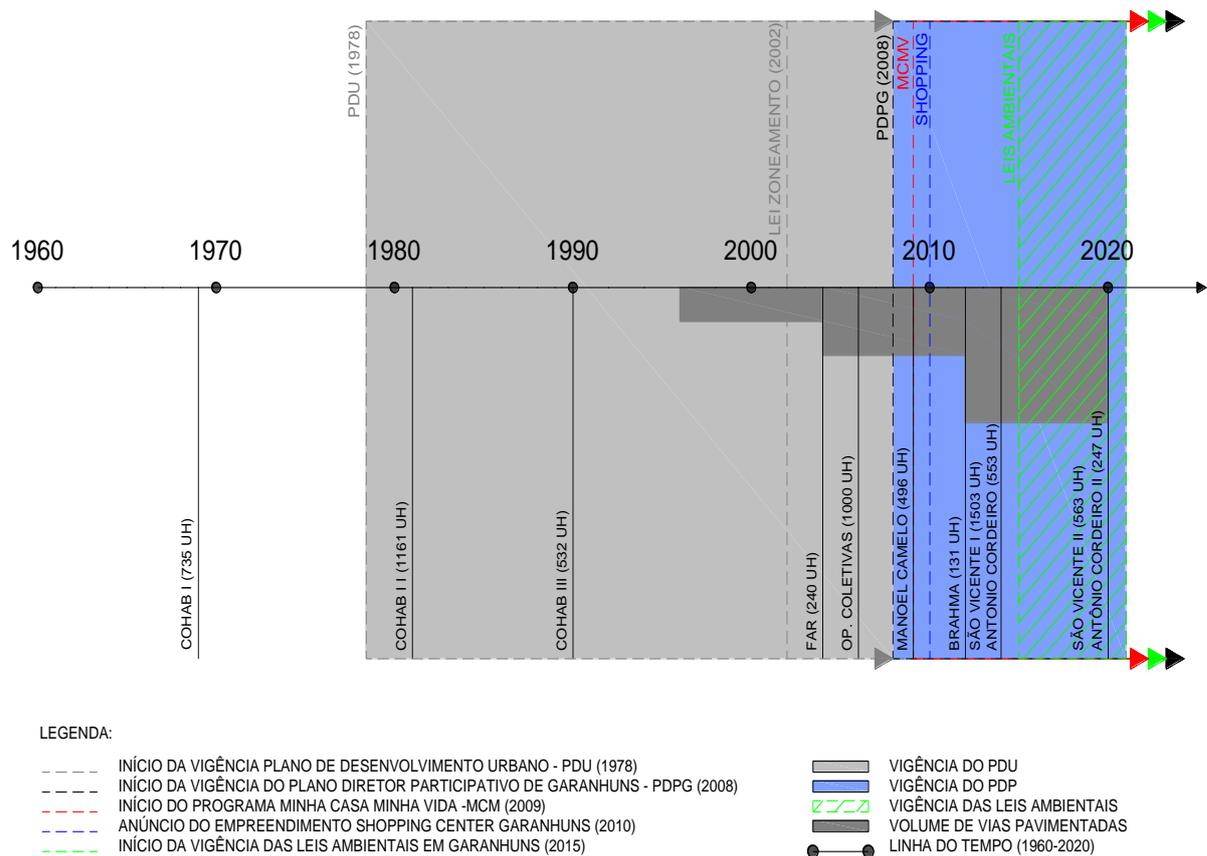
Para melhor compreender a expansão urbana ocorrida no município no período de 1960 a 2020, fez-se necessário estudar a relação entre a ocorrência de eventos construtivos marcantes devido às oportunidades geradas pelo mercado e a evolução da legislação municipal com reflexos para o uso e a ocupação do solo.

Dessa forma, alguns marcos construtivos foram destacados a exemplo da instituição de Plano de Desenvolvimento Urbano - PDU (1978), Lei de Zoneamento (2000), Plano Diretor Participativo - PDP (2008), adesão municipal ao Programa Minha Casa Minha Vida – MCMV, e a instituição de políticas ambientais com legislação específica para esta finalidade. Já o início dos debates sobre a duplicação da BR-423 e o anúncio do empreendimento shopping center figuram como eventos motivadores de novas construções no município sobretudo ao longo da última década.

Sabendo que diversos empreendimentos construtivos acontecem diariamente e que cada um impacta de maneira diferente na transformação da paisagem e, conseqüentemente, no comportamento de elementos climáticos em nível local, optou-se por levantar e mapear apenas os empreendimentos relativos à construção de conjuntos habitacionais, visto que, em pouco tempo (se comparado ao loteamento comum) é possível perceber os impactos ambientais causados pelo conjunto da supressão de cobertura vegetal da área, do volume construído gerado e pela quantidade de superfícies impermeabilizadas.

Assim, a partir dos dados levantados sobre os marcos construtivos e sobre os empreendimentos para construção de conjuntos habitacionais no município, foi construída uma linha do tempo dos principais marcos e eventos do crescimento urbano em Garanhuns/PE (Figura 17). A Linha do Tempo teve como principal objetivo organizar as informações coletadas e também identificar os períodos em que as atividades construtivas ocorreram com maior intensidade. É importante destacar que, na vigência de cada marco apontado, empreendimentos foram identificados como eventos construtivos, a exemplo dos 03 conjuntos habitacionais oriundos da antiga Companhia de Habitação de Pernambuco – COHAB, Conjunto Habitacional Floriano Madeiros, financiado com recursos do Fundo de Arrendamento Residencial – FAR, e Conjunto Habitacional Luís Inácio Lula da Silva, financiado com recursos do Programa Federal Operações Coletivas, empreendimentos executados com recursos do Programa MCMV e diversos novos loteamentos.

Figura 17: Linha do Tempo dos principais marcos e eventos da expansão urbana em Garanhuns/PE (1960 – 2020).



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Percebeu-se que, por volta da virada do milênio, investimentos em infraestrutura (pavimentação de vias) passaram a ser mais frequentes e crescentes em volume e importância para o crescimento e desenvolvimento do município. Em paralelo, alguns programas governamentais, a exemplo do FAR e das Operações Coletivas, ambos através da Caixa Econômica Federal, apontaram boas oportunidades de investimento para minimizar o déficit habitacional nos municípios. Em Garanhuns, na 1ª década do milênio, isso representou 1.240 novas unidades habitacionais. No final da mesma década, mais precisamente em dezembro de 2008, foi sancionado o Plano Direto Participativo de Garanhuns, ferramenta fundamental para seu crescimento e desenvolvimento urbano.

Em 2009, o lançamento de um novo programa federal criou uma oportunidade de mercado que aqueceu o ramo da construção civil nos anos seguintes em todo o país: o Minha Casa Minha Vida (MCMV). Em Garanhuns, a assinatura de contratos, a busca por terrenos e os cadastros das famílias interessadas iniciou imediatamente. Desde então, quase 3.500 novas unidades

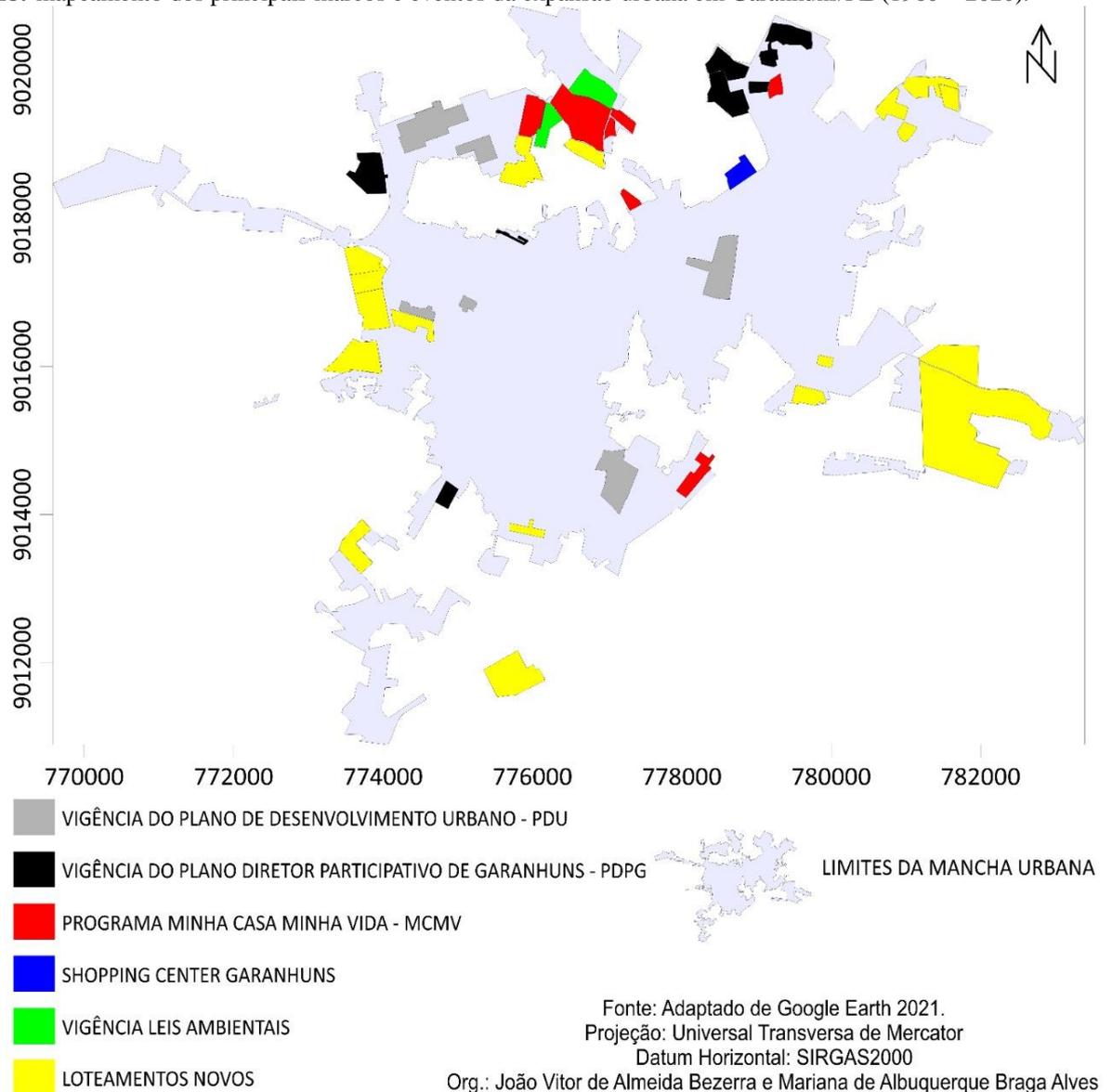
foram construídas em Garanhuns e outras tantas estão em fase de construção ou elaboração de projeto.

A crescente melhora da infraestrutura urbana na cidade contribuiu com a valorização dos imóveis diretamente beneficiados e, conseqüentemente, com o aumento das oportunidades no mercado imobiliário. Nesse panorama, surgiram condomínios fechados na entrada principal da cidade, com uma proposta de moradia diferenciada, principalmente pela segurança e pela melhor qualidade de vida.

Em 2010, com o anúncio da implantação de um grande empreendimento comercial (shopping center) no entorno dos condomínios, a busca por terrenos naquele setor cresceu, bem como surgiram novos loteamentos e conjuntos habitacionais em localidades próximas. A preocupação com o crescimento acelerado dessas áreas e os impactos dessa transformação de paisagem levaram o município a discutir a importância de acelerar também os meios para garantir políticas ambientais que pudessem proporcionar um mínimo de garantia de qualidade ambiental. A partir de 2015, entraram em vigor algumas leis ambientais e todos os empreendimentos construtivos desde então devem obedecer o que determinam essas leis, juntamente com o Plano Diretor Participativo.

A seguir, a Figura 18 apresenta o mapeamento dos principais marcos e eventos construtivos em Garanhuns entre os anos de 1960 e 2020, já apontados anteriormente na Linha do tempo (Figura 17). Buscou-se utilizar as mesmas informações e as mesmas cores de legenda nas duas figuras para facilitar a leitura e a compreensão.

Figura 18: mapeamento dos principais marcos e eventos da expansão urbana em Garanhuns/PE (1960 – 2020).



Observando a Figura 18 foi possível compreender que os eventos construtivos mais recentes têm ocorrido predominantemente na periferia, sobretudo nas porções norte e sudeste devido à melhor condição topográfica (Figura 06) e à maior oferta de áreas para integrar empreendimentos de médio e grande porte. Os novos loteamentos, surgidos na última década do período em questão, constituem a maior parte de áreas impactadas pela transformação da paisagem, inicialmente com a supressão de vegetação existente e com a movimentação de terras para planejar o solo e torná-lo viável às construções e, posteriormente, com as construções propriamente ditas e a impermeabilização do solo. Uma curiosidade, entretanto, é que apenas 02 empreendimentos de todos que foram construídos até 2020 foram realizados sob a vigência

das leis ambientais, ou seja, apenas esses 02 deverão apresentar resultados de menor impacto ambiental em decorrência do atendimento ao que determinam essas leis ambientais. Contudo, ainda é muito cedo para constatar a diferença, pois serão necessários alguns anos até que as árvores plantadas atinjam porte capaz de produzir os resultados estimados.

O mapeamento do uso e ocupação do solo compõe ferramenta fundamental para compreender de que maneira essas atividades impactam nas condições naturais na área em questão, pois, a depender de como sejam realizados, causam impactos mais extensos, mais superficiais ou mais profundos, com consequências mais duradouras para qualidade ambiental, como desmatamentos, poluição do solo e a dificuldade de renovação dos lençóis freáticos. Sobre este último tópico, Assis et al. (2014) afirma que os estudos de mapeamento do uso e ocupação do solo exercem também influência bastante marcante sobre os recursos hídricos, uma vez que, dentre outros problemas, apontam o aporte de sedimentos no leito dos mananciais, o que altera a qualidade e sobretudo a disponibilidade da água no solo. Esse é um importante alerta para monitoramento, pois Garanhuns se apresenta no contexto regional como instância de águas minerais capaz de prover o abastecimento de água de maneira regional e os impactos do uso e ocupação desordenados implicam em mexer com essa capacidade de abastecimento, portanto limitando suas possibilidades de crescimento e desenvolvimento, com consequências regionais.

5.2.1 Impactos ambientais da expansão urbana municipal

Com o intuito de ilustrar os impactos ambientais gerados pela substituição da paisagem natural pela construída, foram calculados Índices de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, que podem indicar a presença de vegetação seguindo uma escala numérica representada na imagem através de cores.

A escolha dos anos de referência para a geração das imagens se deu durante as pesquisas com a constatação de Pereira et al. (2017), quando destacou que a partir da década de 1990 identificou-se diminuição da frequência dos anos Muito Úmidos, e aumento dos anos Muito Secos em relação aos anos chuvosos, apresentando uma modificação no padrão da precipitação, ou seja, os anos secos passaram a predominar na região, em referência à variabilidade climática no Agreste pernambucano. Diante desse alerta foram geradas as imagens NDVI a seguir, com dados dos anos de 1990, 2000, 2008 e 2019.

Figura 19: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (1990).

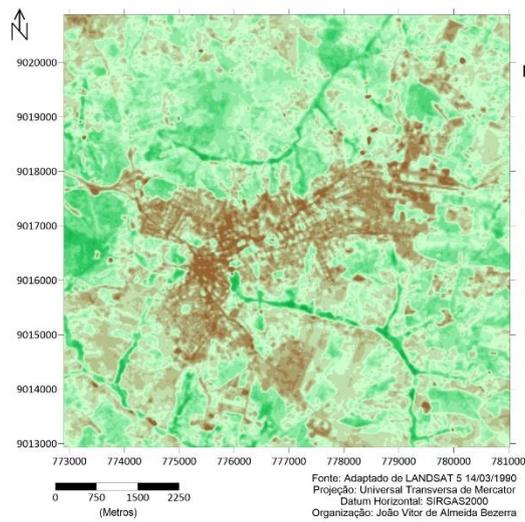


Figura 20: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (2000).

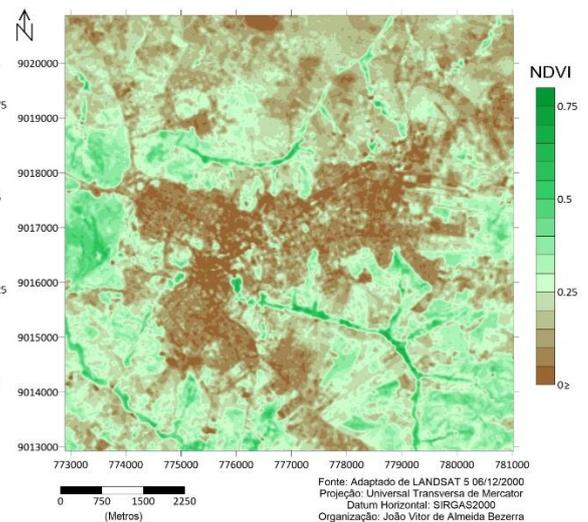


Figura 21: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (2008).

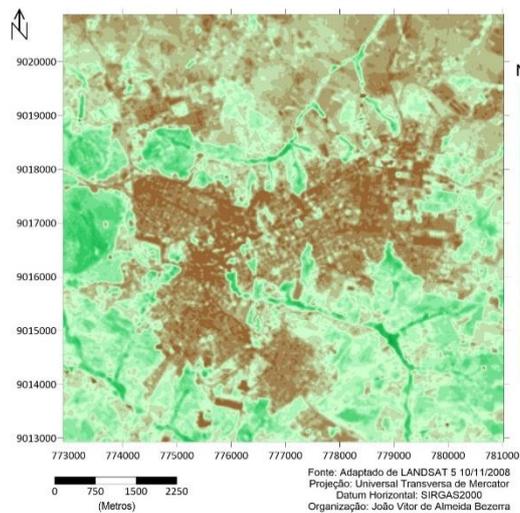
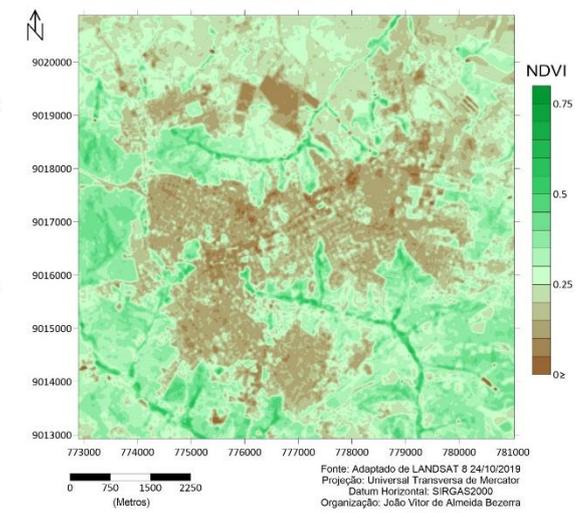


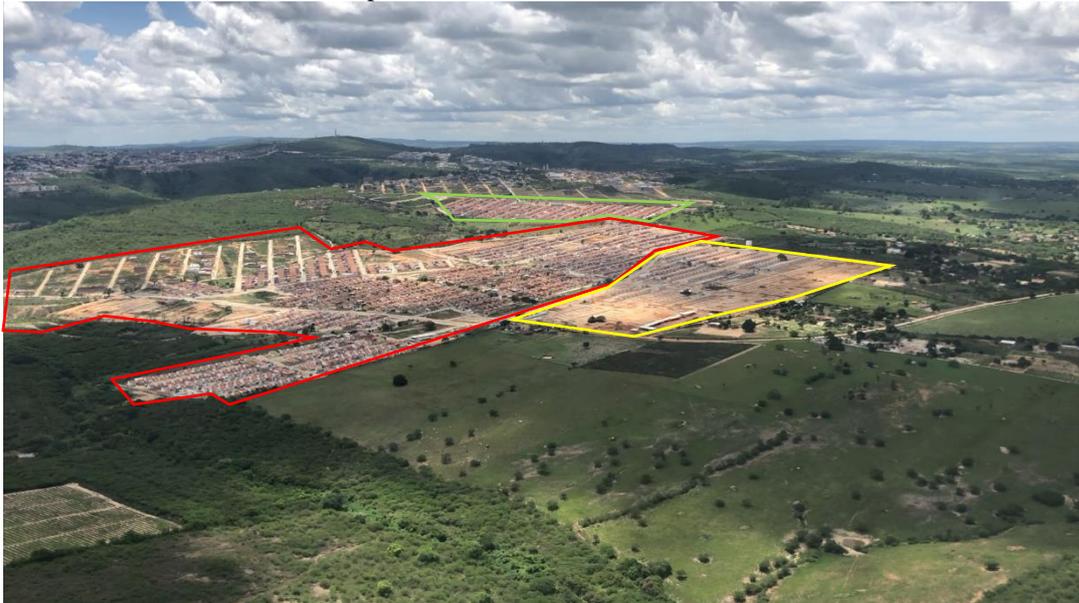
Figura 22: Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI em Garanhuns/PE (2019).



Segundo a régua de classificação localizada ao lado de cada imagem, as manchas na cor marrom estão associadas à ausência de vegetação e aquelas em cor verde estão associadas à presença de vegetação, sendo que quanto mais escuro o tom verde mais forte é a presença detectada.

Observando simultaneamente as imagens NDVI (Figuras 19, 20, 21 e 22) e as imagens que ilustram a evolução da ocupação do solo em Garanhuns (Figuras 13, 14, 15 e 16) é possível constatar que as manchas marrons em NDVI coincidem em boa parte com as manchas de malha urbana destacadas na Figuras 15 e 16 (imagens geradas em anos aproximados àqueles que deram origem às imagens NDVI), reforçando a ideia de que o marrom escuro (NDVI) está associado à ausência de vegetação.

Figura 23: Vista aérea dos Conjuntos Residenciais Viana e Moura (vermelho), São Vicente II (amarelo) e Antônio Cordeiro (verde), Município de Garanhuns/PE.



Fonte: Heitor Martins, Major QOC/BM – Grupamento Tático Aéreo, Secretaria de Defesa Social de Pernambuco – SDS/PE, 2022.

Observando a figura 23, é possível perceber o forte impacto causado com a supressão da cobertura vegetal que existia no terreno primitivo para dar vez à implantação dos conjuntos habitacionais. Considere-se, ainda, que as vias públicas geradas nos residenciais estão pavimentadas com sistema impermeável, em sua maioria em paralelepípedo, com drenagem superficial.

Além disso, os lotes são todos em tamanho popular, com indicação de taxa de ocupação de até 60% e taxa mínima de solo natural fixada em 15%, já que os bairros José Maria Dourado e Dom Hélder Câmara, situados ao norte da zona urbana de Garanhuns estão em pleno crescimento e apresentam um padrão de ocupação popular, com predominância de casas térreas e, em geral, soltas no lote, com recuos de 5,00m de frente, 1,50m de laterais e 3,00m de fundos, podendo ser suprimidos os recuos laterais caso a construção não apresente aberturas, de acordo com observação constante do Quadro 01 de Parâmetros Urbanísticos – anexo II que, para esta área, define condições iguais às das Zonas de Alta Densidade – ZAD (PDPG, 2008).

Figura 24: Vista aérea do Conjunto Residencial São Vicente II, Município de Garanhuns/PE.



Fonte: Heitor Martins, Major QOC/BM – Grupamento Tático Aéreo, Secretaria de Defesa Social de Pernambuco – SDS/PE, 2022.

A Figura 24, acima, foca a implantação do Conjunto Residencial São Vicente II, que, tendo sido aprovado na vigência da Lei Ambiental N° 4.397/2017, cumpre obrigatoriedade de plantio de 1 árvore por lote. Pela imagem observa-se que a implantação do Residencial está em curso, já com diversas construções executadas, mas que os resultados esperados para as árvores ainda estão longe de ser vistos ou mesmo sentidos, pois levará anos até que as mudas se desenvolvam suficientemente para cumprir seu papel na busca pelo equilíbrio ambiental.

Figura 25: Vista aérea do Condomínio Bellevue, Município de Garanhuns/PE.



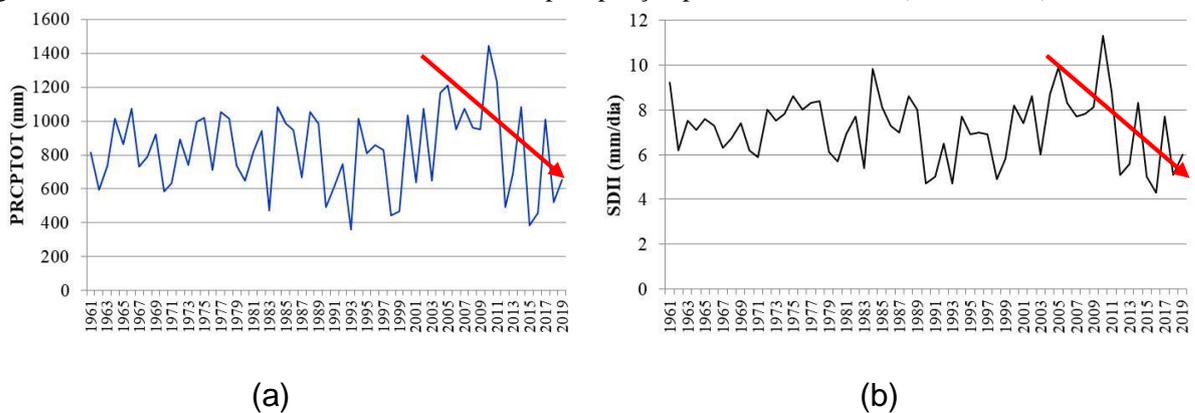
Fonte: Heitor Martins, Major QOC/BM – Grupamento Tático Aéreo, Secretaria de Defesa Social de Pernambuco – SDS/PE, 2022.

A Figura 25 retrata uma situação urbana bem diferente da anterior, com lotes urbanos mais generosos, com padrão social e construtivo mais alto. É possível verificar uma área de concentração de árvores adultas ao centro e espécies de menor porte ao longo da avenida transversal. Contudo, apesar de os lotes serem maiores, não se verificam árvores plantadas em nenhum deles, apenas grama.

5.2.2 Extremos Climáticos identificados: causas e consequências

Foram gerados os índices de extremos climáticos com base nos dados coletados no período compreendido entre 1961 e 2019, conforme apontado nos procedimentos metodológicos. Como resultados, foram gerados gráficos que combinam informações entre tempo e intensidade dos eventos, destacando a ocorrência dos extremos ao longo de todo o período considerado. As setas vermelhas foram utilizadas para ilustrar a direção do comportamento dos dados (aumento ou diminuição) e assim facilitar a leitura dos resultados comentados na sequência.

Figura 26: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação para Garanhuns-PE (1961 a 2019).



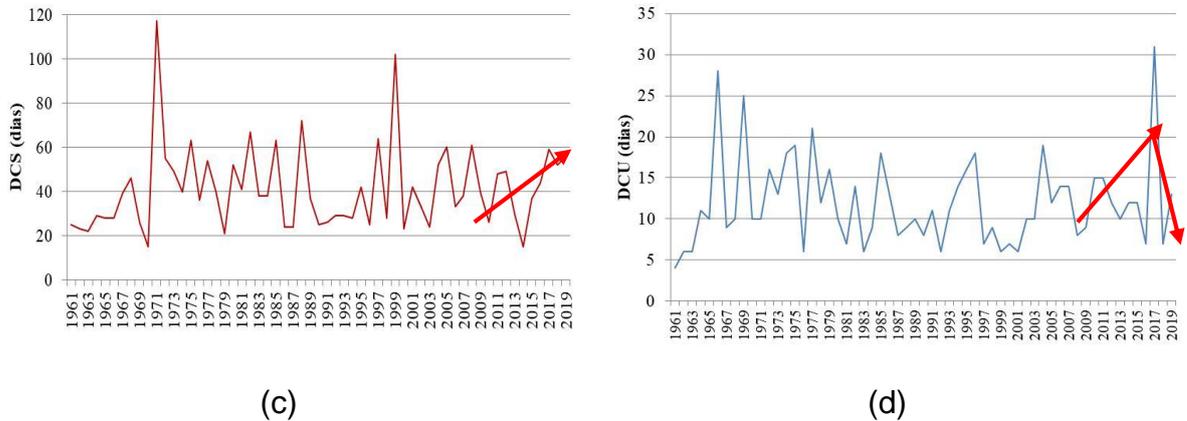
Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Observando a Figura 26 - (a), é possível perceber que os extremos climáticos para a precipitação total anual se mostraram mais regulares nas primeiras duas décadas do período considerado, com valores mínimos em torno de 600mm e máximos em torno de 1.100mm. Em 1993, foi registrado o extremo mínimo, com aproximadamente 380mm, seguido de cerca de 400mm no ano de 2015. Para os extremos dos valores máximos, destacam-se 1.200mm no ano de 2005, crescendo para aproximadamente 1.420mm no ano de 2010.

A Figura 26 - (b) apresenta o índice simples de intensidade, que trata a precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos. É possível perceber que a variação dos dados nesse gráfico segue uma relação proporcional com aqueles apresentados no gráfico (a), através dos quais se observa a regularidade de valores máximos e mínimos nas primeiras 2 décadas do

período total considerado, com variação entre 6 e 9mm/dia e extremos registrados nos anos 1984, 2005 com cerca de 10mm/dia e 2010 com cerca de 11mm/dia.

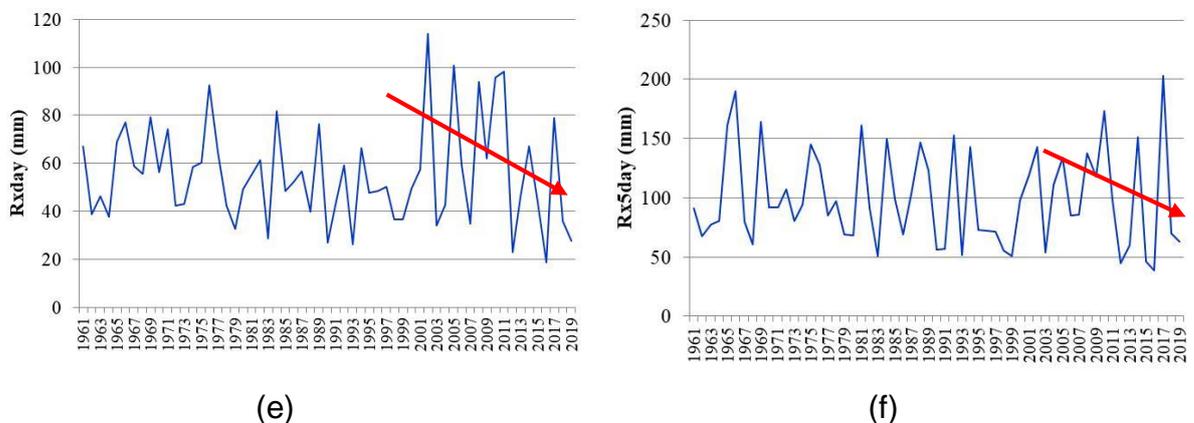
Figura 27: Índices de extremos climáticos relativos à quantidade de dias consecutivos secos e úmidos para Garanhuns-PE (1961 a 2019).



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Com relação ao número máximo de dias consecutivos secos e úmidos, apontados nas Figuras 27 - (c) e (d), respectivamente, observou-se que em 1971 foi registrado o maior número de dias consecutivos secos para o período estudado, perfazendo um total de aproximadamente 118 dias, seguido dos cerca de 102 dias registrados para o ano de 1999. Para o número máximo de dias consecutivos úmidos, observou-se em destaque os valores de aproximadamente 28 dias no ano de 1966, 25 dias em 1969 e 31 dias em 2017.

Figura 28: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação em 1 e em 5 dias para Garanhuns-PE (1961 a 2019).

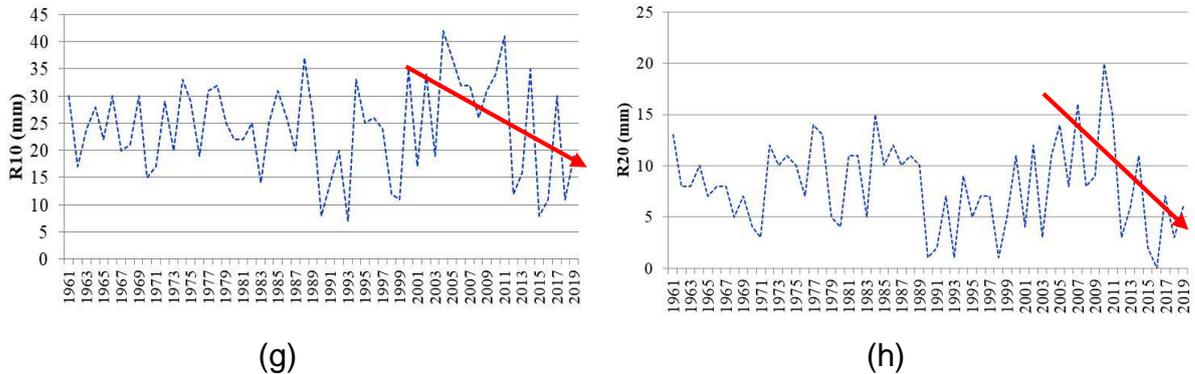


Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

A Figura 28 - (e) aponta a quantidade máxima de precipitação ocorrida em 1 dia no período de 1 ano. Observou-se em destaque o valor de 113mm no ano de 2002, 100mm em 2005, cerca de 95mm em 2008, cerca de 97mm em 2010 e aproximadamente 99mm em 2011.

A quantidade máxima de precipitação ocorrida em 5 dias no período de 1 ano está registrada na Figura 28 - (f), cujos valores máximos em destaque foram verificados como sendo de aproximadamente 185mm em 1966 e cerca de 201mm em 2017.

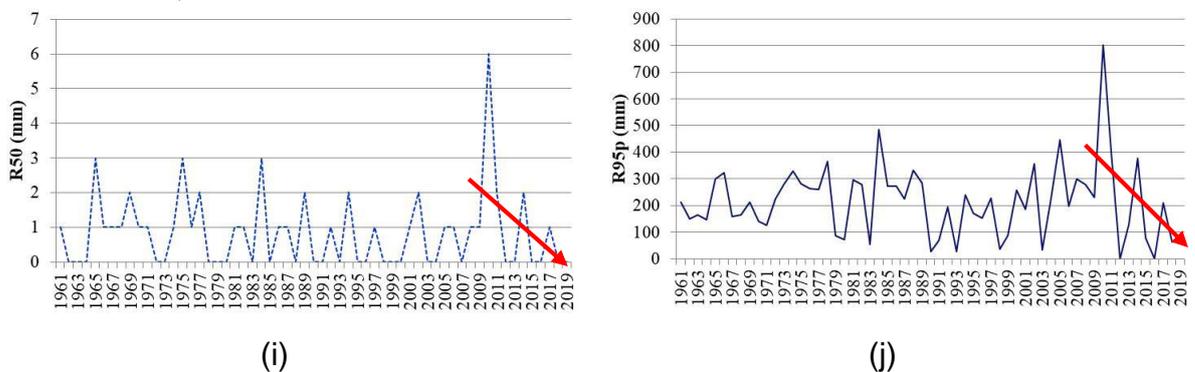
Figura 29: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação em 10 e em 20 dias para Garanhuns-PE (1961 a 2019).



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Com relação à a quantidade máxima de precipitação ocorrida em 10 dias no período de 1 ano, os valores extremos estão apontados na Figura 29 - (g), com destaque para os cerca de 42mm ocorridos nos anos de 2004 e 2011, seguidos de aproximadamente 37mm registrados em 1994. A quantidade máxima de precipitação em 20 dias apontada na Figura 29 - (h) mostrou registro de extremo com 20mm no ano de 2010 em toda a série histórica considerada, quando o valor máximo registrado anteriormente não ultrapassou a marca de 16mm.

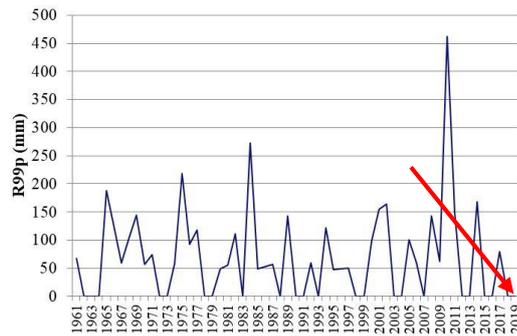
Figura 30: Índices de extremos climáticos relativos à precipitação em 50 e em 95 dias para Garanhuns-PE (1961 a 2019).



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

O extremo apontado para a quantidade máxima de precipitação em 50 dias num mesmo ano, a Figura 30 - (i) registrou 6mm no ano de 2010. O mesmo ano apresentou valor extremo para a quantidade de dias muito úmidos, ou seja, dias em que a precipitação anual total >95 percentil, perfazendo um total de 800mm registrados na Figura 30 - (j).

Figura 31: Índice de extremo climático relativo aos dias extremamente úmidos para Garanhuns-PE (1961 a 2019).

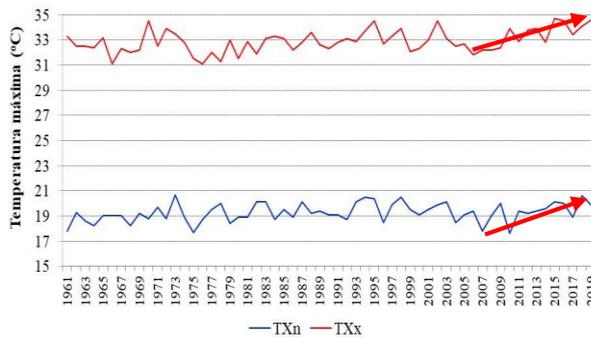


(l)

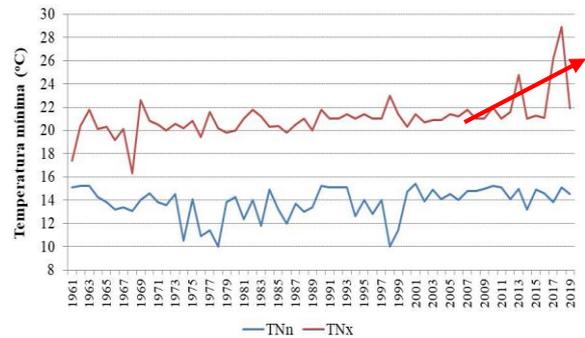
Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

O ano de 2010 apareceu novamente em destaque, para registro do índice extremo de dias extremamente úmidos, quando a precipitação anual total $RR > 99$ percentil. Neste caso, de acordo com a Figura 31 – (l), o valor máximo registrado foi de cerca de 460mm, um valor muito superior ao máximo de (aproximadamente) 275mm registrados em 1985.

Figura 32 - Comportamento temporal dos índices: TX – máximo e mínimo das temperaturas máxima (a) e TN – mínimo e máximo das temperaturas mínimas observados no período de 1961 a 2019 em Garanhuns-PE.



(a)



(b)

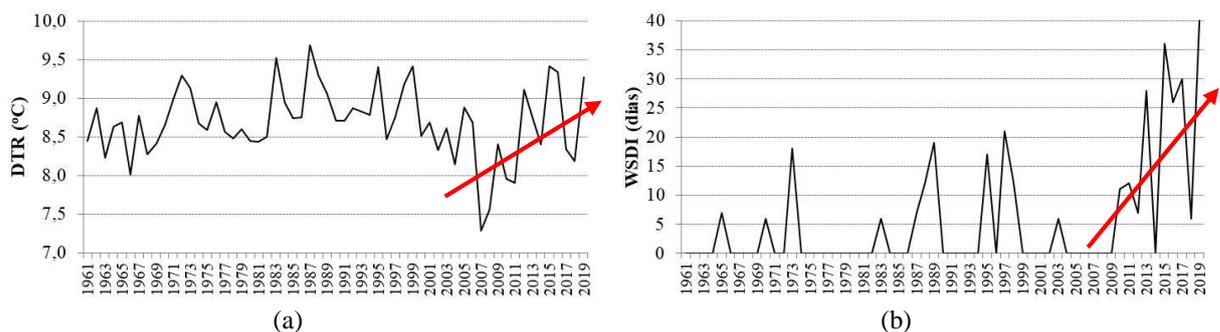
Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Analisando a Figura 32 – (a), observou-se que, de maneira geral, os valores médios para a 1ª normal climática considerada, ou seja, até 1990, tanto para a máxima (TXx - cor vermelha) quanto para a mínima (TXn - cor azul) mantiveram uma coerência na variação ocorrida. Quando analisada a 2ª normal climática, observou-se uma curva ascendente nos últimos anos, indicando que existe uma tendência ao aumento dos valores para TXx, pois na 1ª normal se desenvolveu em torno dos 33 graus e encerrou a 2ª normal com média em torno de 34 graus Celsius. Essa curva ascendente também foi percebida para os valores máximos de TXn, pois a média da 1ª

normal se apresentava em torno de 19 graus Celsius e, para a 2ª normal, esses valores também cresceram em torno de 1 grau.

A Figura 32 – (b) aponta as máximas (TNx) e mínimas (TNn) para as temperaturas mínimas registradas. Observou-se discrepância entre comportamento dos valores para os dois índices especialmente no ano de 1999, quando a máxima da temperatura mínima atingiu cerca de 23 graus e a mínima da temperatura mínima chegou à marca dos 10 graus Celsius. Observou-se, ainda, que esse valor extremo mínimo de 10 graus já havia ocorrido em 1978, bom como houve registro de valores próximos nos anos de 1974 e 1976. De 1961 até 1999 a média para esses valores mínimos (TNn) ocorreu em torno dos 12 graus Celsius e depois de 1999 até o fim do período estudado essa média cresceu para cerca de 14 graus, ou seja, aumentou 2 graus. Quando considerados os valores máximos das temperaturas mínimas (TNx), a leitura mostrou um valor extremo mínimo de cerca de 16 graus no ano de 1968, dentro de um comportamento coerente de variação, cuja média pairou na casa dos 20 graus durante a 1ª normal. Na 2ª normal climática o valor médio subiu para cerca de 21 graus com extremos registrados de cerca de 24,5 graus em 2013 e cerca de 29 graus no ano de 2018, atingindo um valor compatível com as máximas da temperatura máxima.

Figura 33 - Comportamento temporal dos índices DTR - amplitude diária de temperatura (a) e WSDI - ondas de calor (b) observados no período de 1961 a 2019 em Garanhuns-PE.

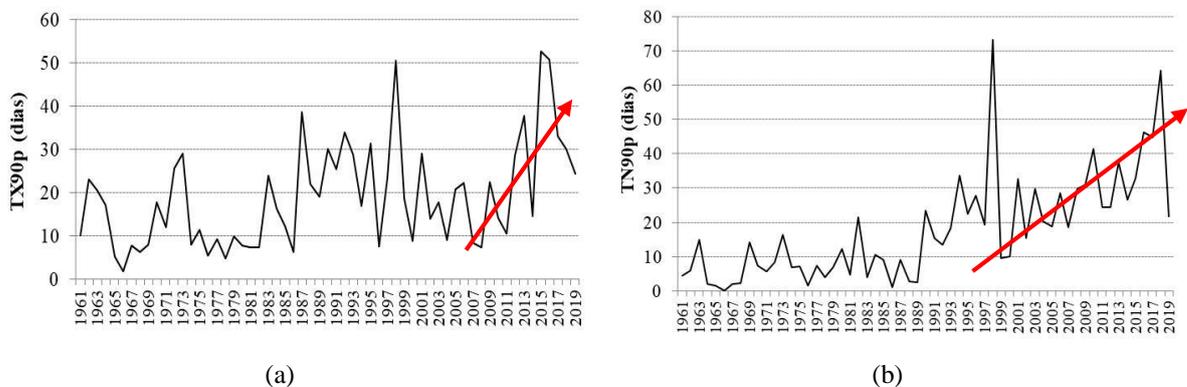


Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

A Figura 33 – (a) apresenta os registros feitos para a amplitude diária de temperatura, cujos valores apontam uma certa coerência na variação dos dados até o ano de 2006, com uma média de amplitude térmica ocorrendo em torno de 8,7°C. Em 2007, o extremo mínimo de 7,3°C foi registrado para este índice e a partir de então observou-se um aumento tanto dos valores máximos como dos mínimos, computando uma média de cerca de 8,5°C e também indicando uma tendência ao crescimento desse indicador.

A Figura 33 – (b) indica que até o ano de 2009 foram registradas ondas de calor em mais de 5 dias consecutivos nos anos de 1965, 1970, 1983 e 2003 e, posteriormente, entre 18 e 22 dias consecutivos nos anos de 1973, 1989, 1995 e 1998. A partir de 2010 fica claro, não apenas o aumento da ocorrência desses extremos, mas também da intensidade com que ocorreram, com picos extremos máximos e crescentes registrados de 27 dias consecutivos (2013), 30 dias consecutivos (2016), 36 dias consecutivos (2017) e 40 dias consecutivos (2019) e valores mínimos muito acima de 0, diferentemente dos registrados em todos os anos do período considerado até 2009), a exemplo dos 7 dias consecutivos (2012), 22 dias consecutivos (2016) e 6 dias consecutivos (2018), elevando a média dos 2,5 dias consecutivos no início do período para cerca de 20 dias consecutivos com registro de ondas de calor. Portanto, conclui-se que houve aumento da quantidade de dias consecutivos com registro de onda de calor ocorridos na última década com tendência de crescimento desses valores.

Figura 34 - Comportamento temporal dos índices TX90p - dias quentes (a) e TN90p - noites quentes (b) no período de 1961 a 2019 em Garanhuns-PE.



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

De acordo com a Figura 34 – (a), a quantidade de dias quentes num ano se mostrou com média regular de 15 dias até o ano de 1986 e tendo essa média elevada para cerca de 20 dias entre 1987 e 2011 e novamente elevada para cerca de 30 dias de 2012 a 2019. Nesse último período é possível perceber ainda uma tendência à elevação desses valores.

Analisando a Figura 34 – (b), foi possível perceber também o aumento dos valores em 3 períodos diferentes, sendo: 1. De 1961 a 1989, com valores máximos entre 15 e 23 dias e mínimos perto de zero; 2. De 1990 a 2009, com valores máximos entre 23 e 33 dias, com destaque para as cerca de 73 dias em 1998 e mínimos entre 10 e 23 dias; 3. A partir de 2010, com elevação dos valores mínimos, mais uma vez, para entre 25 e 45 dias. Essa última constatação aponta que os valores mínimos da última década superam os valores máximos da 1ª normal considerada e que, apesar da curva criada indicando tendência ao crescimento, o valor

mínimo para 2019 chamou à atenção pela forte queda do último registro mínimo de 45 dias para cerca de 22 dias, acompanhando a queda no número de dias quentes constatado na Figura 34 – (a).

Analisando todos os resultados registrados nas Figuras 26 a 34, foi possível perceber que, **considerando todo o período estudado (1961 a 2019), a maior parte dos eventos extremos ocorreu a partir do ano de 2010**, ou seja na última década. Associando esta informação aos dados presentes na Figura 14 (Linha do Tempo da ocupação do solo em Garanhuns/PE), às informações ilustradas na Figura 15 (Mapeamento da evolução da ocupação do solo em Garanhuns/PE), **verificou-se que esse período corresponde exatamente àquele em que se percebeu maior ocorrência de construções civis na zona urbana de Garanhuns/PE, principalmente por força do estímulo ao mercado imobiliário através de programas governamentais.**

A constatação da rápida transformação da paisagem foi feita através da análise das imagens NDVI apresentadas nas Figuras 19, 20, 21 e 22 que apontaram redução significativa de coberturas verdes e de solo natural na zona urbana do município ao longo dos anos. Assim, como consequências diretas do aumento da densidade construtiva **foi também apontado na Figura 14 o aumento significativo das pavimentações de vias públicas ao longo dos últimos 24 anos**, ou seja, nas últimas 3 gestões municipais (8 anos cada), dobrando o volume de pavimentação a cada nova Administração, com uso de asfalto, tratamento superficial duplo – TSD e paralelepípedos, **todos causando impermeabilização do solo nas vias de circulação da zona urbana de Garanhuns.**

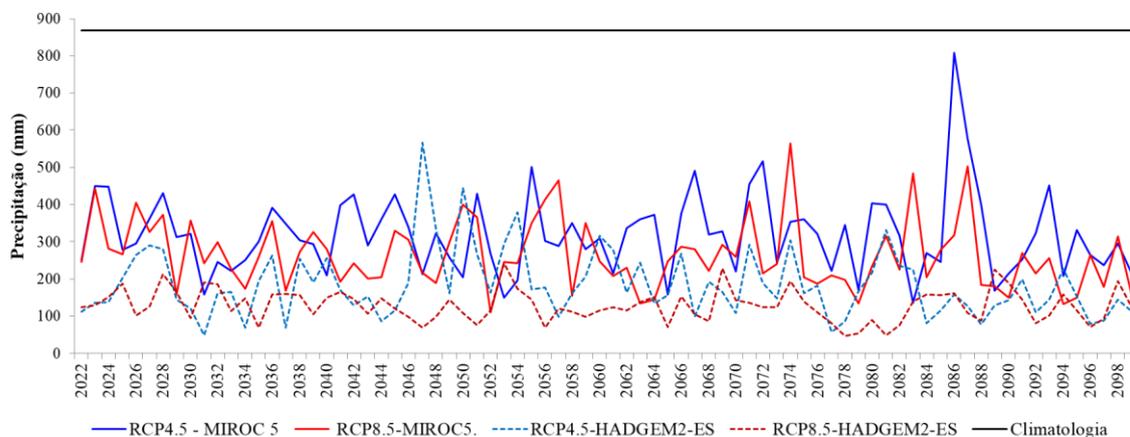
Em adição ao aumento da impermeabilização com a pavimentação de diversas vias de circulação, **jardins privativos deram lugar a garagens e pisos concretados pelos mais diversos motivos, calçadas foram também impermeabilizadas, etc.** Em geral, o aumento significativo de superfícies construídas tem reflexo sobre as temperaturas locais, pois absorvem o calor da radiação solar durante o dia e o emanam durante a noite. **A impermeabilização de solo, além de contribuir com o aumento das temperaturas, faz com que as águas de chuva corram superficialmente e sejam levadas para cada vez mais longe da cidade, modificando o ciclo da água e tornando a cidade mais quente e seca a cada ano, como se pôde constatar nos registros feitos nas Figuras de 26 a 34.**

5.3 O futuro através de Cenários Climáticos

Em busca de criar condições para fundamentar decisões importantes no âmbito do Planejamento Urbano e assim contribuir com o crescimento mais sustentável do Município de Garanhuns/PE, foram gerados Cenários Climáticos que antecipam possíveis situações no recorte temporal dos anos de 2022 a 2099.

Os Cenários foram gerados de acordo com o passo a passo descrito na metodologia, considerando 2 modelos de referência mundial (MIROC5 e HadGEM2-ES). Para cada modelo, foram gerados 2 cenários, sendo um otimista e outro pessimista. Os resultados são os que seguem nas Figuras 35, 36, 37 e 38.

Figura 35 - Projeções da precipitação pluviométrica anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Análise sobre as projeções do modelo MIROC5 – Figura 35:

Otimista (RCP4.5):

O cenário otimista construído no modelo MIROC5 aponta a ocorrência de um evento extremo em 2086, com precipitação de pouco mais de 800mm, superando as máximas de todo o período, que não ultrapassam 500mm. Quanto aos valores mínimos previstos neste mesmo cenário, a mínima antecipada para todo o período é de cerca de 110mm, no ano de 2083. Outras mínimas abaixo de 250mm, estão previstas para 16 anos diferentes, distribuídos em todo o recorte temporal.

A projeção otimista do modelo MIROC5 indica que a média das precipitações ficará no patamar dos 300mm durante quase todo o período, até o ano de 2094, a partir de quando os valores apontam uma tendência à diminuição, chegando ao ano de 2099 com pouco mais de 200mm.

Pessimista (RCP 8.5):

Na projeção pessimista para este modelo, a maior parte das máximas fica abaixo de 400mm, com extremos entre 470mm e 550mm esperados para os anos de 2023, 2057, 2074 (extremo máximo previsto), 2083 e 2087. A partir do ano de 2088 as máximas não ultrapassam os 300mm apontados para o ano de 2098.

Quanto às mínimas, de maneira geral, não divergem muito do cenário otimista, exceto pelos períodos de 2029, pelo período de 2033-2038, pelo ano de 2058, 2066-2068 e a partir de 2090, quando a previsão é de ficarem todas abaixo dos 200mm, inclusive com a mínima de todo o recorte temporal, com 110mm no ano de 2094.

A projeção pessimista do modelo MIROC5 indica que a média das precipitações ficará no patamar dos 250mm durante quase todo o período.

Análise sobre as projeções do modelo HadGEM2-ES – Figura 35:**Otimista (RCP4.5):**

No cenário otimista para o modelo HadGEM2-ES, a projeção mostra uma distribuição da ocorrência de extremos (valores máximos) entre os anos de 2047 e 2054, variando entre 380mm e 580mm. Os extremos para as mínimas aparecem em destaque nos anos de 2031, 2034, 2037, 2077 e 2096, com valores em torno de 50mm, 65mm, 65mm, 60mm e 65mm, respectivamente. Durante todo o restante do recorte temporal as máximas não superam a marca dos 320mm e as mínimas não caem além dos 75mm, gerando uma média de aproximadamente 197mm.

Pessimista (RCP 8.5):

No cenário pessimista para este modelo indica apenas dois eventos extremos máximos nos anos 2053 e 2089, com 230mm e 205mm, respectivamente. Entre os valores mínimos extremos, destacam-se os anos de 2078 e 2081, ambos com aproximadamente 30mm. A média de precipitação para todo o período neste cenário foi de cerca de 130mm.

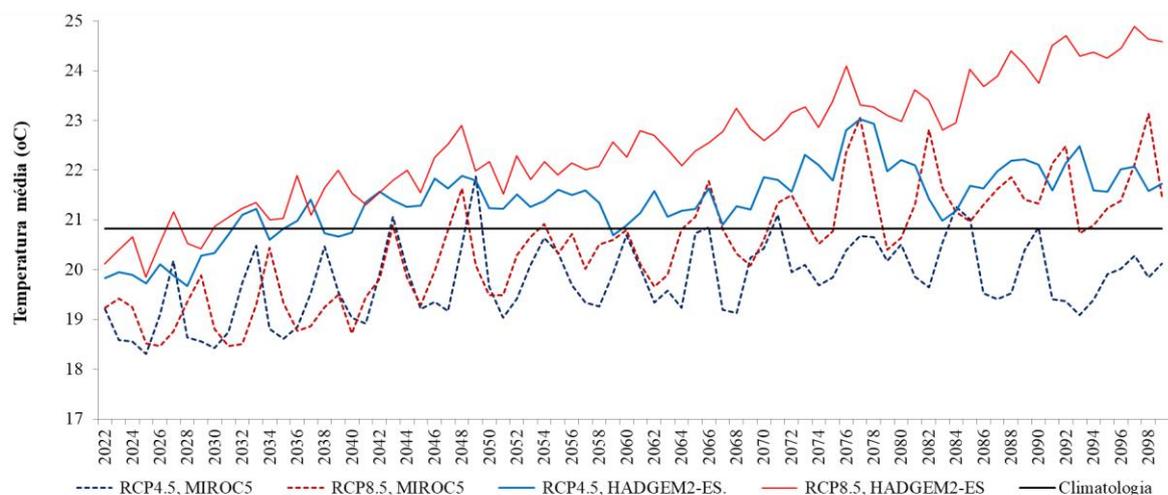
Constatações importantes sobre a Figura 35:

Considerando os cenários apresentados para a Precipitação Pluviométrica Anual, cuja climatologia foi apontada em torno de 880mm (1961 – 2019), constatou-se que **todas as 4 projeções indicam uma forte queda do valor médio**, chegando a cerca de 300mm no cenário mais otimista e a aproximadamente 130mm no cenário mais pessimista.

Considerando que as projeções do modelo MIROC5 se apoiam em referências mais regionais, **cabe dizer que a média de cerca de 275mm Precipitação projetada para esse modelo seja o horizonte mais provável a considerar, ou seja, no cenário mais provável, a média das Precipitações deve cair em torno de 3 vezes.**

Essas **constatações são bastante alarmantes, pois indicam um futuro de muitas dificuldades para o abastecimento de água em Garanhuns na região**, já que os reservatórios que abastecem Garanhuns são de origem local e não de rios vindos de outros lugares e que outros municípios poderão sofrer sérios prejuízos de abastecimento, pois é em Garanhuns que nascem as bacias dos Rios Mundaú e Canhoto, que abastecem outras cidades.

Figura 36 - Projeções da temperatura média anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Análise sobre as projeções do modelo MIROC5 – Figura 36:

Otimista (RCP4.5):

O cenário otimista no modelo MIROC5 aponta a ocorrência de um evento extremo no ano de 2077, quando a temperatura média poderá atingir o valor máximo de 23,1°C e uma tendência ao aumento das temperatura médias ao longo de todo o recorte temporal. Observou-se, entretanto, que neste cenário a média das temperaturas médias não muda em relação à climatologia atual de 20,8°C.

Pessimista (RCP 8.5):

Na projeção pessimista para este modelo indica um aumento significativo da temperatura média anual de 20,8°C (climatologia) para cerca de 22,4°C, indicando a ocorrência de uma máxima de 25°C no ano de 2097, e apontando uma tendência à continuidade de aumento para os anos subsequentes.

Análise sobre as projeções do modelo HadGEM2-ES – Figura 36:**Otimista (RCP4.5):**

No cenário otimista para o modelo HadGEM2-ES, foram identificados apenas 4 eventos com temperaturas médias acima da climatologia: 2043 (21°C), 2049 (21,8°C), 2017 (21,2°C) e 2085 (21,3°C). O valor mínimo apontado para as temperaturas médias em todo o período considerado foi de 18,2°C, em 2025. Foi possível observar também que a média dos valores projetados para este cenário deve ficar abaixo da climatologia (20,8°C), com aproximadamente 20°C.

Pessimista (RCP 8.5):

O cenário pessimista para este modelo indica mínimas de temperaturas médias de 18,4°C nos anos de 2026 e 2031, e 18,5°C nos anos de 2025 e 2032. Entre as máximas, é importante dizer que a maior parte está projetada para depois do ano de 2043 com valores acima da climatologia, com destaque para a máxima do período no ano de 2077, com cerca de 23°C. A média das temperaturas médias neste cenário está projetada para cerca de 20,7°C, ou seja, não muda significativamente a situação da climatologia registrada de 1961-2019 (20,8°C).

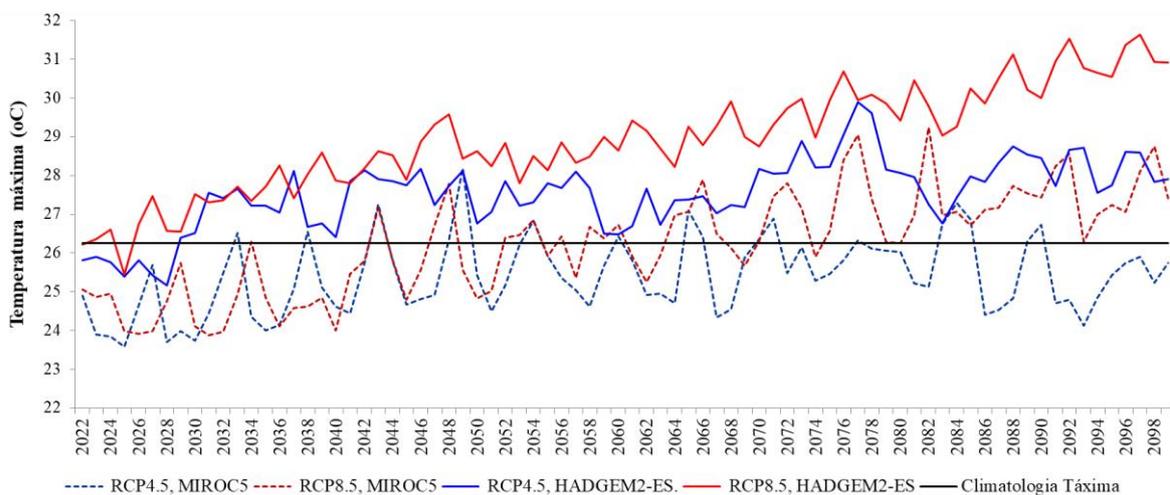
Constatações importantes sobre a Figura 36:

Considerando os cenários apresentados para a Temperatura Média Anual, cuja climatologia foi apontada em torno de 20,8°C (1961 – 2019), constatou-se que as projeções do modelo HadGEM2-ES são mais otimistas, pois ambos os cenários projetados para este modelo apontaram a redução da Temperatura Média para até 20,0°C, **enquanto as projeções do modelo MIROC5 indicaram manutenção da climatologia no cenário otimista e aumento considerável para 22,4°C no cenário pessimista.**

Considerando que as projeções do modelo MIROC5 se apoiam em referências mais regionais, **cabe dizer que as projeções feitas neste modelo devem ter prioridade de consideração.** A manutenção da climatologia no cenário otimista deve ser vista como uma oportunidade de

trabalhar elementos que possam melhorar esses resultados. Já a elevação dessa média em até 1,6°C, projetada no cenário pessimista, deve ser vista com grande preocupação, pois implica dizer que deverá haver elevação de temperaturas máximas e/ou de temperaturas mínimas. Assim sendo, **é preciso examinar cuidadosamente o que estaria causando a elevação da Temperatura Média e atuar diretamente sobre isso para buscar, ao menos, manter a climatologia definida para o período histórico.**

Figura 37 - Projeções da temperatura máxima anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Análise sobre as projeções do modelo MIROC5 – Figura 37:

Otimista (RCP4.5):

O cenário otimista construído no modelo MIROC5 aponta uma tendência ao aumento das temperaturas máximas ao longo do recorte temporal proposto, com ocorrência de um evento extremo em 2077, atingindo a máxima das temperaturas máximas com o valor de 29,8°C e a mínima das temperaturas máximas em 25,10°C, no ano de 2028. A média ao longo do período está prevista para cerca de 27,5°C, acima dos 26,3°C indicados na climatologia.

Pessimista (RCP 8.5):

A projeção pessimista para este modelo aponta a ocorrência de apenas um valor mínimo das temperaturas máximas abaixo da climatologia, com 25,4°C no ano de 2025, e que em todos os anos subsequentes esses valores seguem aumentando, assim como os valores máximos. Estes

últimos têm sua máxima indicada para aproximadamente 31,4°C no ano de 2098 e o cenário indica que a média para todo o período seja elevada de 26,3°C para 28,4°C.

Análise sobre as projeções do modelo HadGEM2-ES – Figura 37:

Otimista (RCP4.5):

No cenário otimista para o modelo HadGEM2-ES, a mínima registrada foi de 23,5°C (2025) e a Máxima de 28,0°C (2049), gerando uma média de aproximadamente 25,7°C, valor abaixo da climatologia.

Pessimista (RCP 8.5):

O cenário pessimista gerado para este modelo indica uma pequena elevação da média das temperaturas máximas até o fim do período considerado de 26,3°C (climatologia) para 26,5°C, com mínima de 23,9°C (2031) e máxima de 29,2°C (2082)

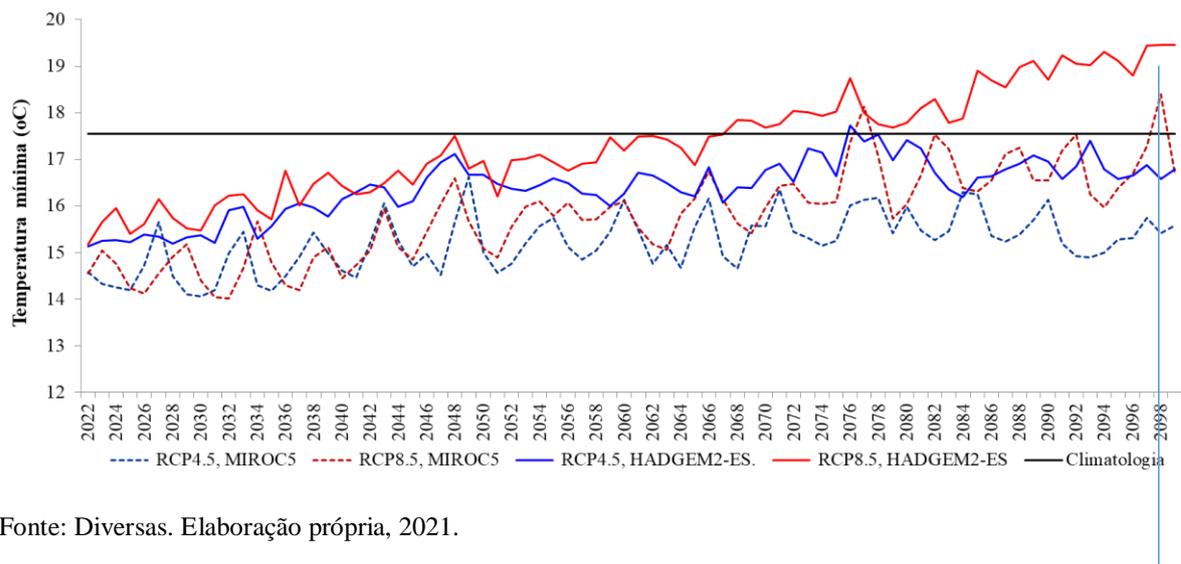
Constatações importantes sobre a Figura 37:

Considerando os cenários apresentados para a Temperatura Máxima Anual, cuja referência de climatologia foi registrada em cerca de 26,3°C para o período estudado (1961 – 2019), observou-se que as projeções do modelo HadGEM2-ES são mais otimistas, quando no melhor cenário estima a redução da climatologia para 25,7°C e no cenário pessimista apontou-se um ligeiro aumento para 26,5°C. Quanto às projeções do modelo MIROC5, ambas indicam a elevação da média das Temperaturas Máximas, sendo de 27,5°C no cenário otimista e de 28,4°C no cenário pessimista. **Ou seja, 3 das 4 projeções indicam elevação da climatologia, o que é preocupante, pois a média atual já foi elevada (considerando a leitura da Figura 26 - (a) a longo do período histórico considerado) e a elevação da média de temperaturas máximas indica que o município poderá ficar mais quente e mais desconfortável.**

Em adição, considerando que as projeções do modelo MIROC5 se apoiam em referências mais regionais, cabe dizer que **as projeções feitas neste modelo devem ter prioridade de consideração. Isso significa que está apontada uma maior probabilidade de elevação da média das temperaturas máximas para este século em até 2,1°C, o que é muito significativo e, conseqüentemente, preocupante.**

Associando essa tendência de aumento da média de Temperaturas Máximas à tendência apontada na Figura 35, onde em 4 dos 4 cenários projetados apontam queda da climatologia referente à precipitação total anual em, aproximadamente, 1/3 (cenário otimista) do valor histórico, torna tudo ainda mais preocupante, pois trata-se de risco sério à qualidade ambiental à segurança de abastecimento de água e, por consequência, sério risco à qualidade de vida e à capacidade de crescimento e desenvolvimento do Município.

Figura 38 - Projeções da temperatura mínima anual dos cenários de mudanças climáticas globais de MIROC5 e HadGEM2-ES RCP4.5 e RCP 8.5 para Garanhuns-PE para o período de 2022 a 2099.



Fonte: Diversas. Elaboração própria, 2021.

Análise sobre as projeções do modelo MIROC5 – Figura 38:

Otimista (RCP4.5):

O cenário otimista construído no modelo MIROC5 aponta mínima de 15,1°C em 2022 e máxima de 17,8°C em 2076, com mediadas temperaturas mínimas abaixo da climatologia (17,4°C), de aproximadamente 16,4°C.

Pessimista (RCP 8.5):

A projeção pessimista deste modelo indica que a temperatura mínima ocorre no ano de 2022, com o valor de 15,1°C. A máxima está indicada nos anos 2097, 2098 e 2099 com 19,4°C. observou-se que, durante todo o período considerado, os valores mínimos e máximos se comportaram sempre em elevação, fazendo com que a média das temperaturas mínimas se mantivesse um pouco abaixo da climatologia (17,4°C), com 17,2°C.

Análise sobre as projeções do modelo HadGEM2-ES – Figura 38:

Otimista (RCP4.5):

O cenário otimista construído no modelo **HadGEM2-ES** aponta a mínima de 14,0°C em 2030, seguida de 14,1°C em 2029 e novamente em 2031. Aponta também máxima de 16,6°C em 2049, com média abaixo da climatologia, de aproximadamente 15,3°C.

Pessimista (RCP 8.5):

O cenário pessimista deste modelo aponta mínima de 14,0°C nos anos de 2031 e 2032 e máxima de 18,4°C em 2098. Está também indicado o aumento dos valores ao longo de todo o período considerado, entretanto a média das temperaturas mínimas de cerca de 16,2°C fica abaixo daquela registrada na climatologia do período de 1961-2019 (17,4°C).

Constatações importantes sobre a Figura 38:

Considerando os cenários apresentados para a Média da Temperatura Mínima Anual, foi possível constatar que **todas projeções feitas indicaram média abaixo da climatologia (17,4°C)**. Entretanto, analisando os resultados de cada uma, constatou-se que as projeções do modelo HadGEM2-ES se mostraram mais otimistas do que as do modelo MIROC5. Entretanto, considerando que as projeções do modelo MIROC5 se apoiam em referências mais regionais, cabe dizer que **as projeções feitas neste modelo devem ter prioridade de consideração**.

A indicação de redução da climatologia das temperaturas mínimas em 4 dos 4 cenários projetados pode ser considerada um alento, pois a redução das mínimas configura um impacto positivo nas temperaturas médias e atua sobre a capacidade de elevação das temperaturas máximas.

Identificar quando ocorrem as temperaturas mínimas ao longo do ano, observar que ações impactam mais diretamente sobre elas e buscar meios de garantir o controle das condições de equilíbrio para esses valores é fundamental, pois permitir que eles também se elevem poderá ser um caminho muito mais difícil de reverter com impactos tão significativos ao ponto de modificar de fato o clima da região, entre outras implicações.

5.4 Legislação Municipal e qualidade ambiental

Entre as leis que regulam o uso e ocupação do solo e tratam sobre impactos ambientais no município de Garanhuns/ PE, destacam-se a Lei Municipal 3.620/2008 (Plano Diretor

Participativo de Garanhuns - PDPG), a Lei Municipal Nº 4.071/2014 (Outorga Onerosa do Direito de Construir - OOCDD) e as Leis Ambientais Municipais Nº 4.224/2015 e Nº 4.397/2017. Cada uma desempenha papel fundamental no controle das ações para crescimento e mitigação de impactos ambientais e, combinadas, atingem melhores resultados. Entretanto, é preciso compreender bem o papel de cada uma e avaliar se, no contexto na municipalidade em questão, constituem ferramentas suficientes para estimular o crescimento e o desenvolvimento urbano garantindo a qualidade ambiental no equilíbrio entre as estruturas natural e construída.

A Lei Municipal Nº 3.620/2008 institui o Plano Diretor Participativo do Município de Garanhuns, instrumento da política urbana e ambiental, e dá outras providências. Constitui um conjunto de normas e diretrizes que visam orientar o gestor público na condução dos caminhos para o crescimento municipal e desenvolvimento urbano. Inclui parâmetros urbanísticos e exigências legais para orientar aprovação de projetos de reformas, construções, desmembramentos, remembramentos e novos loteamentos no município. Inclui mapa de zoneamento com indicação de zonas, setores e eixos desenvolvimento, cada qual com suas particularidades a preservar, a estimular e a inibir, com o auxílio de 5 instrumentos apontados no Estatuto da Cidade, indicados para utilização em áreas específicas do zoneamento urbano, cujas formas de funcionamento devem obedecer leis específicas feitas de maneira complementar, sobre os quais apenas 1 se tornou lei, ou seja, apenas 1 dos 5 instrumentos foi regulamentado.

O PDPG está em vigor no município desde dezembro de 2008, sem qualquer atualização oficial, portanto, a lei vigora como há 13 anos, apesar da obrigatoriedade de revisar seu conteúdo e suas prioridades, no máximo, até 10 anos de sua existência (Estatuto da Cidade, 2001).

O PDPG apresenta 04 princípios como sendo os norteadores de todo o documento. São eles:

Capítulo II
PRINCÍPIOS, DIRETRIZES E OBJETIVOS DA POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO URBANO E
AMBIENTAL

Art. 3º. São princípios do Plano Diretor Participativo do Município de Garanhuns:

- I - a Função Regional do Município de Garanhuns;
- II - a Sustentabilidade do Território;
- III - a Função Social da Propriedade Urbana; e
- IV - a Gestão Participativa

Fazendo uma reflexão rápida sobre cada um desses princípios apontados na Lei do PDPG, é possível observar que cada tópico está ligado a uma característica que se vislumbrou essencial para definir as linhas de crescimento para o Município. Assim, observa-se que Garanhuns

desempenha um papel importante no cenário regional em que está inserido, tendo sua estrutura utilizada por outros municípios do entorno como referência para modelo e também para utilização de fato (escolas, faculdades, comércio, serviço, hospitais, etc). Esse importante papel **refere-se à Função Regional do Município.**

Para a **Sustentabilidade do Território**, consideram-se as formas de suporte e articulação com as estruturas intermunicipais, além da sua capacidade de produção e sustentação individual, visando à independência econômica capaz de se auto sustentar e potencializar seu próprio crescimento.

Já a **Função Social da Propriedade Urbana**, princípio que encontra embasamento no artigo 182º da Constituição Federal, chama à atenção para a responsabilidade por parte do Poder Público quanto ao controle dos usos e ocupação da terra urbana para garantir o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, com acesso à infraestrutura, visando à qualidade de vida e ao bem-estar de seus habitantes.

E, por fim, a **Gestão Participativa** é o princípio que garante a voz do povo através de seus representantes eleitos para compor as bases dos Conselhos Municipais ligados ao crescimento e desenvolvimento urbano. A gestão participativa é uma premissa do Estatuto da Cidade e deve estar presente e ser fortalecida em qualquer instrumento de Plano Diretor Municipal.

Após refletir sobre cada uma dessas funções contidas no PDPG em vigor, **foi possível verificar que em muito os princípios guardam coerência com atualidade municipal, entretanto, diante dos efeitos da descaracterização ambiental ocorrida** ao longo dos muitos anos de crescimento construtivo desordenado, em especial na última década - que, apesar de estar dentro do marco construtivo PDPG, não teve a eficácia planejada pela falta de regulamentação de todos os instrumentos previstos e pelas dificuldades técnicas e de recursos humanos enfrentadas pela administração municipal quanto à fiscalização e monitoramento de sua implementação – observou-se, ainda, que **não está posta entre os princípios a preocupação com a valorização das estruturas naturais como sendo fundamental para a qualidade ambiental e, por consequência, para a qualidade de vida no município.**

Cabe salientar que o PDPG constitui marco construtivo na Linha do Temo (Figura 17) apresentada no tópico **5.2** e que sua implementação aconteceu em momento bastante oportuno devido às oportunidades criadas posteriormente, pois, como se pôde observar na mesma Figura, a partir de então diversos eventos construtivos de grande porte e de grande impacto foram

executados. Salienta-se que os eventos mencionados apontam apenas aqueles que foram aprovados e executados, mas que há outros tantos em projeto aprovados e não executados, apenas aprovados aguardando cronograma de execução e também, aqueles que foram executados sem aprovação. Mesmo com tantas informações não constantes da linha do tempo, foi possível perceber uma grande concentração de construções a partir do marco do PDPG, no final de 2008.

Com a publicação da **Lei Municipal Nº 4.071/2014**, ficou regulamentado o instrumento Outorga Onerosa do Direito de Construir - OODC, além dos procedimentos legais para Regularização de Construções Não Licenciadas no Município de Garanhuns. A partir de então, o Município passou a aprovar construções verticalizadas além do Potencial Construtivo Básico estabelecido no PDPG, sob determinadas condições que, obrigatoriamente passam pelo pagamento de contrapartida por lâminas construtivas executadas até o limite de um Potencial Construtivo Máximo, estabelecido pela mesma Lei.

Os recursos advindos da aplicação da Lei, somente podem ser utilizados conforme indicado no seu Artigo 10º, que aponta as finalidades únicas de sua utilização pela gestão, quais sejam:

- Art. 10.** Os recursos auferidos com a adoção da Outorga Onerosa do Direito de Construir- OODC serão aplicados nas seguintes destinações:
- I – regularização fundiária;
 - II – execução de programas e projetos habitacionais de interesse social;
 - III – constituição de reserva fundiária;
 - IV – ordenamento e direcionamento da expansão urbana;
 - V – implantação de equipamentos urbanos e comunitários;
 - VI – criação de espaços públicos de lazer e áreas verdes;
 - VII – criação de unidades de conservação ou proteção de outras áreas de interesse ambiental;
 - VIII – proteção de áreas de interesse histórico, cultural ou paisagístico.

Observam-se tópicos apontados que viabilizam caminhos legais para utilização dos recursos advindos da Lei para as finalidades de “ordenamento e direcionamento da expansão urbana” (IV), “criação de espaços públicos de lazer e áreas verdes”(VI) e criação de unidades de conservação ou proteção de outras áreas de interesse ambiental (VII), o que constitui um bom potencial, entretanto, não se concretiza ainda como sendo um meio viável para aplicação pois, não consta, oficialmente, um sistema de controle municipal no qual estejam previstos, ao menos, a indicação de áreas de expansão urbana, ou um sistema de monitoramento do crescimento urbano. Assim, ainda não se verifica a aplicação dos recursos gerados pela lei para as finalidades específicas dos tópicos IV, VI e VII, objetos de interesse nesta Dissertação.

Ainda, para efeito de controle dos recursos gerados pela aplicação da Lei, bem como para responsabilização fiscal, foi criada a Comissão de Análise de Outorga Onerosa do Direito de Construir- COODC, e seu Artigo 19º, conforme segue:

Art. 19. Fica criada a Comissão de Análise de Outorga Onerosa do Direito de Construir- COODC, vinculada à Secretaria de Planejamento, de competências e atribuições a serem regulamentadas mediante ato do Chefe do Executivo Municipal.

E sobre a renda gerada com a aplicação da Lei de OODC, o Artigo 21º determina o depósito obrigatório em conta específica, assim:

Art. 21. Os recursos obtidos com a OODC serão depositados em conta específica e geridos pela Secretaria da Fazenda Municipal.

Quanto às e **as Leis Ambientais Municipais Nº 4.224/2015 e Nº 4.397/2017**, importa dizer, inicialmente, que a 1ª institui a Política Ambiental no Município e o Sistema Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável para a Proteção, Controle e Licenciamento Ambiental no Município de Garanhuns, enquanto a 2ª dispõe sobre a obrigatoriedade dos empreendedores de loteamento, antes do início da venda, de realizarem o plantio de árvores nativas da região nos passeios públicos, no importe de 01 (um) exemplar para cada lote e dá outras providências.

A Lei Municipal Nº 4.224/2015 classifica como “recursos ambientais” a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora; conceitua “fonte poluidora” como sendo toda e qualquer atividade, instalação, processo, operação ou dispositivo, móvel ou não, que independentemente de ser campo de aplicação induzam, produzam ou que, sob qualquer forma, possam causar poluição ou degradação ambiental; e, ainda, classifica no item 4.B de seu anexo I, os loteamentos como sendo de alto potencial poluidor/degradador. Já a Lei Municipal Nº 4397/2017 determina obrigatoriedade de plantio de 1 árvore para cada novo lote. Considerando as informações supracitadas, verificou-se que a aprovação de novos loteamentos no Município de Garanhuns (entre outros fatores ambientais e urbanísticos) está sujeita ao atendimento de alguns critérios descritos na Tabela 01.

Tabela 01: Critérios ambientais para aprovação de novos loteamentos em Garanhuns/PE.

Critério a obedecer	Lei Municipal
Apresentação e implantação de um projeto de arborização, indicando para cada lote proposto 1 árvore nativa;	Nº 4.397/2017
As árvores a ser plantadas deverão obedecer critérios para garantir a diversidade entre as espécies, além de sua distribuição em todo o loteamento;	Nº 4.224/2015
Deverá ser garantida a preservação de percentual mínimo de solo natural no interior de cada lote;	Nº 3.620/2008
Deverá ser respeitado o percentual mínimo destinado à implantação de área verde no loteamento, de acordo com os parâmetros urbanísticos determinados.	Nº 3.620/2008

Fonte: Adaptado pelos autores a partir dos dados da Prefeitura Municipal de Garanhuns (2008; 2015; 2017).

A exigência sobre a garantia de diversidade entre as espécies, pois a diversidade genética é um fator fundamental que proporciona melhores condições de tolerância às adversidades ambientais e ataques de pragas ou doenças (CEMIG, 2011). O Manual de arborização da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG aponta percentuais para diversificação de acordo com os dados da Tabela 02:

Tabela 02: Percentuais para diversificação de árvores.

Percentual máximo	Categoria
10%	Mesma espécie
20%	Mesmo gênero
30%	Mesma família

Fonte: Adaptado pelos autores a partir dos dados do CEMIG (2011).

A diversidade de flora contribui com o enriquecimento do solo, pois cada espécie precisa de compostos de nutrientes específicos para seu desenvolvimento e depois contribui com elementos de decomposição diferentes, além de compor ambiente diversificado propício para o desenvolvimento de fauna também diversa. Toda essa rede de seres vivos se articulando é fundamental para conferir mais qualidade ao ambiente criado e tem implicações muito importantes no trato do ciclo da vida, começando pelo fortalecimento das condições à permanência do ciclo da água no local.

A distribuição das árvores de maneira pulverizada no loteamento, conforme apontado pela Lei, faz com que as áreas de solo natural estejam mais distribuídas e não concentradas em áreas específicas, longe das casas. Essa distribuição é benéfica por diversos fatores, incluindo capacidade do solo de absorver águas pluviais mais rapidamente com as raízes das árvores;

capacidade do solo de percolar as águas para as camadas mais profundas e assim estabelecer um potencial renovador de lençóis freáticos; capacidade de manter umidade nas superfícies de solo natural, com reflexos benéficos para a qualidade de vida da cobertura vegetal e para as condições térmicas no setor; a promoção de sombreamento de maneira mais uniforme no loteamento, contribuindo também com a diminuição das temperaturas de cobertura de solo nos períodos críticos de insolação; a promoção da filtragem do gás carbônico, conferindo a todos uma melhor qualidade do ar para todos os seres vivos naquela região e, por fim, a composição de uma paisagem mais diversificada, mais agradável aos olhos e, portanto, mais interessante para todos que frequentam o local.

Todas essas condições citadas deverão, inclusive, ser consideradas para o cálculo final do valor de venda de cada lote, pois tornam diferenciadas as condições de qualidade ambiental e, portanto, de vida nos loteamento onde se aplicarem, em relação a outros mais antigos na cidade, onde a preocupação ambiental não se concretizou em ações, nem tampouco em resultados. Aponta-se aí uma nova oportunidade para a economia da cidade, pois a qualidade ambiental reflete na qualidade de vida que constitui um aspecto fundamental para a moradia e, como tal, deve ser visto como diferencial no mercado.

Ou seja, refletindo sobre as contribuições e os limites da legislação em vigor no Município para orientar a gestão nos caminhos de promover uma cidade mais sustentável, pode-se afirmar que:

- **o PDPG** (com revisão em até 10 anos apontada pelo estatuto da Cidade atrasada), **em seus princípios fundamentais (ainda que não genéricos), não indica explicitamente a necessidade de valorização da questão ambiental** enquanto chave para a qualidade de vida no município;
- **a OOC**, apesar de indicar 3 tópicos de 8 possíveis ligados à possibilidade de investir recursos oriundos da aplicação da Lei no ordenamento e no direcionamento da expansão urbana, na criação de espaços públicos de lazer e áreas verdes e na criação de unidades de conservação ou proteção de outras áreas de interesse ambiental, **não encontra na estrutura municipal um sistema suficientemente instrumentalizado para viabilizar a aplicação dos recursos nessas linhas;**
- **as Leis Ambientais Municipais, apesar de não encontrarem o devido respaldo nos princípios fundamentais do PDPG, se apoiaram em diretrizes e recomendações constantes de outras seções legais do documento (PDPG) e, sobretudo, no compromisso de gestores e colaboradores do Conselho de Defesa do Meio Ambiente – CODEMA, do**

Conselho Municipal de Política Urbana – COMPUR e de Secretarias Municipais com competência em Planejamento e Meio Ambiente.

Para Freitas (2008, p. 17), “o equilíbrio entre ganhos e perdas passa a constituir um dilema para os urbanistas, sobretudo os legisladores, quando da definição de parâmetros urbanísticos, responsáveis pela produção do espaço urbano e configuração da paisagem”. Entre os ganhos, aos quais se refere o autor, podem ser considerados os aspectos climáticos como sendo elementos importantes para nortear as tomadas de decisão para a revisão legal de parâmetros e procedimentos especiais para aprovação de projetos no âmbito de uma cidade.

Assim, considerando os impactos ambientais identificados ao longo desse trabalho, inclusive as implicações climáticas constatadas, e, somando-se a todas essas informações, os aspectos legais comentados neste tópico, percebe-se o quão necessário é considerar a previsão legal de princípios, diretrizes e ações voltadas para a valorização das estruturas ambientais com vistas a construir caminhos para uma Cidade Sustentável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variabilidade climática estudada a partir de dados oficiais do período histórico (1961-2019) **aponta a tendência à mudança climática a partir da última década, quando também se observa uma maior ocorrência de eventos extremos com a diminuição das chuvas e o aumento das temperatura.** Essas condições climáticas comprometem a manutenção da cobertura vegetal no município e geram graves consequências para a qualidade ambiental e para a qualidade de vida dos cidadãos.

Os cenários criados para antecipar situações futuras apontam tendências climáticas em 2 perspectivas, sendo uma mais otimista e outra mais pessimista, segundo 2 modelos globais diferentes: MIROC5 e HADGEM2-ES. Os cenários construídos no modelo MIROC5 devem ser considerados com mais atenção, visto que este modelo se utiliza de referências globais mais próximas da região onde está inserido o Município de Garanhuns/PE, objeto de estudo para esta dissertação.

As constatações feitas a partir da leitura e interpretação dos cenários construídos são bastante alarmantes, pois indicam um futuro de extrema dificuldade para o abastecimento de água em Garanhuns e região, já que os reservatórios que abastecem o Município são de origem local e não de rios vindos de outros lugares e que outros municípios poderão sofrer sérios prejuízos de abastecimento, pois é em Garanhuns que nascem as bacias dos Rios Mundaú e Canhoto, que abastecem outras cidades. **Esse é um dado que aponta sério risco à segurança de abastecimento de água na região e, por consequência, à qualidade de vida e à capacidade de crescimento e desenvolvimento do Município.**

Fatores como crescimento urbano desordenado com forte adensamento construtivo, supressão de cobertura vegetal e impermeabilização de solo, associados ao aumento de atividades antrópicas como trânsito intenso e atividades industriais, impactam negativamente o comportamento das Temperaturas e das Precipitações. É preciso atuar diretamente sobre eles, promovendo ações mitigadoras que visem reestabelecer condições ambientais mais favoráveis à qualidade de vida na região, pois permitir que o crescimento urbano desordenado afete o comportamento desses elementos climáticos, entre outras implicações, é construir um futuro com impactos tão significativos ao ponto de modificar o clima da região para pior, entre outras consequências.

Contudo, conhecer a realidade, ter acesso a dados históricos e à tecnologia, desenvolver conhecimento fundamentado em metodologias cientificamente reconhecidas e apontar

caminhos para buscar bons resultados não terá sido suficiente se não houver ação por parte dos entes governamentais ligados aos crescimento urbano. Seu papel gestor, fomentador, fiscalizador e provedor de condições para o crescimento e desenvolvimento urbano deve ser desempenhado com firmeza, buscando sempre garantir condições para o crescimento e desenvolvimento sem perder de vista a qualidade ambiental, pois é nela que se apoiam as condições para a qualidade de vida.

Propor novas diretrizes para o crescimento e o desenvolvimento urbano visando o equilíbrio ambiental como chave para a qualidade dos espaços gerados e para a consequente qualidade de vida dos cidadãos é fundamental. Entretanto, para buscar maior eficácia nos seus resultados, é essencial que as diretrizes propostas estejam alinhadas com bases mais sólidas de compreensão sobre os comportamentos climáticos vinculados às possibilidades de uso e ocupação do solo.

6.1 RECOMENDAÇÕES

Refletindo sobre o cumprimento de determinações da atual Política Ambiental Municipal, juntamente com os parâmetros urbanísticos estabelecidos no Plano Diretor Municipal em vigor, é possível observar, em situações de novos loteamentos (aprovados a partir de 2015), que as contribuições para o volume de vegetação em contrapartida à grande área de superfície impermeabilizada visam promover uma melhor qualidade ambiental que pode e deve ser trabalhada como um forte argumento para a valorização dos imóveis naquele setor, criando opções interessantes do ponto de vista do mercado imobiliário e, assim, despertar o interesse de compradores dispostos a pagar mais por uma melhor qualidade de vida.

As possibilidades de benefícios econômicos associados à execução de uma nova política urbana e ambiental no município de Garanhuns/PE são inúmeras, desde que se criem meios legais para permitir a expansão urbana com o devido respeito às condições ambientais. Os empreendedores vinculados ao mercado imobiliário devem ser criativos para se adequar à legislação e aproveitar novas oportunidades para promover o crescimento de seus negócios. Em paralelo, os ganhos previstos para as estruturas naturais, afetadas pela expansão urbana desordenada, representam efeitos positivos para a drenagem de águas pluviais, para a manutenção da vegetação, para o conforto térmico local, para a promoção da diversidade de flora, de fauna e, conseqüentemente, para uma paisagem mais diversa, além das contribuições para a qualidade do solo, para a renovação de lençóis freáticos e fortalecimento do ciclo da água no local.

Entretanto, todas essas contribuições dependem de uma postura municipal voltada à sustentabilidade dos negócios da construção civil para habitação com qualidade ambiental, para a promoção de espaços mais interessantes para todos, com reflexos importantes para os microclimas da cidade e para o fortalecimento do turismo local, fonte importante para a economia municipal.

A contribuição para a compensação de áreas naturais suprimidas sob forma de compensação direta pode ser mais interessante do ponto de vista da garantia dos efeitos para o local do empreendimento, uma vez que a compensação é realizada mais rapidamente e no mesmo local da geração do impacto. Em contraponto, uma compensação em valores financeiros ao Município estaria atrelada a regras específicas para utilização desses recursos, previstas por lei, e, frequentemente, sujeita à definição por meio de projetos são elaborados segundo prioridades municipais, definidas pela gestão. Ou seja, os benefícios levam mais tempo para serem sentidos, pois estão sujeitos à burocracia e seus prazos.

Assim, a compensação direta dos ativos ambientais, tal como regulamentada na Lei Municipal Nº 4.397/2017 e como vem sendo praticada nos últimos anos no Município de Garanhuns/PE, gera uma contribuição muito positiva tanto para o desenvolvimento econômico do município, quanto para a Economia Ambiental, pois os efeitos apontados, à medida em que vão se somando com os resultados de novos loteamentos, fazem com que a cidade cresça de forma mais saudável e sustentável, proporcionando condições microclimáticas mais confortáveis do ponto de vista térmico, mais interessantes do ponto de vista da paisagem e mais ricos do ponto de vista da oferta de novos atributos a ser explorados pelo mercado imobiliário, sem permitir que os ativos ambientais se tornem escassos como antes da legislação ambiental entravam vigor acontecia. Esse novo ciclo movimenta a economia com a diversificação de preços de lotes em toda a cidade.

Com todos esses benefícios apontados, compreende-se que há uma importante contribuição para a forma com que a paisagem urbana pode ser trabalhada, principalmente no que tange essa nova forma de enxergar possibilidades e valores, pois é substancialmente alimentada pela compreensão de manter vivos e fortes esses mesmos ativos ambientais, fortalecendo o conceito da Economia Ambiental como chave para o desenvolvimento sustentável do município, com a qualidade ambiental e de vida figurando em primeiro plano no cenário das possibilidades de crescimento.

Entretanto, para garantir uma melhor qualidade ambiental e um futuro mais confortável e seguro, no que tange à questão abastecimento de água para Garanhuns e região - com a manutenção dos aquíferos existentes e com a promoção de melhores condições para manutenção de cobertura vegetal - **é preciso revisar a legislação local para vincular à mesma cuidados e obrigações essenciais a se cumprir para que sejam asseguradas as condições necessárias para o crescimento urbano, para o desenvolvimento municipal e, sobretudo, para a qualidade de vida das próximas gerações, como preconizam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS da Agenda 2030 (ONU, 2015).**

Entendendo que o Plano Diretor Participativo de Garanhuns - PDPG é a Lei Municipal é Instrumento da Política Urbana e Ambiental do Município (Lei Municipal n. 3.620/2008) e que, assim sendo, confere base para regular o uso e a ocupação do solo, os parcelamentos e a legislação ambiental, recomenda-se promover inicialmente uma adequação de seus princípios, de maneira que haja substituição da palavra “Social” pela “Socioambiental” no inciso III do artigo em foco, assim:

Capítulo II
PRINCÍPIOS, DIRETRIZES E OBJETIVOS DA POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO URBANO E AMBIENTAL

Art. 3º. São princípios do Plano Diretor Participativo do Município de Garanhuns:

I - a Função Regional do Município de Garanhuns;

II - a Sustentabilidade do Território;

III - a Função Socioambiental da Propriedade Urbana; e

IV - a Gestão Participativa

A Função Social da Propriedade Urbana é o princípio que encontra embasamento no artigo 182º da Constituição Federal e chama à atenção para a responsabilidade por parte do Poder Público quanto ao controle dos usos e ocupação da terra urbana para garantir o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, com acesso à infraestrutura, visando à qualidade de vida e ao bem-estar de seus habitantes. A substituição recomendada adiciona a esse entendimento a questão da contribuição ambiental que cada propriedade urbana pode dar ao município e cria prerrogativa para que o novo PDPG possa direcionar Garanhuns para um crescimento ambientalmente mais equilibrado, na busca pela elevação dos padrões de qualidade ambiental e, conseqüentemente, de vida na cidade.

A partir disso, é possível revisar as diretrizes e seus caminhos para conferir ao Município de Garanhuns características de Cidade Sustentável com o fortalecimento da questão ambiental enquanto necessidade básica para garantia da qualidade de vida e da capacidade de crescimento e desenvolvimento urbano. Assim, a seguir, ficam propostas

algumas recomendações estruturadoras a ser consideradas para a próxima revisão do Plano Diretor Participativo de Garanhuns:

- Estabelecer limites e possibilidades para a expansão urbana em Garanhuns/PE;
- No que se refere aos novos loteamentos e desmembramentos para criação de novos lotes urbanos:
 - Estabelecer área mínima para os novos lotes urbanos de modo que os percentuais previstos para solo natural, área verde e recuos apresentem melhores resultados, ou, permanecer coma área mínima considerada atualmente e aumentar os percentuais mínimos para esses parâmetros urbanísticos, conforme seja mais interessante, sem prejuízo dos benefícios para a qualidade ambiental;
- Criar o Sistema Municipal de Monitoramento e Controle da Expansão Urbana – SIMCEU em Garanhuns, através do qual:
 - Seja feito um mapeamento editável das vias pavimentadas, apontando minimamente: o tipo do pavimento empregado, a quantidade em m², o ano da realização do pavimento e o percentual de área pavimentada em relação à área total do loteamento/conjunto habitacional/condomínio e à área total da zona urbana;
 - Seja feito um mapeamento editável das zonas de expansão para atualização periódica;
 - Seja criado um cronograma de fiscalização e registro dos achados para monitoramento;
 - Seja criado um banco de dados editável com os registros da fiscalização sobre o cumprimento dos parâmetros urbanísticos em cada novo lote das áreas de expansão;
 - Seja criado um banco de dados não editável com todos os dados climáticos históricos para ser alimentado ano a ano, inclusive com atualização dos gráficos de índices de extremos climáticos;
 - Seja feito o monitoramento dos impactos climáticos da expansão urbana ano a ano para fins de comparação com os cenários climáticos já construídos para o período de 2022 a 2099 e, assim, orientar as prioridades para a revisão periódica do PDP;
 - Seja dado conhecimento à população sobre os resultados encontrados para seu acompanhamento e para o fortalecimento dos valores culturais associados à necessidade de valorizar o equilíbrio ambiental;
- Fortalecer o sistema de fiscalização e punição para garantir o cumprimento da lei;

- **Criar multas e punições cabíveis ao não cumprimento da lei, podendo variar entre multas monetárias, embargo de obras e judicialização de processos para apuração de responsabilidades sob pena de prisão dos responsáveis;**
- **Elaborar o Plano Municipal de Arborização Urbana;**
- **Criar sistema de premiação anual (gradual e proporcional) para pessoas físicas e jurídicas que comprovarem o cumprimento de, pelo menos 10% além do mínimo estabelecido, desde que seja constatada ano a ano a permanência das condições do benefício ambiental.**
- **Criar programas municipais vinculados à educação ambiental para difundir a valorização ambiental como sendo fundamental à qualidade de vida e à capacidade de crescimento e desenvolvimento urbano para que Garanhuns possa trilhar o caminho das Cidades Sustentáveis.**

REFERÊNCIAS

- ABURAS, M. M. Measuring land cover change in Seremban, Malaysia using NDVI index. **Procedia Environmental Sciences**. [S.l.], v. 30, p. 238-243, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615006374>> Acesso em: 15 mai. 2019.
- AGÊNCIA CONDEPE/FIDEM. **BDE – Base de Dados do Estado**. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=289&Cod=3>. Acesso em 02/12/2019.
- AGÊNCIA CONDEPE/FIDEM. **BDE – Base de Dados do Estado**. Disponível em: http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=633&Cod=1 Acesso em: 19/08/2021.
- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, JL de M.; SPAROVEK, Gerd. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, p. 711–728. 2014. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em 17/01/2022.
- ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo César. **VARIABILIDADE, TENDÊNCIA, ANOMALIA E MUDANÇA CLIMÁTICA**. Material didático para uso exclusivo na disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola Departamento de Engenharia de Biosistemas - setor de Agrometeorologia - ESALQ/USP, 2010. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/Variabilidade_e_mudanca_climatica.pdf Acesso: Fevereiro/2022.
- APOLLARO, C.; ALVIM, A. Estratégias e desafios do planejamento urbano para a adaptação de cidades frente à mudança climática. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 13, n. 6, 15 dez. 2017. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/663>. Acesso em: 06/02/2022.
- ASSIS, Janaina Maria Oliveira de; CALADO, Ludmilla de Oliveira; SOUZA, Werônica Meira de; SOBRAL, Maria do Carmo. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco–PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 05, p. 858-869, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/viewFile/233337/27109>. Acesso em: 06/02/2022.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- AZAMBUJA, Renata Nunes; DE BARROS CORRÊA, Antonio Carlos. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de Garanhuns-PE: uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. **Geo UERJ**, n. 27, p. 202-233, 2015.
DOI:<https://doi.org/10.12957/geouerj.2015.16739> Disponível em: <<https://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/16739>> Acesso em: 23 mai. 2019.

BARBOSA, V. V.; SOUZA, W. M.; GALVÍNIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Analysis of climate variability in the city of Garanhuns, Pernambuco - Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 353-367, 2016.

BERGAMINI JÚNIOR, S. Contabilidade e risco ambientais. **Revista do BNDES**, 6(11), 1999. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/17021>>. Acesso em: set. 2020.

BERNARDY, Rógis Juárez. O Planejamento Urbano de pequenos municípios com base no Plano Diretor. **Desenvolvimento em Questão**. ano 11, n. 22, p.4-34, jan./abr., 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/752/75225787002.pdf>. Acesso em: 06/02/2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria Nº 660, de 14 de novembro de 2018. Brasília: Diário Oficial da União, 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803. Acessado em: 18/11/2021.

BRASIL. Ministério da Economia. **Boletim Mensal sobre os Subsídios da União – Programa Minha Casa Minha Vida**, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/boletim-subsidios/arquivos/2019/boletim-mensal-sobre-os-subsidios-da-uniao-2013-programa-minha-casa-minha-vida-edicao-10.pdf/view>>. Acesso em: set. 2020.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Revista Estudos Avançados**, 24(68), 53-68, 2010. DOI: [10.1590/S0103-40142010000100007](https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100007)

CAVALCANTI, C. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente & Sociedade**, 7(1), 149-56, 2004. DOI : [10.1590/S1414-753X2004000100009](https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000100009)

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Manual de arborização**, 2011. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/Manual_Arborizacao_Cemig_Biodiversitas.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

CHANG, M. **La economía ambiental**. In: En G. Foladori y N. Pierri (coords.). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa, p. 175-188, 2005.

CHAVES, Ana Maria Severo. **Indicadores de qualidade ambiental de áreas verdes públicas da cidade de Garanhuns-PE**, 2017, 167 f. Dissertação (Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. **Sistemas dinâmicos: A abordagem da Teoria do Caos e da geometria fractal em Geografia**. In: VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. (org.) Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2004.

CIDADE – BRASIL. **Município de Garanhuns**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-garanhuns.html>. Acesso em: 07/11/2021.

CIDADE – BRASIL. **Município de Garanhuns**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-garanhuns.html>. Acesso em: 06/01/2022.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA. **Dados fornecidos pela Coordenação Técnica de Engenharia do Agreste Meridional**, 2022.

CORDEIRO, Ana Paula Assumpção; BERLATO, Moacir Antônio; FONTANA, Denise Cybis; DE MELO, Ricardo Wanke; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; FIOR, Claudimar Sidnei. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.27, n. 3, p. 883-896, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/185150>> Acesso em: 15 mai. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WCDMP. **Data Climate**. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, 2009. Disponível em: <https://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?DOI=10.1.1.309.3512&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 04/02/2022.

BRAGA, M. C. A.; ALVES, M. A. Planejamento urbano e governança: realidade e desafios para a expansão urbana. SIIU - **Seminário Internacional de Investigación en Urbanismo 12** (2020). DOI: <https://doi.org/10.5821/siiu.9924>. Disponível em: <https://revistes.upc.edu/index.php/SIIU/article/view/9924>. Acesso em: 10/02/2022.

DE LIRA, Vanda Maria, OLIVEIRA, Francisca Magnólia de; DANTAS, Renilson Targino; SOUZA, Werônica Meira de. **Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco**, 2006. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Alter%C3%A7%C3%B5es+da+precipita%C3%A7%C3%A3o+em+munic%C3%ADpios+do+Estado+de+Pernambuco&btnG=Acesso:10/02/2022.

DE MELLO, Maria Angélica Rodrigues; MARTINS, Nathalia; NETO, João Lima Sant'anna. A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano. **Revista Brasileira de Climatologia 5**, 2017. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13525> Acesso em: 30/11/2022.

DE MELO, Felipe Pessoa; DE ALMEIDA, José Antônio Pacheco. Análise temporal do crescimento do sítio urbano de Garanhuns-PE e suas consequências ambientais. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=An%C3%A1lise+temporal+do+crescimento+do+s%C3%ADtio+urbano+de+Garanhuns-PE+e+suas+consequ%C3%Aancias+ambientais&btnG=Acesso:10/04/2022

DE OLIVEIRA SANTOS, Flávia; DOS SANTOS PIMENTEL, Marilene Rodrigues. Edificações e conforto térmico: a moradia como fonte de aprendizagem. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 44, 2012, pp. 265-285.

DIAS, M. A. F. da S. Eventos Climáticos Extremos. **Revista USP**, (103), 33-40, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99178/97654>. Acesso em: 10/02/2022.

DULLEY, R. D. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agricultura em São Paulo**, 51(2), 15-26, 2004. Disponível em: <<http://www.ifcursos.com.br/sistema/admin/arquivos/06-51-38-artigo0nocoesda naturezaeambiente.pdf>>. Acesso em: ago. 2020.

FREITAS, Ruskin. **Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FREITAS, Ruskin Fernandes Marinho de; AZERÊDO, Jaucele de Fátima Ferreira Alves de; CARVALHO, Laís Teixeira de; COSTA, Renato Freitas da. "**Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano.**" *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, n. 23 (2021). Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeur/a/LPKGdVWMNLbqzkFLyxKfhq/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06/02/2022.

GALDINO, C. A. B.; Santos, E. M. D.; Pinheiro, J. I.; Marques Júnior, S.; Ramos, R. E. B. Passivo ambiental: revisão teórica de custos na indústria do petróleo. *Producttion*, 14(1), 54-63, 2004. DOI :[10.1590/S0103-65132004000100006](https://doi.org/10.1590/S0103-65132004000100006). Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/prod/a/FY9ZMrkpzxsxqggcpbvgMFw/?format=pdf&lang=pt> Acesso: Setembro/2021

GARANHUNS. Lei Municipal Nº 3.620/2008. Garanhuns: Diário Oficial dos Municípios de Pernambuco, 2008.

GARANHUNS. Lei Municipal Nº 4.224/2015. Garanhuns: Diário Oficial dos Municípios de Pernambuco, 2015.

GARANHUNS. Lei Municipal Nº 4.397/2017. GARANHUNS: Diário Oficial dos Municípios de Pernambuco, 2017.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación.** Madrid: Editorial síntesis S. A., 1985.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIDDENS, Anthony. **A política da Mudança Climática.** [Apresentação à edição brasileira: Sérgio Besserman Vianna] Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

GILL, T.M.; FEINSTEIN, Alvan R. . A Critical Appraisal of the Quality of Quality-of-Life Measurements. *JAMA*. 1994;272(8):619–626. DOI:10.1001/jama.1994.03520080061045. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/378367> Acesso: Setembro/2021.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). In: **Caminhos de Geografia** - revista on line. 7(10)94-106, set/2003. Disponível em:

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57475582/ARTIGO_ARBORIZACAO_EM_PRAÇAS_1-with-cover-page-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57475582/ARTIGO_ARBORIZACAO_EM_PRAÇAS_1-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644543776&Signature=cYKG3utLsYZDqCtCfxVYZAKC7Uwg2OF3Ve7dmzj9qHBhJEDXgpKQ1oClxTLguNLU~5nj60SYKjJEPJ~macWTx8~pWzY0nH1ShKBkMS7C9MIPRxiB5YOjhLXUAIXhSapn2~1pcD6UOnlyCbqj-ZFEyV6cR7mcjE7~LpF5mmD3CFY09hdSagVwfqM7MZQxs79ZIfUuk84KscShpgVS9tNULUn2hx6BGPdZmfxoSsbrlHuDPzXlp8Arq6Ywbb3byTgxOQd3iPvx-0LJfkaihq6auuH6D07cCNMI~wz1Zg7jJNJFcf1aOWJ00XU0pRfCVQPJEw8K23pRzAMUEHyp8Qska__&ey-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[v2.pdf?Expires=1644543776&Signature=cYKG3utLsYZDqCtCfxVYZAKC7Uwg2OF3Ve7dmzj9qHBhJEDXgpKQ1oClxTLguNLU~5nj60SYKjJEPJ~macWTx8~pWzY0nH1ShKBkMS7C9MIPRxiB5YOjhLXUAIXhSapn2~1pcD6UOnlyCbqj-ZFEyV6cR7mcjE7~LpF5mmD3CFY09hdSagVwfqM7MZQxs79ZIfUuk84KscShpgVS9tNULUn2hx6BGPdZmfxoSsbrlHuDPzXlp8Arq6Ywbb3byTgxOQd3iPvx-0LJfkaihq6auuH6D07cCNMI~wz1Zg7jJNJFcf1aOWJ00XU0pRfCVQPJEw8K23pRzAMUEHyp8Qska__&ey-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57475582/ARTIGO_ARBORIZACAO_EM_PRAÇAS_1-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644543776&Signature=cYKG3utLsYZDqCtCfxVYZAKC7Uwg2OF3Ve7dmzj9qHBhJEDXgpKQ1oClxTLguNLU~5nj60SYKjJEPJ~macWTx8~pWzY0nH1ShKBkMS7C9MIPRxiB5YOjhLXUAIXhSapn2~1pcD6UOnlyCbqj-ZFEyV6cR7mcjE7~LpF5mmD3CFY09hdSagVwfqM7MZQxs79ZIfUuk84KscShpgVS9tNULUn2hx6BGPdZmfxoSsbrlHuDPzXlp8Arq6Ywbb3byTgxOQd3iPvx-0LJfkaihq6auuH6D07cCNMI~wz1Zg7jJNJFcf1aOWJ00XU0pRfCVQPJEw8K23pRzAMUEHyp8Qska__&ey-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA) Acesso: Setembro/2021

GOOGLE EARTH PRO. Imagens de satélite, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/garanhuns.html>>. Acesso em 02/12/2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 21/12/2013.

KARL, T.; NICHOLLS, N.; GREGORY, J. The Coming Climate. **Scientific American**, v. 276, p. 54-59, 1997. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/24993744>. Acesso em: 08/02/2022.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda.; Belo Horizonte: Editora UFMG. 1999.

LEMO, Maria Fernanda Rodrigues Campos. **Adaptação de Cidades para a Mudança Climática**. Uma metodologia de análise para os planos diretores municipais. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LEVIN Kelly; WASKOW, David; GERHOLDT, Rhys. **Mudanças climáticas alarmantes: veja 5 grandes resultados do relatório do IPCC**, 09.08.2021. Disponível em: https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/ipcc-relatorio-mudancas-climaticas-2021?gclid=Cj0KCQiA3fiPBhCCARIsAFQ8QzUax_UA5greEwxLy_kpzRAMnGDun5Sp9LPlqoZWPI8T2XBS7WHiQTwaAtXsEALw_wcB Acessado em: 05/02/2022.

LIMA, Luana Pereira; ARAÚJO, Hélio Mário de. **Influência climática de áreas verdes urbanas na cidade de Aracaju-SE**. Trabalho apresentado no XII SBCG - Variabilidade E Susceptibilidade Climática: Implicações Ecosistêmicas E Sociais De 25 A 29 De Outubro De 2016, Goiânia (Go)/UFG. Disponível em: [http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(60\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(60).pdf). Acessado em 16/05/2019.

LOPES, Wilza Gomes Reis; LIMA, Antônia Jesuita de; SILVA VIANA, Bartira Araújo da; RODRIGUES NETO, Edmundo Ximenes; NOGUEIRA, Rochelle Hermenegilda Nunes. Reflexões sobre o Plano Diretor como instrumento de gestão em municípios brasileiros. **Geo UERJ** 30: 145-168, 2017.

LOUREIRO, Renata Silva de; SARAIVA, Jaci Maria SaraivaIvan; SENNA, Renato Cruz; FREDÓ, Amne Sampaio. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 29, n. spe, p. 83-94, Dec. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862014000500009&lng=en&nrm=iso>. Acesso: 29 Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130054>.

MARTINS, Rafael D'Almeida; FERREIRA, Leila da Costa. Uma revisão crítica sobre cidades e mudança climática: vinho velho em garrafa nova ou um novo paradigma de ação para a governança local? **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3, p. 611-641, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/xFczn4Gyk5m3YjVMPjnPNCR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 08/02/2022.

MASCARÓ, Juan Luís (Org.). **Sustentabilidade em urbanizações de pequeno porte**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2010.

MASCARÓ, Lúcia; MASCARÓ, Juan Luís. **Vegetação urbana**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2015.

MELO, F. P; SOUZA, R. M. Mapeamento geomorfológico da fragilidade ambiental do sítio urbano de Garanhuns - PE. **Revista Nativa**, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Universitário de Sinop, v. 3, n. 4, p. 263-267, 2015. DOI: 10.31413/nativa.v3i4.2191 Disponível em: <<http://www.periodicoscientificos.ufmt.br/>> Acesso em: 08 nov. 2016.

MENDONÇA, F. **Clima e Planejamento urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do campo termo-higrométrico**. In: MONTEIRO, C.A.F; MENDONÇA, F. *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003, p.93-120.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU Brasil. **17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS da Agenda 2030**, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 07/02/2022.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **ASTER GDEM v2**. Disponível em: <<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>> Acesso em: 12/10/2016.

NÓBREGA, Ranyére Silva; LEMOS, Thiago Verçosa da Silva. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia (UFPE)** V. 28, No. 1, 2011, pp. 93 – 109. Disponível em <https://www3.ufpe.br/tropoclima/images/pdf/nobrega.pdf>. Acessado em: 16/05/2019.

OLIVEIRA, E. D. Economia verde, economia ecológica e economia ambiental: uma revisão. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, 13(6), 2017. DOI:[10.22292/mas.v13i6.751](https://doi.org/10.22292/mas.v13i6.751) Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/751> Acesso: Setembro/2020.

OLIVEIRA, L. A.; MASCARÓ, J. J. Análise da qualidade de vida urbana sob a ótica dos espaços públicos de lazer. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2007. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3737> Acesso: julho/2020

PEARCE, D.; Turner, R. **Economía delos Recursos Naturales y del MedioAmbiente**. Espanha: Celeste ediciones, 2. ed., 1995.

PEREIRA, Érico Felden; TEIXEIRA, Clarissa Stefani; SANTOS, Anderlei dos. Qualidade de vida: abordagens, conceitos e avaliação. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte** [online]. 2012, v. 26, n. 2 [Acessado 7 Fevereiro 2022] , pp. 241-250. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1807-55092012000200007>>. Epub 03 Jul 2012. ISSN 1981-4690. <https://doi.org/10.1590/S1807-55092012000200007>.

PEREIRA, Maria Luana Torres; SOARES, Maendra Pollinne Arcoverde; SILVA, Emanuel Araújo; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; SOUZA, Werônica Meira de. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 394-402, 2017. Disponível em: <http://journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1452> Acesso: Novembro/2020.

PETERSEN, Jens-Phillip. Energy concepts for self-supplying communities based on local and renewable energy sources: A case study from northern Germany. **Sustainable Cities and**

Society, Volume 26, 2016, Pages 1-8, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670716300671> Acesso: Fevereiro/2022.

PREFEITURA DE GARANHUNS. **Sobre Garanhuns**. Disponível em: <https://garanhuns.pe.gov.br/sobre-garanhuns/>. Acesso em: 02/12/2019.

PROJETEE. Dados Climáticos PROJETEE. Disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=PE+-+Garanhuns&id_cidade=bra_pe_garanhuns.819550_inmet (Dia); http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=PE+-+Garanhuns&id_cidade=bra_pe_garanhuns.819550_inmet (Noite), Acesso: 16/01/2022.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 2ª ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007, 222 p.

RODRIGUEZ, Roberto Sanchez; ÜRGE-VORSATZ, Diana; BARAU, Aliyu Salisu. Sustainable Development Goals and climate change adaptation in cities. **Nature Climate Change** 8, no. 3 (2018): 181-183. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0098-9> Acesso: Fevereiro, 2022.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora UnB, 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. ProEditores Associados, 2013.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288> Acesso: Setembro/2020.

RUIDIAZ-GÓMEZ, K.S.; CACANTE-CABALLERO, J.V. Desenvolvimento histórico do conceito de Qualidade de Vida: uma revisão da literatura. **Rev. cienc. cidade**. [Internet]. 1 de setembro de 2021 [citado em 7 de fevereiro de 2022];18(3):86-99. Disponível em: https://revistas.ufps.edu.co/index.php/cienciay_care/article/view/2539.

SANTOS, F. DE O.; PIMENTEL, M. R. DOS S. Edificações e conforto térmico: a moradia como fonte de aprendizagem. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 44, p. 265–285, 2012.

SANTOS, L. G. **Polítizar as novas tecnologias: o impacto sócio-técnico da informação digital e genética**. São Paulo: Editora 34, 2003.

SCRUGGS, P. **Guidelines for State Level Sustainable Development**. Chapel Hill, NC: Center for Policy Alternatives, 1993.

SIEBERT, Claudia. **Resiliência urbana: planejando as cidades para conviver com fenômenos climáticos extremos**. VI Encontro Nacional da Anppas (2012). Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37991143/resiliencia_urban_a-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644469210&Signature=U1mMyyGqM--G4FUXCBHBpE9waikkLyorJXaHVo5uBRrRIDdkISVdDJKaWJzFxQou9ybQo4YKusZMSCOWTKwOmoycY-ux~0NWbkzK2FMtg4nkG7qmIKK9oiRdQ2RV8OT-LGch7QN5zJQtgXYHWBTOaYpv38WUVjDaUsFkXyb4Wij2fpN0j8ILgwfWy-HTN42w9aApBAPBc5NwV~1UswOdOpAr52ccZ2IE8Fl-yzfY8IuRfObnGqpXumufEoTwqlJpH59OXpIuQ7gXis3GGVZQLKoPNNbFDtvyHDBA-

P9ZvfZYjje3feRzQaZictyzqsP3xVxGcxkMF4wxc6nZnQqEw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em 10/02/2022.

SILVA, Roberto Omena Barbosa da; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; SOUZA, Weronica Meira de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 579-589, May 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000300579&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>.

SOUZA, Werônica Meira de; DE AZEVEDO, Pedro Vieira. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: mudanças climáticas ou variabilidade? **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, 2009. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=avalia%C3%A7%C3%A3o+da+s+tend%C3%A2ncias+das+temperaturas+em+recife+PE%3A+mudan%C3%A7as+clim%C3%A1ticas+ou+variabilidade%3F+&btnG= Acesso: Fevereiro, 2022.

SOUZA, W. M. **Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE**. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pós-graduação em Recursos Naturais. Tese de Doutorado. 2011. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/17020> Acesso em 06/02/2022.

SOARES, A. B; TROLEIS, A. L. A expansão urbana de Garanhuns-PE entre 1811 e 2016 e suas implicações socioambientais. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, Recife, v. 7, n. 1, p. 185-209, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistamseu/article/view/230751> Acesso em: 23 mai. 2019.

SODIQ, Ahmed; AHMER, AB Baloch; KHAN, Shoukat Alim; SEZER, Nurettin; MAHMOUD, Seif; JAMA, Mohamoud; ABDELAAL, Ali. Towards modern sustainable cities: Review of sustainability principles and trends. **Journal of Cleaner Production** 227 (2019): 972-1001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619311837> Acesso: Fevereiro, 2022.

SOUZA, C. A.; GALLARDO, A. L. C. F.; SILVA, E. D. D.; MELLO, Y. C. D.; RIGHI, C. A.; Solera, M. L. Serviços ambientais associados à recuperação de áreas degradadas por mineração: potencial para pagamento de serviços ambientais. **Ambiente & Sociedade**, 19(2), 137-168, 2016. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/317/31746369008.pdf>>. Acesso em: set. 2020.

SPERANDIO, Ana Maria Girotti; BARBOSA, Taynara Letícia; DA SILVA, Maria de Lourdes Batista. Princípios e Valores de um Plano Diretor para uma Cidade Saudável 2nd Line Paper Title/Subtitle. Disponível em: <https://www.acsa-arch.org/proceedings/International%20Proceedings/ACSA.Intl.2021/ACSA.Intl.2021.115.pdf> Acesso em: 04/02/2022.

THOMAS, J. M.; CALLAN, S. J. **Economia ambiental: fundamentos, políticas e aplicações**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

TUCCI, E. C. M. **Modelos hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

ZHANG, Xuebin; YANG, Feng; SANTOS, José Luis. RCLimDex (1.0). Manual del usuario. **Climate Research Branch Environment Canada**. Versión en español: Santos, JL CIIFEN (2004). Disponible en: <http://www.acmad.net/rcc/procedure/RCLimDexUserManual.pdf> Acceso: Setembro/2020.