



INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Fluminense

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

PERSPECTIVAS DE CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS PARA MACAÉ – DUAS APLICAÇÕES

SÉRGIO AUGUSTO DA SILVA TENÓRIO

MACAÉ-RJ

Ano 2022

SÉRGIO AUGUSTO DA SILVA TENÓRIO

PERSPECTIVAS DE CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS PARA MACAÉ – DUAS APLICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador(a): Dr. Marcos Antônio Cruz Moreira

Coorientador(a): Dr. Augusto Eduardo Miranda Pinto

MACAÉ-RJ

Ano 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T312p Tenório, Sérgio Augusto da Silva, 1963-.
Perspectivas de cenários sustentáveis para Macaé - duas aplicações /
Sérgio Augusto da Silva Tenório. — Macaé, RJ, 2022.
xii, 39 f.: il. color.

Orientador: Marcos Antônio Cruz Moreira, 1964-.
Coorientador: Augusto Eduardo Miranda Pinto, 1963-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). — Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2022.

Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e
Inovação.

1. Energia - Fontes alternativas. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3.
Energia eólica. 4. Desenvolvimento urbano sustentável - Macaé (RJ). 5.
Baterias elétricas. I. Moreira, Marcos Antonio Cruz, 1964-, orient. II. Pinto,
Augusto Eduardo Miranda, 1963-, coorient. III. Título.

CDD 621.042

(23. ed.)


Dissertação intitulada **PERSPECTIVAS DE CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS PARA MACAÉ – DUAS APLICAÇÕES**, elaborada por **Sérgio Augusto da Silva Tenório** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense – IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 01/04/2022

Banca Examinadora:



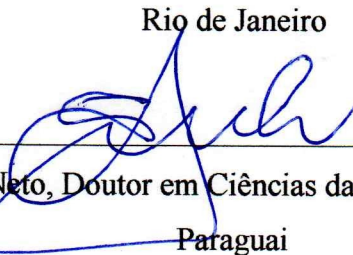
Marcos Antonio Cruz Moreira, Doutor em Engenharia Elétrica / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



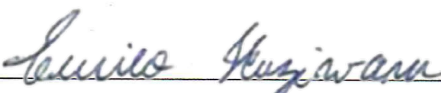
Augusto Eduardo Miranda Pinto, Doutor em Direito da Cidade / Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Co-orientador



Maria Inês Paes Ferreira, Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros - Universidade Federal do Rio de Janeiro



Severino Joaquim Correia Neto, Doutor em Ciências da Educação - Universidad Americana, Paraguai



Eurico Huziwara, Doutor em Produção Vegetal - Universidade Estadual do Norte Fluminense

DEDICATÓRIA

À Solange, minha esposa, e à Malu, minha filha, pela paciência e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio do Instituto Federal Fluminense.

Agradeço ao incentivo dos colegas do IFF.

Agradeço a todos os professores do programa PPEA, pela dedicação ao curso, e pelo compromisso com a educação pública de qualidade.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

LISTA DE FIGURAS

Figuras do Artigo Científico 01	
Figura 01 – Imbetiba, Macaé, RJ.....	05
Figura 02 – Desenvolvimento das linhas de corrente em torno de um edifício.....	06
Figura 03 – Macaé - Rosa dos ventos.....	07
Figura 04 – Micro-gerador eólico.....	07
Figura 05 – Modelagem de uma zona urbana.....	16
Figuras do Artigo Científico 02	
Figura 01 – Posto de recarga para bicicletas elétricas.....	23
Figura 02 – Bicicletário Araribóia, Niterói, RJ.....	23
Figura 03 – Bicicletário Terminal Campo Limpo, distrito de São Paulo, SP.....	24
Figura 04 – Planta de Bicicletários.....	24
Figura 05 – Vista de Bicicletários.....	24
Figura 06 – Vista de Bicicletários.....	25
Figura 07 – Série histórica – Evolução do nº de veículos – Macaé.....	26
Figura 08 – Período de 2010 a 2015 x Período de 2015 a 2019.....	27
Figura 09 – Mapa Cicloviário de Macaé-RJ.....	29
Figura 10 – Circuito Cicloviário Proposto.....	31
Figura 11 – Circuito Cicloviário Proposto – Classificação das Rotas.....	31
Figura 12 – Detalhe do perfil da Faixa Preferencial e ciclovia.....	32
Figura 13 – Detalhe rota ciclável.....	32
Figura 14 – Orientações aos cidadãos.....	33
Figura 15 – Orientações aos cidadãos.....	33
Figura 16 – Macaé. Ciclofaixas, rotas de bicicletas e vias para ciclistas.....	33
Figura 17 – Macaé. Ciclofaixas, rotas de bicicletas e vias para ciclistas.....	34
Figura 18 – Módulo básico.....	36
Figura 19 – Cobertura do módulo básico.....	37
Figura 20 – Bicicleta elétrica.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabelas do Artigo Científico 01	
Tabela 01 - Velocidade do vento, município de Macaé.....	06
Tabela 02 - Microgerador: dados do fabricante.....	07
Tabela 03 – Características x custo x adequação.....	14
Tabela do Artigo Científico 02	
Tabela 1 – População x veículos	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFFluminense – Instituto Federal Fluminense.

PMU – Plano de Mobilidade Urbana de Macaé

APP – Aplicativo, programa de *software* para dispositivos móveis

CFD - Dinâmica de fluidos computacional

MCDA – Classificação de múltiplos critérios

IMUK – Instituto de Meteorologia e Climatologia de Leibniz, Alemanha

LES – Simulações de larga escala

BMBF – Ministério Federal da Educação e Pesquisa da Alemanha

NASA – Agencia Espacial Americana

TIC – Tecnologia de informação e comunicação

ONU – Organização das Nações Unidas

UE – União Européia

ITS – Sistema de transporte inteligente

RAIS – Relação Anual de Informações Sociais

IPER – Informações Para o Sistema Público de Emprego e Renda

SMDU/CPPU – Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento/Comissão de Proteção a Paisagem Urbana, da cidade de São Paulo

CET/SP – Cia de Engenharia de Tráfego da cidade, de São Paulo

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

PERSPECTIVAS DE CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS PARA MACAÉ – DUAS APLICAÇÕES

RESUMO

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar o potencial de iniciativas sustentáveis que se adequem à reformulação urbana do município de Macaé, na Região Norte do estado do Rio de Janeiro, no cenário pós-exploração de petróleo e gás que foi predominante no desenvolvimento do município nos últimos 40 anos. No primeiro artigo, a pesquisa concentrou-se na investigação do potencial eólico para geração de energia em área urbana, a qual apresenta um perfil orográfico bem complexo, devido à ocupação heterogênea dos espaços e à volumetria irregular das construções. Para esse trabalho, foi realizada uma revisão de literatura que analisou diferentes *softwares* que, a partir a simulação gráfica da volumetria das edificações, simulam as condições de vento e indicam locais com potencial para a geração eólica. A pesquisa revelou, ao final desse primeiro estudo, que dois *softwares* apresentavam condições para realizar a análise pretendida, de acordo com as características da área em questão. Já no segundo artigo, o trabalho foi desenvolvido buscando integrar o potencial para geração de energia por fonte fotovoltaica a um sistema de mobilidade urbana que é essencialmente sustentável: o incentivo ao uso de veículos individuais não poluentes, ou seja, bicicletas, que tanto podem ser as convencionais, como as movidas por motores elétricos. Essa integração se dá através das especificações para projeto de construção de bicicletários, para guarda das bicicletas, e para a recarga das baterias dos modelos elétricos.

A escolha por avaliar diferentes fontes renováveis de geração de energia para essa região do estado, e em particular para o município em tela, decorre do fato de que Macaé tem desenvolvido seu planejamento estratégico de forma a modernizar a gestão municipal, garantir a acessibilidade de todos e reduzir os impactos ambientais, iniciativas que constituem o conceito de uma Cidade Inteligente.

Palavras-chave: Energias renováveis. Geração eólica. Geração fotovoltaica. Cidades inteligentes.

PERSPECTIVES OF SUSTAINABLE SCENARIOS FOR MACAÉ – TWO APPLICATIONS

ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the potential of sustainable initiatives that fit the urban reformulation of the municipality of Macaé, in the North Region of the state of Rio de Janeiro in the post-exploration of oil and gas scenario that was predominant in the development of the municipality in the last 40 years. In the first article, the research focused on the investigation of the

wind potential for energy generation in an urban area, which presents a very complex orographic profile, due to the heterogeneous occupation of spaces and the irregular volumetry of the buildings. For this work, a literature review was carried out that analyzed different software that, from the graphic simulation of the volumetry of buildings, simulate wind conditions and indicate locations with potential for wind generation. The research revealed, at the end of this first study, that two software presented conditions to carry out the intended analysis, according to the characteristics of the area in question. In the second article, the work was developed seeking to integrate the potential for energy generation by photovoltaic source to an urban mobility system that is essentially sustainable: encouraging the use of non-polluting individual vehicles, that is, bicycles, which can be conventional ones, such as those powered by electric motors. This integration takes place through the specifications for the construction project of bicycle racks, for storing bicycles, and for recharging the batteries of electric models. The choice to evaluate different renewable sources of energy generation for this region of the state, and in particular for the municipality in question, stems from the fact that Macaé has developed its strategic planning in order to modernize municipal management, guarantee the accessibility of all and reduce environmental impacts, initiatives that constitute the concept of a Smart City.

Keywords: *Renewable energies. Wind generation. Photovoltaic generation. Smart cities.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	ix
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1: ANÁLISE DE SOFTWARES PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO EM AMBIENTE URBANO	03
1. INTRODUÇÃO.....	04
2. METODOLOGIA.....	05
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	08
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	15
6. REFERÊNCIAS.....	16
ARTIGO CIENTÍFICO 2: CIDADES INTELIGENTES E MOBILIDADE INTELIGENTE	18
UMA PROPOSTA PARA A MOBILIDADE URBANA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ	
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. METODOLOGIA.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
3.1. A MOBILIDADE URBANA EM MACAÉ	25
3.2. ESPECIFICAÇÕES PARA PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE BICICLETÁRIOS ABASTECIDOS COM ENERGIA SOLAR.....	34
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
5. REFERÊNCIAS.....	39
CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO.....	41

APRESENTAÇÃO

Esse trabalho teve início no ano de 2020 com a finalidade de explorar a geração de energia elétrica por fontes renováveis, em um ambiente que normalmente não é visto como adequado para esse fim: as cidades, o espaço urbano. A primeira fonte de geração de energia analisada foi a eólica, o que parecia ser bastante desafiador, considerando a natureza caótica das cidades quanto a uniformidade de relevo, fator que na geração eólica é tido como importante para a manutenção do fluxo contínuo dos ventos, condição apropriada para gerar energia. Porém, a pesquisa revelou que determinadas condições relativas entre as edificações, poderiam canalizar os ventos e aumentar sua velocidade, proporcionando a geração de energia, ao contrário de outras combinações onde o fluxo é bloqueado. Para conseguir perceber todas essas condições, é necessário fazer uma modelagem tridimensional do ambiente de estudo, utilizar dados relativos aos ventos predominantes na região, e fazer uma simulação em um ambiente digital, utilizando *softwares* específicos para esse fim. Assim, foram analisados diferentes *softwares* quanto a sua adequação à realidade do município de Macaé: área litorânea, com um perfil horizontal, predominantemente. Dois desses programas se mostraram mais adequados: ENVI-met e Palm. Esse trabalho foi publicado sob a forma de artigo científico no 18º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, realizado de 21 a 23 de setembro de 2021, na modalidade *on-line*.

Para a continuação da pesquisa, seriam necessários levantamentos a serem realizados por trabalhos de campo, com visitas *in loco* para medições e observação das construções localizadas na área de recorte, a fim de determinar a volumetria e as posições relativas entre as construções. Em seguida, seriam elaborados modelos tridimensionais, a serem utilizados junto com os dados relativos ao regime dos ventos da região, para simular as condições e fazer as verificações das áreas viáveis para produção de energia eólica. Porém, esses levantamentos foram inviabilizados em função das restrições de acesso impostas pela pandemia da COVID-19, o que determinou uma mudança no planejamento da pesquisa.

Um vez que seria difícil dar continuidade a pesquisa inicial, em função dos protocolos de segurança sanitária, buscou-se uma nova linha de trabalho, contudo, sem alterar seu caráter principal: a sustentabilidade. A mobilidade urbana inteligente, dentro do conceito de Cidades Inteligentes, surgiu como opção, na forma de uma contribuição a um programa do município já em curso, conhecido como Plano de Mobilidade Urbana de Macaé (PMU), que entre outras propostas, incentiva o uso de bicicletas como solução de transporte individual, através de uma rede de vias dedicadas a esse tipo de veículo, prevendo a ampliação e a integração de diversas rotas, além da

construção de pontos de guarda (bicicletários). Após a realização do 1º Seminário de Mobilidade Urbana de Macaé, em 2021, ficou definido que o projeto produziria uma contribuição à mobilidade urbana, com ênfase na utilização de energia elétrica gerada por fontes renováveis, dentro do conceito de Cidades Inteligentes. O novo projeto de pesquisa produziu especificações para equipamentos urbanos que estimulem o uso do transporte individual não motorizado, ou ainda, movido por energia elétrica gerada por fonte fotovoltaica, e mostrou-se bem adequado às circunstâncias atuais, pelo alcance social e ambiental, e por estimular uma prática saudável de deslocamento viário, de baixo custo, com a geração de energia renovável, trazendo benefícios a um número maior de pessoas. Também é inovador, na medida em que visa ampliar o alcance do PMU, incluindo as bicicletas elétricas que, recarregadas através de fontes renováveis, têm caráter sustentável. Outra iniciativa importante é o programa MACAÉ 2030: FUTUROS CENÁRIOS PARA A MACAÉ ALÉM DO PETRÓLEO (2022), no qual o Observatório da Cidade de Macaé, da Secretaria Adjunta de Ensino Superior/Secretaria de Educação da Prefeitura de Macaé, convida profissionais de diferentes áreas a participar com trabalhos científicos que considerem as possibilidades estratégicas para o futuro do município. Dessa maneira, Macaé tem desenvolvido todas as condições para tornar-se um modelo de Cidade Inteligente, sustentável.

ARTIGO CIENTÍFICO 1¹

ANÁLISE DE SOFTWARES PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL EÓLICO EM AMBIENTE URBANO

SOFTWARE ANALYSIS FOR EVALUATION OF WIND POTENTIAL IN URBAN ENVIRONMENT

Sérgio Augusto da Silva Tenório - IFFluminense/PPEA

Marcos Antônio Cruz Moreira - IFFluminense/PPEA

Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

Para calcular o potencial eólico para geração de energia, em uma paisagem urbana, é possível o uso de *softwares* que simulam a interação do perfil urbano com os ventos disponíveis na região. Assim, pode-se determinar a viabilidade econômica na instalação de aerogeradores em cidades. Este artigo tem como objetivo analisar alguns *softwares*, de acordo com a sua capacidade e limitações. Foram revisados trabalhos de pesquisa que utilizaram essas ferramentas para determinação do potencial eólico. O objetivo principal desse artigo é identificar a capacidade desses *softwares* para o cálculo de potencial eólico em regiões urbanas costeiras, em especial na cidade de Macaé, RJ.

Palavras Chave: ENVI-met, Promethee-Gaia, Palm, RETScreen e Rhinoceros..

ABSTRACT

To calculate the wind potential for energy generation in an urban landscape, it is possible to use software that simulates the interaction of the urban profile with the winds available in the region. Thus, it is possible to determine the economic viability of installing wind turbines in cities. This article aims to analyze some software, according to its capacity and limitations. Research papers that used these tools to determine wind potential were reviewed. The main objective of this article is

¹ Trabalho apresentado no 18° Congresso Nacional de Meio Ambiente, publicado nos anais Vol 13 n1 2021
<<http://www.meioambientepocos.com.br/anais2021.html>>

to identify the capacity of these softwares for the calculation of wind potential in urban coastal regions, especially in the city of Macaé, RJ.

Keywords: *ENVI-met, Promethee-Gaia, Palm, RETScreen e Rhinoceros.*

1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica aumenta em todo o planeta, na medida em que seus habitantes adquirem novos hábitos de consumo, superando a chamada pobreza energética, que se constitui pela falta de serviços energéticos adequados, acessíveis e confiáveis, ou seja, tudo que compromete o conceito de desenvolvimento sustentável (SOUSA, 2011). É um fenômeno explicado pela globalização da economia, pela expansão das redes de comunicação, e pelo aumento do poder aquisitivo. Cada vez mais gente precisa de mais energia. E, se a forma de produzir energia não for renovável, compromete o capital natural, significa que recursos naturais podem ser degradados, e seus estoques comprometidos (DAILY, 1991). O uso de fontes renováveis para geração de energia, há muito deixou de ser apenas politicamente correto, para ser considerado, hoje em dia, economicamente desejável e necessário. A produção de energia por Geração Distribuída (GD), em especial aquela com origem em fontes renováveis, vem apresentando um crescimento em muitos países. Por sua própria natureza, o papel da GD é mais eficaz quanto mais próxima do consumidor, por questões relativas ao gerenciamento de redes de distribuição, uma vez que a geração de energia elétrica a partir de fontes intermitentes como a energia eólica e a solar apresenta variações importantes, em momentos diferentes do dia (DESTER et al, 2012). As cidades são grandes consumidoras de energia elétrica, oferecendo aos habitantes, conforto e comodidades. Aumentando a capacidade de Geração Distribuída de energia em meio aos centros urbanos, reduzimos a necessidade de investimento na ampliação da capacidade instalada de grandes usinas, construídas geralmente longe das cidades, e no reforço às redes de transmissão (BAJAY et al, 2018).

Dentre as formas de geração de energia por fontes renováveis, adequadas ao meio urbano, destacam-se a eólica e a fotovoltaica. A geração por fonte solar tem uma grande difusão em áreas urbanas do Brasil, em função dos níveis elevados de irradiação solar no território brasileiro. Por outro lado, a geração eólica em cidades brasileiras ainda não é explorada. Em parte, isso se explica pelo sucesso da geração, em grande escala, nos parques eólicos instalados em vários pontos do litoral brasileiro. Porém, há um potencial a ser explorado nas cidades, sobretudo naquelas que reúnem

condições geográficas e meteorológicas favoráveis. O desenho urbano é, na maioria das situações, complexo e irregular, com variações de forma e na disposição dos volumes construídos, causando interrupção no fluxo do vento, turbulências e desvios de trajetória. Segundo Batty (2013, apud DETONI et al, 2017) atualmente a forma de modelar uma área urbana tem recebido o auxílio de sistemas de computação de dados, através de ferramentas digitais que podem reproduzir o passado, representar o presente, e antever o futuro das cidades, como apoio a planejadores e pesquisadores, unindo teoria e prática. Há uma tendência de se tratar o ambiente urbano e seu planejamento, inclusive energético, utilizando-se recursos de *software* que serão revisados como objetivo desse artigo.

2. METODOLOGIA

A questão inicial foi como avaliar a existência de potencial de geração energética por fonte eólica em ambiente urbano. A pesquisa em periódicos mostrou que isso é possível através da simulação do ambiente urbano, com o uso de *softwares*.

No início do estudo, uma pesquisa sobre os diferentes tipos de *softwares* que pudessem auxiliar na análise do potencial de geração de energia, preferencialmente de fontes renováveis, foi realizada nas bases de dados do Portal de Periódicos da Capes. A partir dos resultados iniciais, foram selecionados os *softwares* que utilizaram fontes eólicas, e nos quais as condições geográficas fossem semelhantes às da área de estudo, uma região delimitada na área urbana da cidade de Macaé.

A região de estudo é uma parte do bairro da Imbetiba, no município de Macaé (Figura 01). O recorte visa caracterizar uma área urbana, com sua complexidade de formas e de ocupação. A identificação dos volumes e sua interação demandam um levantamento detalhado e indispensável para a avaliação criteriosa das condições de viabilidade. Um exemplo das interações dos fluxos de vento com a paisagem urbana pode ser observado na Figura 02.



Figura 01 - Imbetiba, Macaé, RJ. Fonte: Google Earth, 2019.

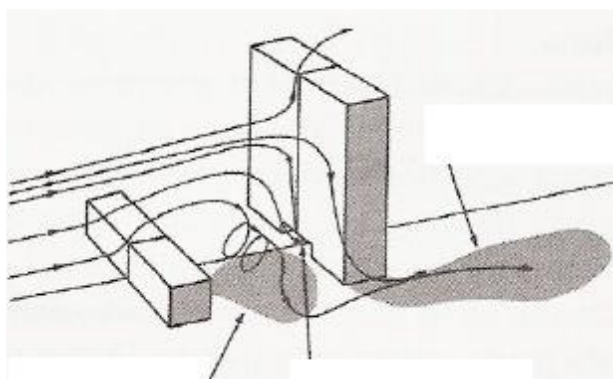


Figura 02 - Desenvolvimento das linhas de corrente em torno de um edifício. Fonte: Estanqueiro, 2010.

A velocidade do vento aumenta de em função da altura, o que está relacionado à rugosidade do solo. Próximo à superfície, a velocidade dos ventos é diminuída pela rugosidade. (Martins *et al.*, 2008). Variações na velocidade dos ventos podem ser observadas conforme a altura aumenta, como pode ser observado na Tabela 01.

Velocidade média mensal do vento em níveis de monitoramento ($m\ s^{-1}$)					
Mês/Ano	25 m	15 m	12 m	6 m	3 m
Setembro/2009	4,11	3,56	3,31	-	-
Outubro/2009	3,93	3,44	3,18	-	-
Novembro/2009	4,43	3,95	3,77	-	-
Dezembro/2009	3,63	3,11	2,92	-	-
Janeiro/2010	4,93	4,45	4,29	3,55	2,93
Fevereiro/2010	4,70	4,20	4,04	3,32	2,76
Março/2010	3,31	2,85	2,71	2,23	1,86
Abril/2010	3,31	2,81	2,63	2,12	1,76
Maior/2010	3,29	2,73	2,53	1,96	1,63
Junho/2010	3,28	2,75	2,56	1,99	1,67
Julho/2010	4,07	3,57	3,41	2,72	2,25
Agosto/2010	4,34	3,80	3,63	2,86	2,38
Setembro/2010	4,84	4,37	4,22	3,41	2,84
Outubro/2010	4,43	3,93	3,77	3,03	2,56
Novembro/2010	3,87	3,27	3,15	2,56	2,15
Dezembro/2010	3,84	3,36	3,20	2,60	2,18
Janeiro/2011	4,53	4,05	3,91	3,17	2,58
Fevereiro/2011	4,82	4,36	4,23	3,46	2,87
Março/2011	3,47	2,88	2,74	2,18	1,82
Abril/2011	4,06	3,35	3,20	2,52	2,02
Maior/2011	3,20	2,61	2,45	1,83	1,50
Junho/2011	3,55	2,98	2,82	2,16	1,78
Julho/2011	4,09	3,52	3,36	2,67	2,19
Agosto/2011	4,38	3,81	3,64	2,89	2,41
Média	4,02	3,49	3,32	2,23	1,85

Tabela 01 - Velocidade do vento, município de Macaé. Fonte: Aguietas, 2011.

Os ventos têm sua variação de acordo com a altitude (Figura 03), na região do município de Macaé.

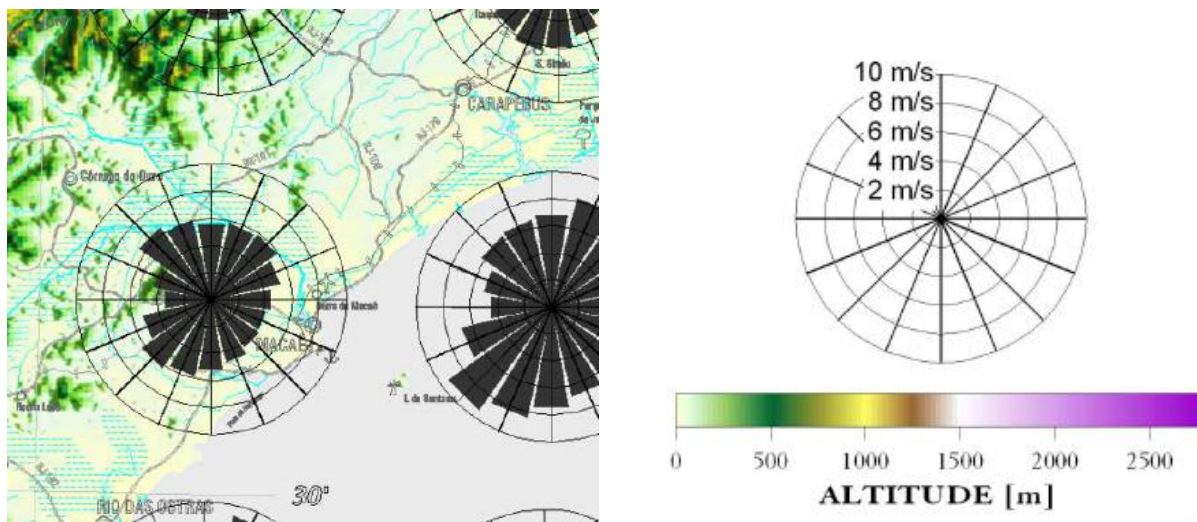


Figura 03 - Macaé - Rosa dos ventos. Fonte: Atlas eólico do RJ, 2002.

O microgerador eólico (Tabela 02 e Figura 04) produz energia com velocidades menores de vento, e em zonas de maior turbulência, sendo por isso adequado à utilização por pequenos consumidores urbanos, como condomínios.

Item	FS-V-400	FS-V-500	FS-V-600
Velocidade do vento iniciada (m/s)	1.3 m/s	1.3 m/s	1.3 m/s
Velocidade do vento de corte (m/s)	2.3 m/s	2.3 m/s	2.3 m/s
Velocidade nominal do vento (m/s)	12 m/s	12 m/s	12 m/s
Tensão nominal (dc)	12/24V	12/24V	12 m/s
Potência nominal (w)	400W	500W	600W
Potência máxima (w)	450W	550W	650W
Diâmetro do rotor das lâminas (m)	0.52		
Altura das lâminas (m)	1.05 (sem gerador)		1.3 (sem gerador)
	1.17 (incluir gerador e flange)		1.42 (incluir gerador e flange)
Velocidade segura do vento (m/s)	Velocidade máxima do vento: 40 40 m/s, a velocidade máxima instantânea do vento 45 m/s		
Quantidade de lâminas	2		
Material da lâmina	Vidro/basalto		
Gerador	Motor de suspensão de ímã permanente trifásico		
Sistema de controle	Eletroimã		
Altura da montagem (m)	7 12 12m (9m)		

Tabela 02 – Microgerador: dados do fabricante.



Figura 04 – Micro-gerador eólico.

Fonte: AMG Co. Ltd, 2020.

Como resultado, destacaram-se os termos: ENVI-met, Promethee-Gaia, Palm, RETScreen e Rhinoceros.

A partir desses mesmos termos, uma nova pesquisa foi gerada utilizando as palavras-chave: ENVI-met, Promethee-Gaia, Palm, RETScreen e Rhinoceros. Os resultados de desempenho dos *softwares* foram comparados, indicando quais são mais adequados ao uso na região de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na pesquisa, encontramos vários *softwares* que se propunham a auxiliar na aquisição de dados, relativos a avaliação das condições ideais para produção de energia através de fontes renováveis, em ambientes urbanos.

Software: ENVI-met

ENVI-met é um *software* alemão, que pode simular climas em ambientes urbanos e avaliar os efeitos da atmosfera, vegetação, arquitetura e materiais. Padrões de vento em ambientes complexos. Velocidade do vento em torno de edifícios e árvores. Movimento do ar nas proximidades de um sólido. Custo da licença entre 290 € (estudantes de graduação/pós) e 990€ (universidades) (ENVI-met GmbH, 2020).

Segundo Ku & Tsai (2020), a dinâmica de fluidos computacional (CFD) tornou-se uma das principais ferramentas para análise de campos de vento devido ao aprimoramento da capacidade do computador e da precisão computacional, bem como à recente popularização de aplicativos de *software* relacionados. Ao realizar uma simulação CFD de um campo de vento urbano, um modelo de morfologia urbana ou um modelo de estrutura de edifício deve ser estabelecido como a primeira etapa, seguido pelo estabelecimento de condições de contorno e entrada de parâmetros atmosféricos e, em seguida, por simulação de campo de vento. Comparado com medições reais e experimentos em túnel de vento, o método CFD é operacionalmente barato. *Software* ENVI-met foi usado no estudo feito na cidade de Taoyuan no noroeste da ilha Formosa, para realizar a simulação CFD. Este *software* fornece módulos integrados para permitir computação de alta eficiência. Este estudo foi concentrado na geometria urbana e campo de vento, entretanto, havia uma variedade de tipos de uso da terra na região de estudo, incluindo lagoas agrícolas, parques e espaços verdes, e terras agrícolas. Tudo isso pôde ser bem distinguido e tratado de forma adequada pelo ENVI-met na simulação, de forma que os resultados reflitam o microclima geral.

Através do estudo de simulação comparativa do microclima de cinco áreas residenciais em Luoyang City, China, Wang et al (2019) utilizando o ENVI-met, comparou que as velocidades simuladas, embora apresentassem flutuações, estavam próximas das velocidades medidas. Constatou que a condição dos ventos nos bairros residenciais era complexa, com o desenho dos edifícios

influenciando a velocidade e a direção do vento. Observou que a área de maior velocidade dos ventos estava localizada nos cantos voltados para o vento. E que o fluxo do vento ao longo de uma linha longitudinal das construções é uma vez e meia mais rápido do que a velocidade média do vento. Concluiu que o aumento da altura média dos edifícios e o aumento da densidade de edifícios altos levaram a um aumento na velocidade do vento na vizinhança de edifícios.

Usando o *software* ENVI-met, Bouchahm et al (2008) pode de avaliar o efeito do desenho dos edifícios no vento e na ventilação natural, em uma área residencial, situada na cidade de Jijel, região litorânea da Argélia. Observou como a geometria dos edifícios, e suas disposições sobre o plano do solo, afeta o fluxo do vento em climas úmidos. Após realizar vários testes de simulação foram identificadas algumas restrições ao modelo Envi-met, que podem limitar o trabalho: o *software* considera uma única direção do vento durante a simulação, quando de fato; a direção do vento está mudando constantemente, mesmo se houver um vento dominante, especialmente nas áreas costeiras. A velocidade da simulação em um local torna-se difícil quando o vento é fortemente influenciado pelo clima local: uma área costeira, por exemplo, é fortemente influenciado pelas brisas do mar que resultam em mudanças significativas na velocidade e direção. Porém, não leva em consideração o efeito da altitude; o caso estudado têm altitudes diferentes.

De acordo com Chen (2016), as condições de vento e térmicas podem ser estimadas dentro de áreas urbanas usando ENVI-met e Wind Perfect, com base em dados meteorológicos iniciais. Mas as condições dos ventos são difíceis de determinar devido a turbulência, na camada limite. Para estimar um microclima sem realizar medições na cidade de Tainan, uma cidade na costa sudoeste de Taiwan, o estudo utilizou o modelo SkyHelios, que estima a distribuição espacial das condições do vento, velocidade e direção. SkyHelios é uma ferramenta para climatologia aplicada, que calcula o fator de visão contínua do céu em alta resolução espacial e temporal usando o processador gráfico. O modelo SkyHelios estima o comprimento da rugosidade local com base em dados de construção. Portanto, este método pode ser considerado para calcular a distribuição espacial de velocidade dos ventos para toda a área de interesse. Como as velocidades dos ventos e sua direção em áreas urbanas são principalmente influenciados pela orientação das ruas e pela distribuição dos edifícios, modelos como SkyHelios, que fornecem dados em alta resolução espacial (até 1 m²), devem ser usados na estimativa das condições do vento urbano em micro-escala.

Neste estudo, realizado em Erzurum, Turquia, Yilmaz et al (2018), realizou medições externas de parâmetros meteorológicos como umidade, temperatura, velocidade e direção do vento, para medições de 24 horas. O modelo em microescala ENVI-met foi realizado para avaliar cenários alternativos de conforto térmico para inverno e verão, para ambientes urbanos. Cenários como: jardim botânico, área industrial automobilística, centro da cidade e área rural aberta. Em geral, pode-

se dizer que arborização em regiões de clima frio oferece grandes vantagens tanto para o verão quanto para o inverno e afeta positivamente o conforto térmico, em áreas externas.

Software: PROMETHEE – GAIA

O método Promethee foi desenvolvido por Jean-Pierre Brans. É um método de classificação de múltiplos critérios (MCDA), que seleciona ou organiza alternativas que podem entrar em conflito umas com as outras em campos diferentes. As versões I e II permitem a ordenação parcial. *Software* livre.

Barragán, A. E. et al (2018), utilizaram as versões Promethee I, II e Gaia em pesquisa realizada, na cidade de Cuenca, no Equador, para selecionar as opções mais adequadas para a promoção de energias renováveis nessa cidade. Segundo os autores, o método de análise de decisão de múltiplos critérios (MCDA) foi aplicado nesta pesquisa, por ser uma ferramenta útil para a tomada de decisão, pois ajuda a organizar e sintetizar informações para identificar as alternativas mais adequadas. O método é amplamente utilizado para selecionar tecnologias ou cenários de energia. Ele permite que alternativas sejam classificadas. Informações úteis para tomadores de decisão podem ser obtidas. Podem ser usados critérios qualitativos e quantitativos. O método é transparente e fácil de entender. O *software* livre está disponível para uso amplo. Em relação à questão técnica, as tecnologias de gás de aterro e fotovoltaica foram as mais preferidas, e a incineração e a energia eólica foram as menos preferidas. A tecnologia eólica é principalmente aplicável em ambientes rurais e em escalas comerciais. No entanto, para sua implantação em massa, requer mais progresso tecnológico para uso em ambientes urbanos (MILLWARD-HOPKINS et al., 2013, apud BARRAGÁN, A. E. et al, 2018).

Software: PALM

O sistema PALM foi principalmente desenvolvido e é mantido pelo grupo PALM no Instituto de Meteorologia e Climatologia (IMUK) de Leibniz Universität Hannover, Alemanha. Uma série de partes do código recebeu a contribuição de grupos de trabalho nacionais (alemães) e internacionais. O *software* PALM-4U é frequentemente referido como um modelo separado para a simulação de camadas limites atmosféricos urbanos. No entanto, de um ponto de vista técnico, os PALM-4U são componentes especiais que foram desenvolvidos para atender às necessidades da pesquisa acadêmica moderna da camada limite urbana e do planejamento urbano prático relacionado ao microclima urbano e às mudanças climáticas. Como alternativa ao modo LES (Simulações de Larga Escala) de resolução de turbulência, o PALM-4U oferece uma parametrização de turbulência. *Software* livre.

Kurppa et al. examinaram o impacto da orientação e da forma dos blocos de perímetro, na dispersão e ventilação das emissões relacionadas ao tráfego, em um bulevar urbano planejado. Simulações de alta resolução foram conduzidas usando o modelo LES PALM. Para incluir o papel da meteorologia, duas condições contrastantes de influxo com estratificação atmosférica neutra e estável e diferentes direções do vento foram aplicadas. Demonstrou-se que a ventilação de poluentes melhora, e a concentração média no nível de pedestres diminui até 9%, introduzindo variabilidade na altura do edifício e limitando o comprimento dos desfiladeiros ao longo da avenida, com altas taxas de tráfego. Este é o primeiro estudo LES de alta resolução, em escala de bairro, que aplica medidas sofisticadas para fornecer estimativas realistas para a remoção de poluentes gasosos não reativos do ar do nível de pedestres.

Neste artigo, Maronga, B. et al (2019), descrevem o desenvolvimento de um modelo para o projeto Conjunto Planejamento Urbano (MOSAİK). O projeto MOSAİK é financiado pelo Ministério Federal da Educação e Pesquisa da Alemanha (BMBF). O objetivo do MOSAİK é desenvolver um sistema altamente eficiente, moderno e de alta resolução, um modelo de clima urbano que permita ser aplicado em simulações de resolução de edifícios em grandes cidades, como Berlim (Alemanha). O novo modelo de clima urbano foi baseado no consagrado código de simulação de grandes redemoinhos PALM. A PALM também oferece um modelo de topografia cartesiana, em quais elementos topográficos, como terreno complexo e os edifícios são representados como obstáculos sólidos no código. O MOSAİK visa adicionar todos aqueles componentes que estão faltando atualmente no PALM e que são relevantes para aplicações urbanas. Em particular, PALM-4U deve ser capaz de prever o fluxo dos ventos, bem como a temperatura e a umidade em ambientes urbanos com edifícios. O objetivo final do MOSAİK é desenvolver um novo e inovador UCM *open source* que pode ser aplicado não apenas para pesquisa básica, mas também para pesquisas aplicadas e estudos de avaliação.

Software: RETScreen

RETScreen é uma ferramenta de estudo de viabilidade e um *software* gratuito desenvolvido pelo Ministério de Recursos Naturais do Canadá para avaliar os custos e benefícios financeiros e ambientais de diferentes tecnologias de energia renovável para qualquer local do mundo. Este *software* usa Visual Basic e linguagem C como plataforma de trabalho. RETScreen foi lançado em 1998 para aplicações na rede. O modelo PV da RETScreen também cobre aplicações fotovoltaicas fora da rede e inclui sistemas autônomos, híbridos e de bombeamento de água. Ele tem um banco de dados climáticos globais de mais de 6000 estações terrestres (irradiação solar mensal e

dados de temperatura para o ano), mapas de recursos de energia (ou seja, mapas de vento), dados de hidrologia, dados de produtos como detalhes de painéis solares fotovoltaicos e curvas de energia de turbinas eólicas. *Software* livre.

Juaidi, A. et al (2019) estudaram bairros residenciais, em um local denominado Cidade Sustentável, localizada no emirado de Dubai, nos Emirados Árabes, a partir de dados meteorológicos de Dubai, fornecidos pelo *software* RETScreen. O RETScreen Climate Database contém os dados meteorológicos de estações de monitoramento terrestre e / ou do satélite global da NASA / dados de análise. O estudo tem estratégias de desenho inteligentes e sustentáveis que foram implementados para as unidades residenciais juntamente com o aplicações de soluções de economia de energia, como aquecedores solares de água, materiais de alto isolamento, eletrodomésticos certificados pela EnergyStar, como frigoríficos, máquinas de lavar e iluminações, e isso vai contribuir para diminuir o consumo de energia.

Segundo Kumara, R. et al (2018), ao estudar turbinas eólicas de eixo vertical para utilização em áreas urbanas, métodos experimentais foram usados para estabelecer características do vento, *design* da lâmina, velocidade de rotação, torque mecânico, coeficiente de potência, potência e saídas de energia. Entre outras abordagens, os métodos computacionais baseados em dinâmica de fluidos computacional (CFD) foram considerados. Uma abordagem combinada também foi sugerida para otimizar o desempenho. Dados de recursos eólicos disponíveis, de várias fontes, apresentaram limitações, especialmente quando aplicados a situações mais complexas. O *software* RETScreen não forneceu informações suficientes sobre como modificar esses recursos para locais urbanos, levando a uma seleção inadequada do local e a uma opinião negativa sobre a tecnologia.

Rajab Z. et al (2019), utilizaram o RETScreen Expert, para verificar que a velocidade média anual do vento é de 5,3 m/s a 4 m de altura, em Noagia-Benghazi, Líbia, quando estudaram a utilização de pequenas turbinas eólicas. Os dados do vento foram estimados a 4m de altura acima do nível do solo. Além disso, os dados também foram calculados a 6m e 10m de altura. O resultados mostraram que a velocidade média anual do vento é 5,32 m/s, 5,62 m/s e 6,10 m/s para 4, 6 e 10m de altura, respectivamente.

Ramli, M.S. et al (2017) compararam os *softwares* HOMER e RETScreen: O *software* de modelagem de energia HOMER é uma ferramenta para projetar e analisar sistemas de energia híbridos, que contém uma mistura de geradores convencionais, turbinas eólicas, energia solar fotovoltaica, energia hidrelétrica, baterias e outras entradas. Já o *software* RETScreen usa uma planilha baseada em Microsoft Excel, modelo que consiste em um conjunto de pastas de trabalho que calcula os fluxos de energia médios anuais com fatores de ajuste para explicar os efeitos temporais, como a coincidência da carga solar. O HOMER é um aplicativo do Windows que não requer nenhum

outro *software* para ser executado. RETScreen é um modelo de planilha baseado em Microsoft Excel que consiste em um conjunto de pastas de trabalho. Cada pasta de trabalho modela um tipo específico de sistema de energia ou aplicativo. Concluindo, o resultado produzido pelo HOMER e RETScreen dão custos diferentes para cada configuração. O HOMER calcula o custo de geração automaticamente, e no RETScreen o cálculo é feito manualmente.

Na experiência de Tzouvelekis, A. (2014), o *software* RETScreen 4 foi capaz de simular três cenários econômicos distintos realistas, e conclusões sobre sua viabilidade, para a ilha de Milos localizada no grupo de ilhas na Grécia. A partir de dados relativos às condições meteorológicas como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar diária, pressão atmosférica, velocidade do vento, variações de temperatura máxima e mínima, foram produzidos dados de curva de potência a ser gerada, utilizando o RETScreen 4.

Software: GRASSHOPPER/ RHINOCEROS / LADYBUG, HONEYBEE e BUTTERFLY plugins

O GRASSHOPPER é uma linguagem de programação visual que se executa no programa de desenho auxiliado por computador (CAD) chamado RHINOCEROS 3D, popularmente conhecido como RHINO, que fornece ferramentas para modelar e documentar desenhos em 2D e 3D, preparando-os para renderização. O *plugin* LADYBUG importa arquivos de clima EnergyPlus padrão (.EPW) para Grasshopper. Ele oferece suporte à avaliação das opções iniciais de *design* por meio de estudos de radiação solar, análises de visualização, modelagem de horas de luz solar. Já o *plugin* HONEYBEE cria, executa e visualiza simulações de luz do dia usando Radiance, que é uma ferramenta de simulação de iluminação, modelos de energia usando OpenStudio, ferramenta que faz modelagem de energia, e fluxo de calor de envelope usando Therm, que analisa transferências de calor. Custo das licenças: RHINOCEROS 6 – US\$ 195 (alunos e professores), US \$ 975 (escolas/laboratórios até 30 usuários); GRASSHOPPER – incluída no RHINOCEROS; LADYBUG, HONEYBEE e BUTTERFLY *plugins* – *software* livre.

O objetivo do trabalho de Freitas et al (2020) foi examinar os *plugins* Grasshopper e Ladybug para modelagem 3D do Rhinoceros, no projeto de *retrofit* para edifícios institucionais na zona central de Brasília, Brasil. Os diagramas de irradiação solar representados pelo algoritmo Rhinoceros e Grasshopper / Ladybug permitem fácil compreensão, e o uso do algoritmo Rhinoceros com Grasshopper / Ladybug foi, de maneira geral, eficaz, gerando resultados para os primeiros esboços de reforma de sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV), para edifícios já existentes, devido à relativa facilidade de aprender a operar essas ferramentas. Seu uso é relativamente intuitivo.

De acordo com Moscarelli, F. & Cardoso, G. T. (2020), o estudo realizado na cidade de Passo Fundo, Brasil, partiu de uma análise da estrutura morfológica pré-existente, e o envelope solar foi

gerado usando a ferramenta Ladybug Plugins para aplicativos Grasshopper, no *software* Rhinoceros. Os resultados mostraram que a forma urbana encontrada possui baixo desempenho solar, evidenciando a necessidade revisar as regras de construção de acordo com o padrão e posicionamento dos lotes. No caso de Passo Fundo /RS, foi possível analisar e sistematizar informações relacionadas à forma urbana necessária para encontrar outras estratégias de planejamento que garantam o acesso solar.

Os diferentes modelos de software foram analisados, quanto a sua capacidade de auxiliar na avaliação do potencial de geração de energia eólica em ambientes urbanos. As características principais de cada software, o investimento necessário e a sua adequação aos objetivos da pesquisa estão detalhados na Tabela 03.

Software	Características	Custos	Adequação aos objetivos
ENVI-met	Simula padrões de vento em ambientes complexos, e avalia os efeitos da atmosfera, vegetação e arquitetura.	Entre 290 € e 990€ (licença acadêmica).	Permite análise dos ventos urbanos, quanto ao potencial energético eólico.
PROMETHEE-GAIA	Método de análise de decisão de múltiplos critérios (MCDA), usado para selecionar tecnologias de geração de energia, neste exemplo.	<i>Software livre</i>	Permite que as diversas alternativas de geração sejam classificadas, qualitativa e quantitativamente.
PALM	Modelo desenvolvido para pesquisa acadêmica, que simula camadas limites atmosféricas urbanas.	<i>Software livre</i>	Permite prever o fluxo do vento em ambiente urbano, dimensionando a dispersão de poluentes, e com potencial de geração energética eólica.
RETScreen	Ferramenta de estudo de viabilidade desenvolvido para avaliar os custos e benefícios financeiros e ambientais de diferentes tecnologias de energia renovável.	<i>Software livre</i>	Auxilia nas tomadas de decisão quanto ao uso de diferentes tecnologias de energia renovável, para qualquer local do mundo o uso de soluções.
GRASSHOPPER - RHINOCEROS – LADYBUG tools	Linguagem de programação visual, que com base em modelagem 3D, e nos plugins, oferece suporte à avaliação das opções design por meio de estudos de radiação.	RHINOCEROS (GRASSHOPPER incluída) custa entre US\$ 195 e US \$ 975(licença acadêmica). LADYBUG tools – <i>software livre</i>	Permite o estudo de radiação solar em edifícios e fluxo de calor de envelope, por transferências de calor.

Tabela 03 - Características x custo x adequação – Fonte: o autor, 2021.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com uma boa performance, porém com limitações em relação ao perfil urbano, o *software* RETScreen tem como qualidade principal a gestão de sistemas híbridos, além de acesso a um banco de dados globais e mapas de vento e hidrologia.

Considerando que é um *software* que presta auxílio apenas na tomada de decisões, em um sistema de múltiplos critérios, não produzindo as informações esperadas para uma avaliação do potencial eólico urbano, o Promethee - Gaia não atende às necessidades da pesquisa.

O *software* Grasshopper - Rhinoceros com plugins Ladybug, se mostrou muito intuitivo no processamento das informações, e na produção dos resultados voltados para a geração de energia fotovoltaica, e não eólica.

O *software* ENVI-met apresentou resultados interessantes, principalmente em cidades litorâneas, apesar de limitações quanto às variações de direção dos ventos e de altitude.

O *software* Palm, teve um desempenho bastante relevante, que o recomenda para a continuidade da pesquisa no município de Macaé.

Com base nos resultados obtidos pelo presente trabalho, os *softwares* ENVI-met e Palm são os mais adequados à continuação do estudo sobre o potencial eólico para geração de energia na área urbana da cidade de Macaé. Para dar sequência ao estudo concluído neste trabalho, é necessário fazer o levantamento detalhado das condições das edificações no recorte determinado da área urbana do município, para determinar a área ocupada por cada imóvel e sua altura. Posteriormente, é preciso fazer a modelagem tridimensional em um *software* de desenho, como o Sketchup ou similar (Figura 05). A partir desses dados, e com as informações sobre os ventos na região, então é possível realizar a simulação em um dos dois *softwares* apontados por este trabalho, determinando as regiões mais propícias à geração eólica de energia.

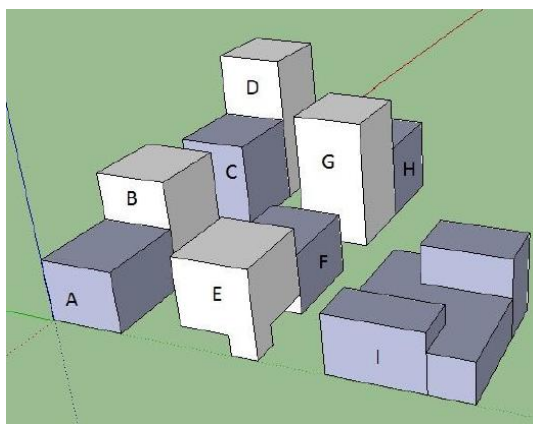


Figura 05 - Modelagem de uma zona urbana. Fonte: Pereira, 2011.

5. REFERÊNCIAS

- AGUIEIRAS, R. L. Jr – TCC - Caracterização preliminar da direção e velocidade do vento na cidade de Macaé, Rj - Monografia curso de Engenharia Agrônômica - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011.
- AMG Power Solutions. Co.,Ltd.
- ATLAS Eólico do RJ. Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo, 2002.
- BAJAY, S. et al. artigo: O avanço da Geração Distribuída, da Eficiência Energética e de outros recursos distribuídos: possíveis soluções e experiências no Brasil e em outros países. Textos de Discussão sobre Energia-. International Energy Initiative – IEI. Volume 1, Nº 4. pag. 27. Brasil, Campinas. 2018.
- BARRAGÁN, A. E. et al. artigo: Electricity production using renewable resources in urban centres. Atas do Instituto dos Engenheiros Civis – Revista Energia. Volume 171, edição 1, pp. 12-25 fevereiro de 2018.
- BOUCHAHM et al. artigo: Numerical simulation of effect of urban geometry Layouts on wind and natural ventilation under Mediterranean climate Laboratory bioclimatic architecture and environment A.B.E, Institute of architecture and urbanism, University of Constantine, Algeria. 2008.
- CHEN, Y.C. ET AL. ICEO&SI Conference, JUNE 26-28, Keelung. Taiwan. 2016.
- DALY, Herman E. A economia ecológica e o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: ASPTA, Textos para Debates n. 34, 21p. 1991.
- DESTER, M., ANDRADE, M. T. O. and BAJAY, S. V., New renewable energy sources for electric power generation in Brazil, Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy, 7 (4): 390-7, 2012.
- DETONI, L.P. et al. artigo: Planejamento Urbano no Pampa: instrumentos para revisão do perímetro urbano na fronteira de Jaguarão-BR e Rio Branco-UY. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. Nº 29, vol 05. 2017.
- ENVI-met GmbH, www.envi-met.com, Essen, Germany, 2020.
- ESTANQUEIRO, A. & SIMÕES, T. Aproveitamento de energia eólica em ambiente urbano e construído. Renováveis Magazine, nº2, , p.44-49. Portugal, 2010.
- FREITAS et al. artigo: Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. Renewable Energy, vol 169, p.1468-1479. 2020.
- JUAIDI, A. et al. artigo: Urban design to achieving the sustainable energy of residential neighbourhoods in arid climate. Journal of Cleaner Production. Nº288, p. 135/152 , 2019.
- KURPPA ET AL. artigo: Ventilation and air Quality in city blocks using large-eddy simulation—urban planning perspective. *Atmosphere*, 9, 65 2018.

KU, C. & TSAI, H. artigo: Evaluating the Influence of Urban Morphology on Urban Wind Environment Based on Computational Fluid Dynamics Simulation. ISPRS International Journal of Geo-Information. Taiwan.17-06-2020.

KUMARA, R. et al. artigo: A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews.Nº 89. p.281-291, 2018.

MARONGA, B. et al. artigo: Development of a new urban climate model based on the model PALM – Project overview, planned work, and first achievements. Meteorologische Zeitschrift (Berlin, Germany: 1992), Vol.28(2), pp.105-119, 01 June 2019.

MARTINS *et al.* O aproveitamento da energia eólica, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1304. p.1304-5/6, 2008.

MOSCARELLI, F. & CARDOSO, G. T. ARTIGO: Urban Rules and Morphology Analysis as Support to Solar Performance in Passo Fundo/RS, Brazil. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 503. IOP Publishing. 2020.

PEREIRA, I. Q. G. - Condições de viabilidade da microgeração eólica em zonas urbanas - Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

RAJAB Z. et al. artigo: A practical seasonal performance evaluation of small wind turbine in urban environment. Wind Engineering, Vol. 43(4) 344–358, 2019.

RAMLI, M.S. et al. artigo: A comparison of renewable energy technologies using two simulation softwares: HOMER and RETScreen. AIP Conference Proceedings 1875, 030013. (2017).

SOUSA, D. A. Pobreza Energética nas Favelas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2011.

TZOUVELEKIS, A. A. Study of the Potential for Small Wind Turbines in Greece: Current market status, barriers to growth and support policy options. Dissertação de mestrado apresentada na Delft University Of Technology. 2014.

WANG, Y.E et al. artigo: Comparative study of urban residential design and microclimate characteristics based on ENVI-met simulation. Indoor and Built Environment, Vol. 28(9) pag. 1200–1216, 2019.

YILMAZ et al. artigo: Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. Environmental Science and Pollution Research, 25:26307–26321. 2018.

ARTIGO CIENTÍFICO 2²

SMART CITIES E SMART MOBILITY

UMA PROPOSTA PARA A MOBILIDADE URBANA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ

SMART CITIES AND SMART MOBILITY

A PROPOSAL FOR URBAN MOBILITY IN THE MUNICIPALITY OF MACAÉ

Sérgio Augusto da Silva Tenório - IFFluminense/PPEA

Marcos Antônio Cruz Moreira - IFFluminense/PPEA

Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

O conceito de Cidade Inteligente (*smart city*) tem sido cada vez mais utilizado por administradores públicos em todo o mundo, como forma de modernizar a gestão municipal, garantir a acessibilidade de todos, reduzir os impactos ambientais, e tornar-se sustentável.

A Cidade Inteligente é uma forma inovadora de ver as cidades, que abrange diversas áreas, como: administração eficiente (*smart governance*), economia inovadora (*smart economy*), ambiente sustentável (*smart environment*), cidadania (*smart people*), além da mobilidade acessível, moderna e sustentável (*smart mobility*). Com destaque entre as demais, a área de Mobilidade Inteligente (*smart mobility*), permite a aplicação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), além do retorno eficaz de investimentos de recursos públicos, impactando diretamente no aumento da qualidade de vida dos seus cidadãos, oferecendo mais segurança, qualidade dos serviços, reduzindo custos e tempo nos deslocamentos pela cidade. Nesse artigo trata-se da elaboração de especificações para projeto de bicicletários sustentáveis, na cidade de Macaé, como estrutura de incentivo e apoio à utilização da bicicleta como meio de transporte, consoante ao conceito da Mobilidade Inteligente, de acordo com a visão de uma Cidade Inteligente. As especificações resultantes definiram um módulo básico, com características essenciais de funcionalidade, que pode ser aplicado em diferentes situações, de acordo com a demanda apresentada.

Palavras-chave: Cidades inteligentes; Mobilidade inteligente; Mobilidade urbana.

² Trabalho submetido como resumo ao Boletim Ciência Macaé do Observatório da Cidade de Macaé, e aceito para publicação como trabalho completo.

ABSTRACT

The Smart City concept has been increasingly used by administrators around the world, as a way of modernizing the municipal, ensuring accessibility for all, reducing environmental impacts, and becoming sustainable management. The Smart City is an innovative way of seeing cities, covering several areas, such as: efficient administration (smart governance), innovative economy (smart economy), sustainable environment (smart environment), citizenship (smart people), in addition to accessible mobility, modern and sustainable (smart mobility). Standing out among the others, the area of Intelligent Mobility (smart mobility), allows the application of Information and Communication Technologies (ICTs), in addition to the effective return on investments of public resources, directly impacting on the increase of the quality of life of its citizens, offering more security, quality of services, reducing costs and time traveling around the city. This article deals with the elaboration of specifications for the design of sustainable bicycle racks, in the city of Macaé, as a structure to encourage and support the use of bicycles as a means of transport, according to the concept of Intelligent Mobility, according to the vision of a City Intelligent. The resulting specifications defined a basic module, with essential features of functionality, which can be applied in different situations, according to the demand presented.

Keywords: *Smart cities; Smart mobility; Urban mobility.*

1. INTRODUÇÃO

Com o processo de urbanização, atualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a expectativa é de que esta proporção aumente para 70% até 2050, segundo dados da ONU (UN, 2021), centros das decisões econômicas e sociais em todo o mundo, e responsáveis por muitos impactos ambientais (MORI & CHRISTODOULOU, 2012). E as cidades são locais de outra mudança fundamental na vida dos seus habitantes: a revolução digital, que produz indivíduos conectados ao extremo, alterando profundamente o relacionamento humano. É nesse cenário que surge o conceito das cidades inteligentes. Ou seja, cidades que ao superar as dificuldades do passado, projetam um futuro melhor, no qual a tecnologia proporciona serviços urbanos mais eficientes, e melhor qualidade de vida aos cidadãos (CUNHA et al, 2016). Esse conceito é bastante discutido, pois o que torna uma cidade inteligente?

Há mais de uma definição para cidade inteligente, com diferenças conceituais como, por exemplo, o uso do termo “digital” no lugar de “inteligente”. Não há uma definição universal, por consenso (O'GRADY & O'HARE, 2012).

A União Européia entende que tal conceito engloba seis áreas distintas: **governança** (*smart governance*), uma administração eficaz, transparente e ambiciosa, **economia** (*smart economy*), uma economia inteligente, inovadora, empreendedora e produtiva, **mobilidade** (*smart mobility*) uma mobilidade melhor, com redes de transportes acessíveis, modernos e sustentáveis, **meio ambiente** (*smart environment*) uma visão de meio ambiente e energia sustentável, **cidadania** (*smart people*) cidadãos qualificados e empenhados, e **convivência** (*smart living*), qualidade de vida em termos de cultura, saúde, segurança e educação (EUROPEAN UNION, 2020).

O Planejamento do setor de transportes nas cidades é fundamental para o desenvolvimento urbano, definindo a infraestrutura de circulação de pessoas e bens, assim como os modais utilizados e a oferta de serviços públicos para atendimento dos usuários (VASCONCELLOS, 2000).

A Mobilidade Inteligente é o setor da Cidade Inteligente que compreende, além do transporte de pessoas e mercadorias de forma tradicional, também a difusão de informações por meios digitais, conectando todos os recursos da cidade, ou seja, pessoas, bens e informações. Observando o nível de eficiência da Mobilidade Inteligente, é possível determinar facilmente o nível de desenvolvimento de uma Cidade Inteligente, pois todo usuário, morador ou visitante, experimenta seus efeitos todo o tempo (ORLOWSKI & ROMANOWSKA, 2019). O nível de eficiência ideal de uma cidade inteligente, é alcançado através de um processo gradual de implantação dos TICs que gerenciam os dados e as informações, durante o qual a cidade apresentará diferentes níveis de eficiência, segundo GAMA et al (2012):

- Caótico – Fase de início de quase toda cidade. As cidades ainda não possuem TICs para auxiliar no processo de gerenciamento.
- Inicial – Fase onde começam o planejamento e a modelagem de sistemas de informação que irão auxiliar, parcialmente; assim como a identificação de sistemas existentes, que podem ser integrados.
- Gerenciado – Fase de coleta de dados: dados de tráfego, dados de consumo de energia, etc., acessíveis através de sistemas de informação, por exemplo SIGs, que podem ser empregados neste nível para visualizar dados por região; esses dados podem servir para a geração de informação de alto valor agregado (rotas de trânsito baseadas em dados em tempo real sobre o tráfego).
- Integrado – Fase na qual a Cidade Inteligente conta com sistemas que utilizam o modelo de computação em nuvem, integrados e disponíveis para os cidadãos, assim como para visitantes, sob a forma de serviços. O cidadão tem papel ativo como usuário dos serviços, como alimentador de dados, através de seus dispositivos móveis que se comunicam pela nuvem.

- Otimizado – Cidade Eficiente, que busca inovar no uso e no desenvolvimento de soluções de TICs. Os dados obtidos, através dos diversos domínios da cidade, auxiliam nas tomadas de decisões estratégicas. Esses dados também servem para previsão de eventos, climáticos ou não.

Algumas cidades investem em Mobilidade Inteligente (*smart mobility*), em parte pelo interesse de empresas ligadas ao setor, que buscam modernizar seus serviços, tornando-os mais atraentes, a fim de aumentar o número de usuários. Outra razão é o crescente uso de tecnologias da informação, cada vez mais presentes no cotidiano do cidadão. Essas tecnologias consistem em sistemas de redes, com conexões digitais e físicas, para atender as necessidades dos usuários. O uso dessas tecnologias visa melhorar o desempenho dos serviços, para aumentar a atratividade do sistema de mobilidade. Mas também buscam alcançar a sustentabilidade, com a redução do consumo de energia e das emissões de carbono (LAM & HEAD, 2012). Porém, não é suficiente implementar tais avanços tecnológicos, ou aumentar a eficiência dos serviços, ou mesmo, diminuir seus impactos no meio ambiente: somente uma perfeita integração dos aspectos de sustentabilidade, acessibilidade e uso de tecnologias pode adequar o sistema de mobilidade às necessidades de seus usuários, dando suporte ao desenvolvimento urbano (JOURMARD et al., 2010).

Assim, a Mobilidade Inteligente, valendo-se do uso de tecnologias da informação, tem o potencial de desenvolver os sistemas de transporte de forma sustentável. E para que isso aconteça, é preciso que o comportamento dos usuários também seja sustentável (PAPA & LAUWERS, 2015; STARICCO, 2013, apud BATTARRAA et al, 2018).

A Mobilidade Inteligente envolve um conjunto de iniciativas múltiplas, que podem representar diferentes níveis de utilização das tecnologias da informação. De acordo com o grau de implementação das ações, são identificadas três fases da Mobilidade Inteligente (BENEVOLO, DAMERI E D'AURIA, 2016):

- Fase inicial – quando um pequeno número de atividades, que geralmente não são coordenadas entre si, afeta apenas uma pequena parte da área urbana;
- Fase intermediária – quando uma série de atividades, com objetivos mais amplos, são implementadas por autoridades municipais, através de projetos-piloto e com análise dos resultados;
- Fase madura – quando há integração entre as soluções de mobilidade inteligente, com o uso de sistemas de transporte inteligentes, a coleta e compartilhamento de dados, ou seja, dados abertos.

Em seu artigo intitulado ‘Smart Mobility in Smart City. Taxonomia de ação, intensidade de TIC e benefícios públicos’, Benevolo, Dameri e D'auria (2016) especificam os seguintes objetivos principais que devem orientar a implementação de soluções de mobilidade inteligente:

- Redução dos custos de mobilidade;
- Redução da poluição do ar;
- Redução da poluição sonora;
- Redução do congestionamento do tráfego;
- Aumentar a segurança;
- Melhorando a velocidade da mobilidade.

Portanto, quando se fala em Mobilidade Inteligente, faz-se referência a Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), transporte público municipal, redes de ciclovias e ciclo faixas, compartilhamento de veículos e carona solidária.

Segundo Brandão (2017, p.14)

O uso da bicicleta como uma alternativa para o transporte nas cidades, está em ascensão. As "magrelas" contribuirão para resolver alguns problemas de mobilidade urbana, pois, ajudará a retirar carros e motos das ruas e ocupará menos espaço do que eles, além, é claro, trata-se de meio de transporte silencioso, que não produz poluição, trazendo benefícios sustentáveis e saudáveis para vida humana.

De acordo com Filho e Heméritas (2009, p.165)

Por conta da grande importância assumida por estas dimensões espaço-temporais, nos últimos anos, a bicicleta tem sido lembrada como possibilidade de arrefecimento dos atuais fenômenos ambientais gerados pelas mudanças climáticas.

Acreditamos no aumento de campanhas pelo clamor pelo uso da bicicleta, o valor afetivo e cultural a que ela remete são expressivos no Brasil, as suas vantagens no quesito energias limpas são inquestionáveis, mas como os números revelam as condições espaciais por onde ela circula não são adequadas para a realidade de trânsito brasileira.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada inspirou-se na PESQUISA-AÇÃO, uma vez que essa aplica seus resultados a um projeto existente, buscando agregar conhecimentos. Thiollent (2016, p.5) destaca que, entre outros aspectos, o objetivo da pesquisa-ação consiste em resolver ou, pelo menos, em esclarecer os problemas da situação observada.

A contribuição proposta pelo artigo, está inserida em um projeto já em curso, ou seja, o Sistema Ciclovitário da Cidade de Macaé.

Uma das etapas do trabalho consistiu em analisar a questão da mobilidade urbana no município de Macaé, a partir do PMU – Plano de Mobilidade Urbana de Macaé (2015). Em seqüência, estabelecer um programa (especificações) para orientar a elaboração de projetos para construção de equipamentos urbanos, de apoio à prática do ciclismo.

Concepção metodológica: A solução foi desenvolvida utilizando, de forma complementar, iniciativas já existentes, adaptando a realidade de Macaé: o projeto do Instituto Federal de Santa Catarina para um posto de recarga de bicicletas elétricas (Figura 01), apresentado no Seminário de Pesquisa Extensão e Inovação, em 2013. E os bicicletários públicos, instalados junto a estações de outros modais de transporte, como o Araribóia (Figura 02), em Niterói (cidade do estado do Rio de Janeiro), e o do Terminal de Campo Limpo (na cidade de São Paulo) (Figura 03).



Figura 01 – Posto de recarga para bicicletas elétricas, IFSC, 2013.



Figura 02 – Bicicletário Araribóia, Niterói, RJ. Agencia O Globo, 2018.



Figura 03 – Bicletário Terminal Campo Limpo, distrito de São Paulo, SP. SPTrans, 2019.

Foram observados os modelos de bicicletários desenvolvidos pela Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade de São Paulo, quanto às dimensões e disposição dos veículos (Figuras 04, 05 e 06).

MODELOS DE BICICLETÁRIOS

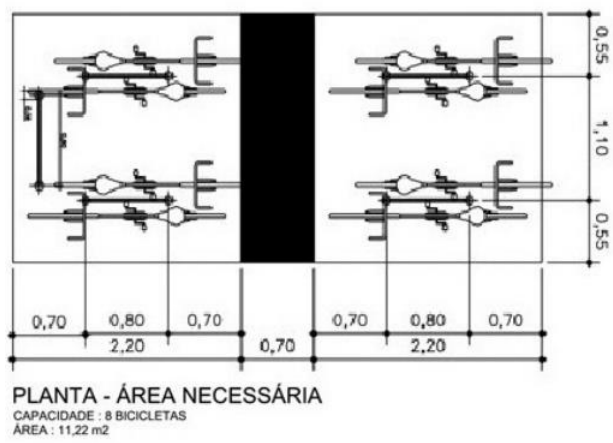


Figura 04 - Planta de Bicicletários – Fonte: SMDU-CPPU/009/2011, CET/ SP, 2015.

VAGAS NA POSIÇÃO HORIZONTAL

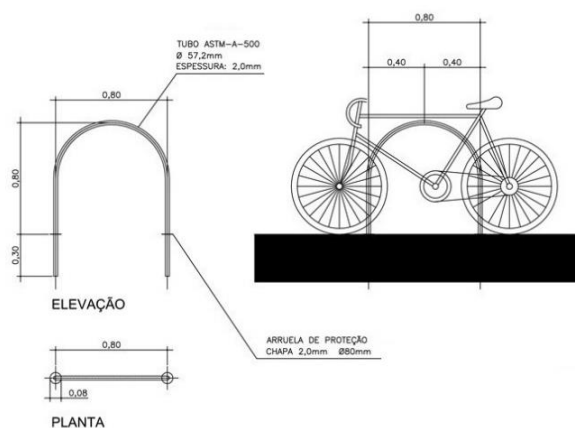


Figura 05 – Vista de Bicicletários – Fonte: SMDU-CPPU/009/2011, CET/ SP, 2015.

VAGAS NA POSIÇÃO VERTICAL

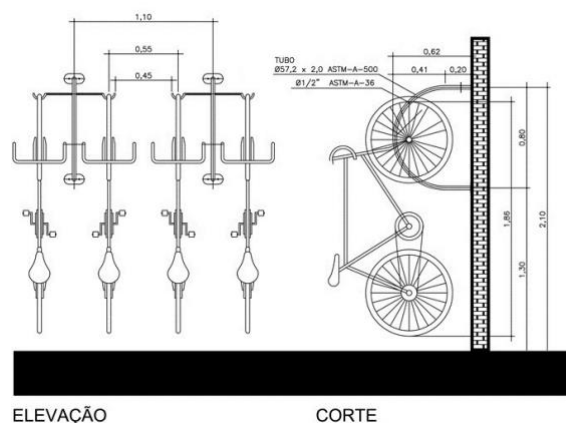


Figura 06 – Vista de Bicletários – Fonte: SMDU-CPPU/009/2011, CET/ SP, 2015

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A MOBILIDADE URBANA EM MACAÉ

O município de Macaé tem um grande potencial para o uso da bicicleta em função da sua topografia plana em grande parte da extensão urbana, além de não ser uma grande metrópole (seja pelo seu espaço físico, seja pelo número de habitantes), o que favorece, e muito, a adoção da bicicleta como meio de transporte alternativo (LAMIM, 2014).

Em 10 anos, estima-se que a população de Macaé cresceu 28,73 %, enquanto a quantidade de veículos (total) em circulação aumentou 51,37%; só os automóveis aumentaram em 46,66 % o seu número nas ruas, enquanto as motocicletas tiveram um índice de crescimento de 45,09%, de acordo com os dados do IBGE apresentados na Tabela 01.

ANO	2010	2015	2020	2021	2010 a 2021	2015 a 2020
					Aumento %	Aumento %
POPULAÇÃO	206.728 (Último Censo)	234.628 (estimada)	261.501 (estimada)	266.136 (estimada)	28,73 (estimado)	11,45% (estimado)

AUTOMÓVEIS	43.909	60.293	64.401	ND	46,66	6,81
MOTOCICLETAS	15.194	19.840	22.045	ND	45,09	11,11
VEÍCULOS (todas as categorias)	76.870	108.096	116.362	ND	51,37	7,64

Tabela 01 – População x veículos - Fonte: IBGE, 2021.

No período de 2015 a 2020, ou seja, em cinco anos, segundo o IBGE (2021), enquanto o aumento da população estimada foi de 11,45%, houve um crescimento de apenas 7,64% no número de veículos (total), com 6,81% de aumento de automóveis e 11,11% no de motocicletas. Os dados (figura 07) demonstram uma desaceleração no aumento do número de veículos, em particular dos automóveis, e um aumento no uso de veículos leves e com menor consumo de combustível, em função da crise econômica.

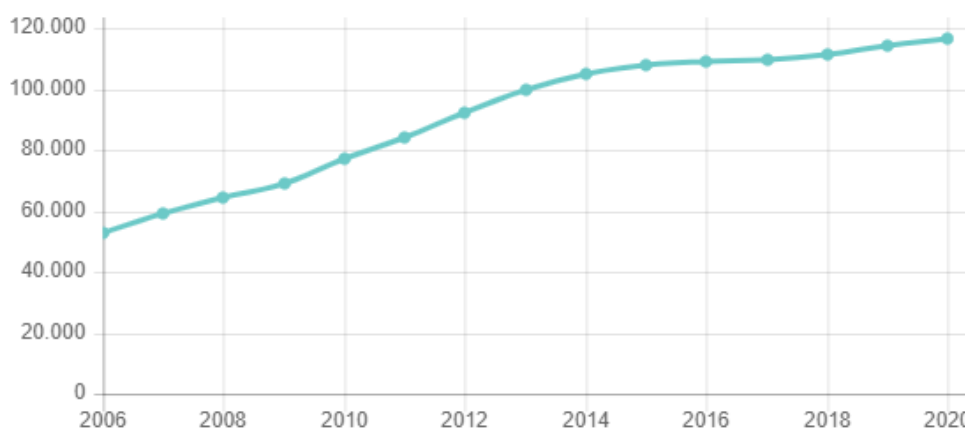


Figura 07 - Série histórica – Evolução do nº de veículos – Macaé, IBGE, 2021.

Segundo dados da RAIS (2021) do Ministério da Economia e do ISPER (2021), foram contratados 284.328 trabalhadores, entre os anos de 2010 e 2015 na cidade de Macaé, sendo dispensados 257.360, ou seja, um saldo positivo de 52,49% de contratações no período. No entanto, entre 2015 e 2019, as dispensas superam as contratações, com 173.825 contra 140.784 contratados, com um saldo negativo de 52,25% (Figura 08).

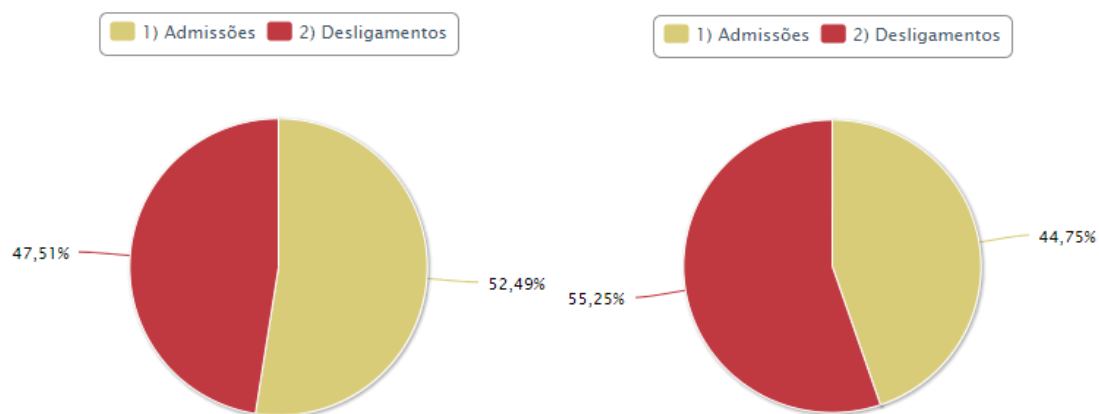


Figura 08: Período de 2010 a 2015 x Período de 2015 a 2019 – Fonte : RAIS/ISPER –MTE, 2021.

Os dados demonstram uma retração do mercado de trabalho formal, nos últimos anos, o que pode sugerir o crescimento do trabalho informal, com as incertezas inerentes. A redução do índice de crescimento do número de automóveis, em comparação com o aumento do número de motocicletas, demonstra uma opção por veículos mais econômicos quanto à sua manutenção, mas também uma redução do poder de compra, na medida em que são veículos mais baratos.

Segundo o IBGE (2021), o número de pessoas empregadas foi em 2019 de 122.132, ou seja, 47,6% da população, com uma renda mensal de 6,1 salários-mínimos, entre os trabalhadores formais.

A mobilidade urbana é fundamental no planejamento de toda cidade moderna. A partir da Lei 12.587, de 2012, ou Lei da Mobilidade Urbana, que os municípios têm que incluir na gestão o planejamento da política de mobilidade urbana, além de buscar recursos para sua implementação, priorizando o transporte coletivo de qualidade e as formas de transporte não motorizadas.

A prefeitura de Macaé realizou, em 24 de julho de 2014, o seminário “Macaé – Um Novo Ciclo de Desenvolvimento”, considerando ser indispensável na concepção do seu planejamento, elaborar o Plano de Mobilidade Urbana, como destacou o prefeito na ocasião: ‘É fundamental que Macaé tenha o melhor aeroporto, tenha um novo porto e um novo arco viário e se torne, de fato, a melhor cidade para se viver e se trabalhar. E isso nós não vamos fazer sozinhos e sim, acima de tudo, ouvindo e entregando resultados.

A opção por uma forma de transporte como a bicicleta, mais econômica e adequada ao relevo da área urbana da cidade de Macaé, parece atender não apenas às necessidades dos cidadãos, mas também a uma política de governo.

Através do PMU Macaé (2015) – Plano de Mobilidade Urbana de Macaé – elaborado em maio de 2015, a prefeitura determinou objetivos que abrangem os diferentes aspectos da mobilidade

urbana, tais como o aprimoramento dos sistemas de transporte coletivo e de transporte de carga, sistemas de informações sobre a mobilidade na cidade, sistema de estatística e análise de acidentes de trânsito, e programa permanente de segurança no trânsito, a fim de aprimorar a qualidade de vida, seguindo um conjunto de diretrizes e recomendações, baseadas em instrumentos e tecnologias de Mobilidade Urbana Sustentável. Visa também priorizar o espaço urbano para as pessoas, protegendo o meio ambiente:

- Estimular o uso do transporte não motorizado (pedalar e caminhar);
- Implantar uma Rede de Ciclovias e de Calçadas, integrada à Rede de Transporte Coletivo que permita a circulação segura de pessoas;
- Modernizar e expandir as Estações e Terminais, provendo-os de locais seguros para a guarda de bicicletas;
- Modernizar e expandir o Sistema de Sinalização (horizontal, vertical, semafórica mecânica e eletrônica), priorizando o Transporte Não Motorizado (pedestres e bicicletas);
- Promover pesquisas e fomentar o desenvolvimento tecnológico, voltados para a mobilidade urbana sustentável, através de parcerias com universidades e outras entidades afins.

Ainda como parte do planejamento e gestão da mobilidade, proposto pelo PMU, entende-se que a circulação das pessoas por meios não motorizados, ou seja, a pé, por cadeira de rodas ou de bicicleta, constituem um modo de deslocamento tão importante quanto os demais.

Alguns fatores são importantes para que as pessoas decidam pelo deslocamento a pé ou de bicicleta: além do fator socioeconômico, a infraestrutura do espaço urbano como vias exclusivas ou compartilhadas com sinalização, calçadas, travessias, mobiliário urbano adequado, e iluminação podem ser estímulos, conferindo segurança à prática.

O Sistema Cicloviário de Macaé proposto pelo PMU tem como objetivo a valorização dos deslocamentos de pedestres e ciclistas, de acordo com o que recomenda o Ministério das Cidades nos objetivos da Política Nacional de Mobilidade Sustentável. O Sistema visa integrar esses meios de deslocamento com os outros modais, de forma complementar, de acordo com as distâncias e alcance de locomoção de cada um deles, em harmonia com o ambiente urbano, a um custo menor se comparado aos demais.

Levantamentos produzidos para o PMU Macaé (2015) demonstraram que em apenas 2,38% do volume dos deslocamentos as bicicletas foram usadas, enquanto 79,69% utilizaram automóveis

particulares, 5,60% usaram transporte coletivo, e os percentuais restantes por veículos de carga ou a pé.

O município contava com um total de 21,26 km de vias ciclísticas, como ciclovias, ciclofaixas e calçadas compartilhadas, em 2014, de acordo com o Mapa Cicloviário, elaborado (Figura 09).

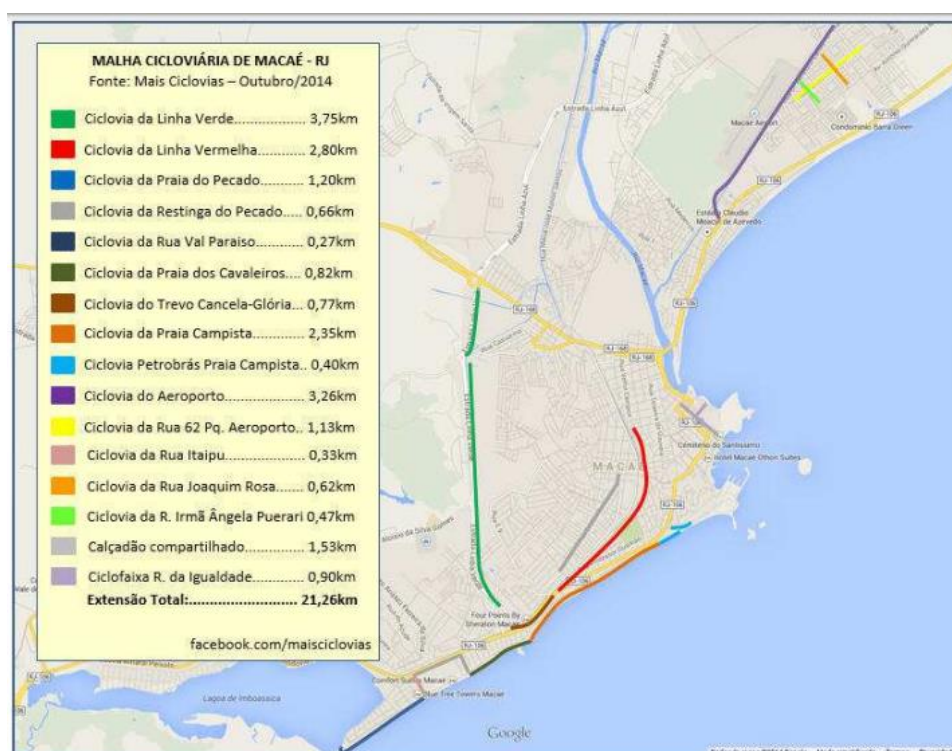


Figura 09 - Mapa Cicloviário de Macaé-RJ. Fonte: <http://www.facebook.com/maisciclovias/>, 2014.

A opção por uma forma de transporte como a bicicleta, mais econômica e adequada ao relevo da área urbana da cidade de Macaé, parece atender não apenas às necessidades dos cidadãos, mas também a uma política de governo.

Através do PMU Macaé (2015) – Plano de Mobilidade Urbana de Macaé – que foi apresentado em maio de 2015, a prefeitura determinou objetivos que abrangem os diferentes aspectos da mobilidade urbana, como aprimoramento dos sistemas de transporte coletivo e de transporte de carga, sistemas de informações sobre a mobilidade na cidade, sistema de estatística e análise de acidentes de trânsito, e programa permanente de segurança no trânsito, a fim de aprimorar a qualidade de vida, seguindo um conjunto de diretrizes e recomendações, baseadas em instrumentos e tecnologias de Mobilidade Urbana Sustentável.

O Plano visa também priorizar o espaço urbano para as pessoas, protegendo o meio ambiente, com estímulo ao uso do transporte não motorizado (pedalar e caminhar); Implantar uma Rede de Ciclovias e de Calçadas integrada à Rede de Transporte Coletivo que permita a circulação segura de pessoas; Modernizar e expandir as Estações e Terminais, provendo-os de locais seguros para a guarda de bicicletas; Modernizar e expandir o Sistema de Sinalização (horizontal, vertical, semaforica mecânica e eletrônica), priorizando o Transporte Não Motorizado (pedestres e bicicletas); Promover pesquisas e fomentar o desenvolvimento tecnológico, voltados para a mobilidade urbana sustentável, através de parcerias com universidades e outras entidades afins.

Ainda como parte do planejamento e gestão da mobilidade, proposto pelo PMU, entende-se que a circulação das pessoas por meios não motorizados, ou seja, a pé, por cadeira de rodas ou de bicicleta, constituem um modo de deslocamento tão importante quanto os demais. Alguns fatores são importantes para que as pessoas decidam pelo deslocamento a pé ou de bicicleta: além do fator socioeconômico, a infraestrutura do espaço urbano como vias exclusivas ou compartilhadas com sinalização, calçadas, travessias, mobiliário urbano adequado, e iluminação podem ser estímulos, conferindo segurança à prática.

O Sistema Cicloviário de Macaé proposto pelo PMU tem como objetivo a valorização dos deslocamentos de pedestres e ciclistas, de acordo com o que recomenda o Ministério das Cidades nos objetivos da Política Nacional de Mobilidade Sustentável. Visa integrar esses meios de deslocamento com os outros modais, de forma complementar, de acordo com as distâncias e alcance de locomoção de cada um deles.

O sistema será composto por 14 rotas, com um total de 73 km (Figura 10), definidas a partir de critérios como: a demanda atual para a circulação de bicicletas, o maior número de acidentes envolvendo ciclistas e as condições da via para a implantação de ciclovia. Cada rota foi classificada em funcional (de trabalho), de lazer ou de serviços (Figura 11). A infraestrutura voltada aos ciclistas foi classificada assim:

Ciclovia

Pista exclusiva para circulação de bicicletas, indicada para instalação em vias de tráfego intenso, representada na Figura 12. Contém dois sentidos de circulação.

Ciclofaixa

Utilizada para separar bicicletas dos demais veículos, seguindo o sentido do fluxo dos demais, a não ser em casos previstos por autoridade de trânsito.

Ciclorrota

Consiste na demarcação de pista para as bicicletas, em vias compartilhadas com outros veículos, com indicação do sentido da via, para locais de baixa velocidade, representada na figura 13.

Calçada ciclável

Passeio com uso simultâneo de pedestres e ciclistas. Deve possuir sinalização identificando que, no passeio, ocorre situação especial com o tráfego compartilhado.

Vias de transporte não motorizado

Vias seguras para pedestres e ciclistas, com trânsito controlado de veículos motorizados.



Figura 10 – Circuito Ciclovitário Proposto – Fonte PMU, 2015.

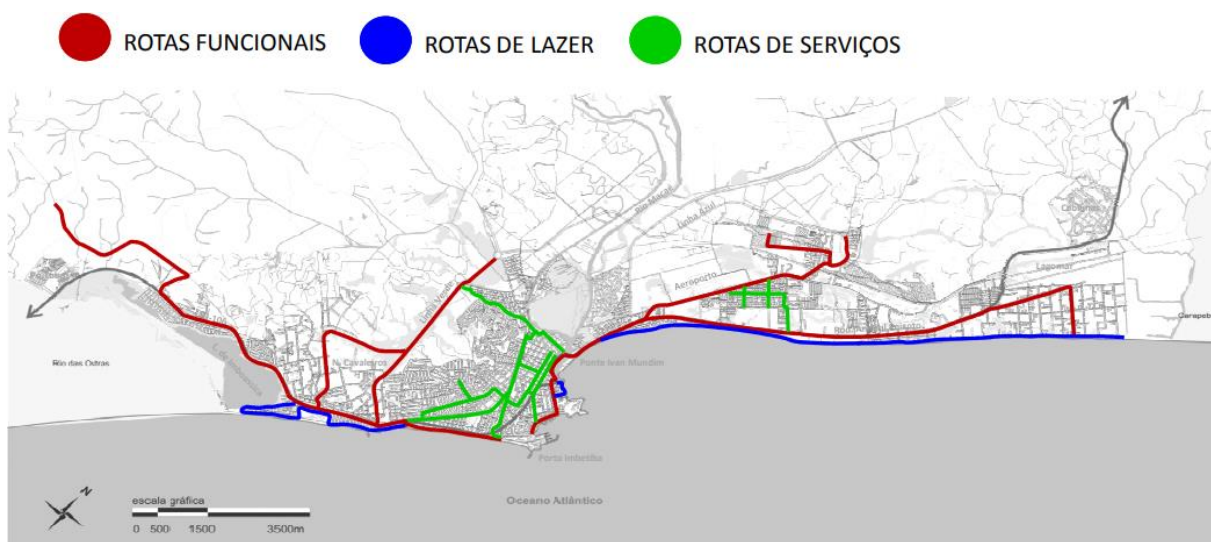


Figura 11 – Circuito Ciclovitário Proposto – Classificação das Rotas – Fonte PMU, 2015.

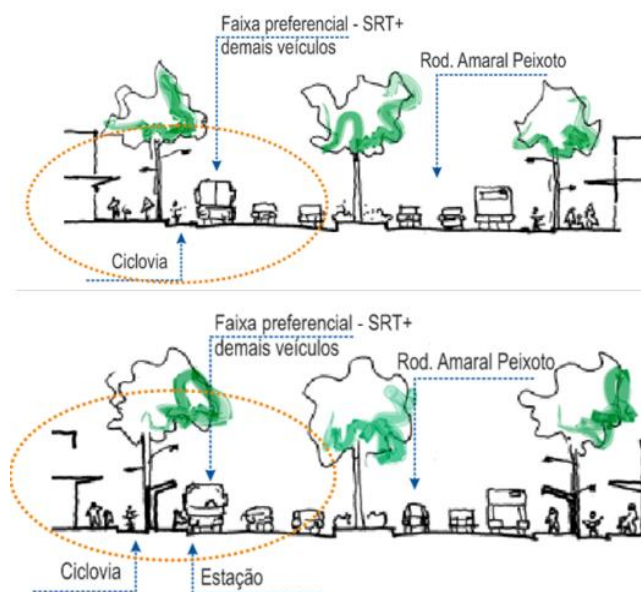


Figura 12 – Detalhe do perfil da Faixa Preferencial e ciclovía – Fonte: PMU – Macaé, 2015.

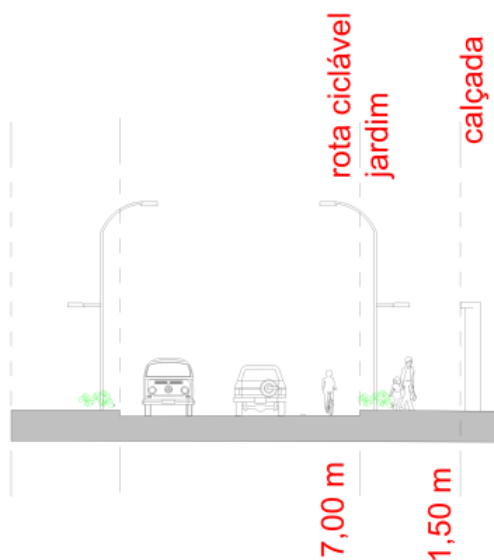


Figura 13 – Detalhe rota ciclável – Fonte: PMU – Macaé, 2015.

Em Macaé, a gestão municipal tem o objetivo de incentivar o uso da bicicleta integrando com outros modais de transporte, segundo o secretário de Mobilidade Urbana:

“Estamos dando andamento a um grande projeto contemplando a sinalização horizontal, inclusive das ciclovias. Além disso, vamos aumentar em três trechos as ciclovias já existentes na cidade. Vamos espalhar paraciclos (bicicletários), por vários locais e dar andamento ao projeto de bike compartilhada. Queremos ser a capital nacional da bike” (Portal da Prefeitura de Macaé, 2021).

Foram produzidos materiais gráficos para divulgação, com orientações aos pedestres, ciclistas, motoristas e motociclistas, alertando sobre o uso e a segurança nas vias. Figuras 14 e 15.



Figuras 14 e 15 – Orientações aos cidadãos – Fonte: PMU – Macaé, 2015.

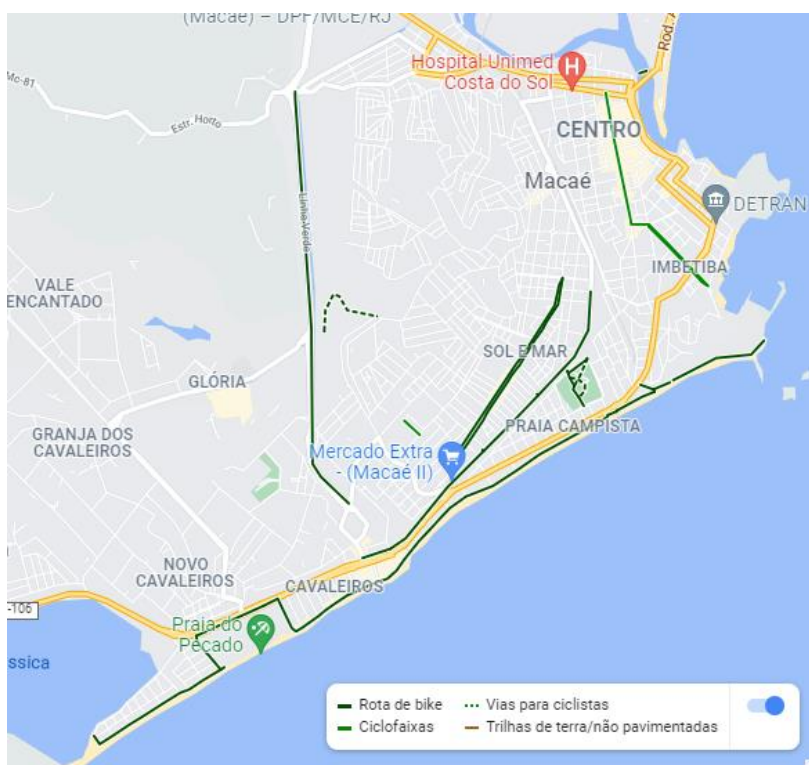


Figura 16 – Macaé. Ciclofaixas, rotas de bicicletas e vias para ciclistas. Fonte: Google, 2021.

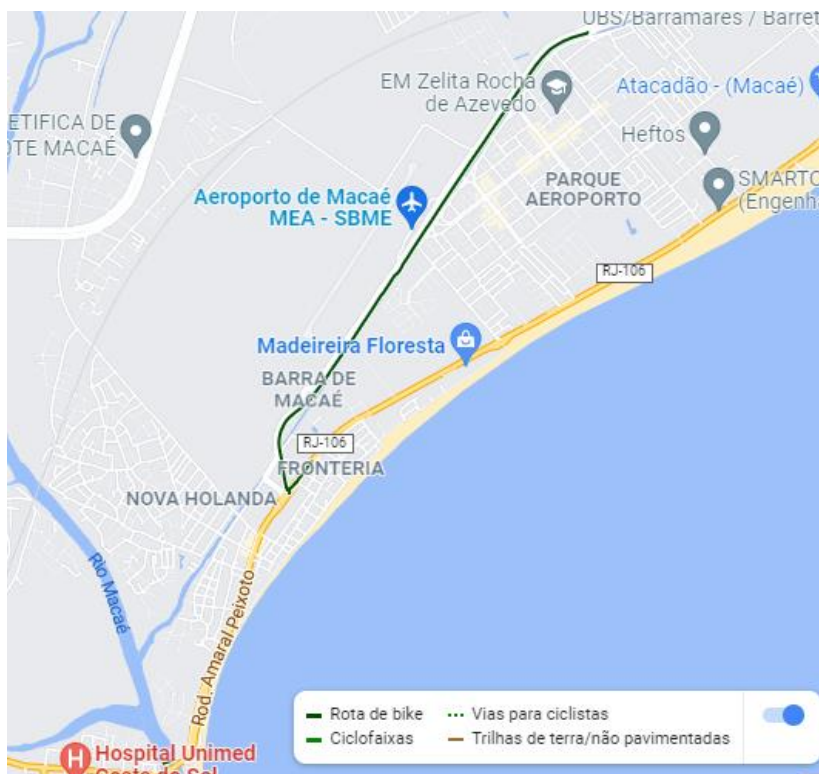


Figura 17 – Macaé. Ciclofaixas, rotas de bicicletas e vias para ciclistas. Fonte: Google, 2021.

3.2 ESPECIFICAÇÕES PARA PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE BICICLETÁRIOS ABASTECIDOS COM ENERGIA SOLAR.

“O uso da bicicleta pode tornar mais atraente o uso do transporte coletivo, permitindo o acesso mais rápido às estações, e aumentando o raio de influência.” (COMISSÃO EUROPÉIA, 2.000). A utilização da bicicleta no dia a dia pode reduzir a quantidade de automóveis realizando viagens com apenas um único passageiro, reduzindo o consumo de combustíveis; estimulando a uma prática saudável; proporcionando uma opção de lazer aos residentes e aos visitantes da cidade; reduzindo o impacto ao ambiente; e estimulando a economia relativa à prestação de serviços no setor, através do fornecimento de equipamentos, acessórios, manutenção, cursos e centros de treinamento de atletas. E assim, alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNDP, 2022) – ODS – são alcançados com a opção por essa forma de transporte:

- ODS 3 - Boa Saúde e Bem Estar - produzindo efeitos na saúde dos usuários, através do estímulo um hábito saudável;

- ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis - propondo uma alternativa de transporte que contribui para reduzir os problemas no trânsito, retardando a necessidade de investimentos na ampliação da rede de transporte coletivo.
- ODS 13 - Ação Climática – reduzindo a quantidade de veículos movidos por motores à explosão em circulação, também são reduzidas as emissões de gases de efeito estufa.

Para estimular o uso da bicicleta é importante garantir a segurança dos ciclistas, tanto nos trajetos a serem percorridos, como na guarda dos seus equipamentos. Para que incentivar o uso das bicicletas diariamente é importante que haja pontos de guarda, que também devem servir para a sua manutenção, nos roteiros utilizados pelos ciclistas. Os chamados bicicletários, devem ser distribuídos junto a pontos de conexão com outros modais de transporte, a fim de ampliar a área de atuação de todo o sistema. Para as distâncias mais curtas, de casa ou trabalho até as estações, a bicicleta pode significar uma economia para o usuário, além de reduzir os impactos das emissões de carbono diminuindo a circulação de veículos movidos a combustíveis, fósseis, e de investimentos em ampliação do sistema de transporte convencional.

Os bicicletários podem cumprir uma função ambientalmente ainda mais relevante: ser pontos de recarga para bicicletas movidas por motores elétricos. Esses veículos podem ampliar o raio de influência das bicicletas, pois têm uma autonomia que pode chegar a 35 km, fazendo com que usuários que se encontram mais distantes possam acessar as estações de integração com modais de transporte coletivo.

Para que signifiquem um avanço ambiental, para além do aspecto social e econômico, os bicicletários devem ser abastecidos por fontes renováveis, através de placas de captação de energia fotovoltaicas, que forneçam energia elétrica para o seu funcionamento (iluminação e tomadas de uso geral), e para a recarga das bicicletas movidas por motores elétricos energia (contemplando o ODS 7 - Energia Acessível e Limpa). Considerando que o usuário deixe o seu veículo no bicicletário, recarregando as baterias, pela manhã quando vier de casa, ao fim de um dia de trabalho, vai encontrá-la em segurança e abastecida para retornar ao lar.

Para gerenciar o sistema, deverá ser desenvolvido um aplicativo (APP), que informará ao usuário o número de vagas em cada ponto da unidade da rede de bicicletários, gerando dados sobre a demanda de cada unidade, com horários de uso, informações que auxiliarão a administração pública no seu planejamento. O cadastro dos usuários é muito importante para o acompanhamento da evolução da demanda. O acesso dos usuários ao aplicativo para fazer a consulta de vagas

disponíveis, assim como o registro do uso feito por funcionários nas unidades da rede, além de otimizar a utilização dos espaços, irá alimentar o sistema de controle com informações atualizadas continuamente, servindo ao planejamento municipal para a ampliação da oferta de vagas.

Não havendo dados para estimar a demanda *a priori*, a especificação para o projeto deve ter uma característica modular, tendo a capacidade de ser instalado em diversos locais, e ser ampliado de acordo com o aumento da demanda.

Os bicicletários devem ter cobertura, onde serão instaladas as placas fotovoltaicas, e com fechamento lateral que garanta a segurança dos veículos e dos equipamentos, privilegiando a ventilação natural. Devem ser instalados próximos aos terminais de transporte coletivo, a fim de integrar o sistema de transporte municipal. Deve ser previsto um espaço para a concessão de uso para prestadores de serviços, como conserto de pneus, manutenção de bicicletas e venda de acessórios. Para segurança do patrimônio e dos equipamentos sob guarda, devem ser instaladas câmeras. Deve haver um setor de recepção e controle, conectado sistema do aplicativo, responsável por disponibilizar as vagas e realizar o cadastro dos usuários. Nesses equipamentos urbanos, devem ser previstos espaços para bicicletas convencionais e bicicletas elétricas, dotados de tomadas para recarga. A distribuição elétrica deve ser instalada em posição elevada em relação ao solo, por segurança.

O módulo básico deve ter capacidade para 08 bicicletas, conforme a figura 18. A proporção entre veículos convencionais e elétricos será determinada pelo estudo de demanda para cada local.

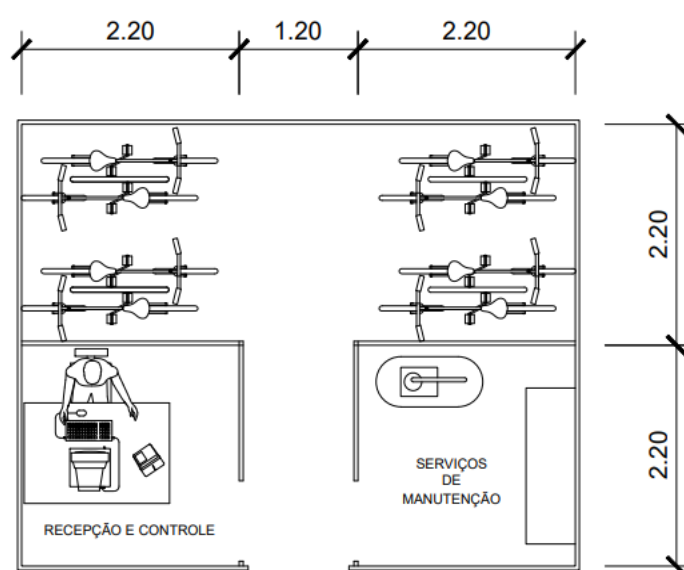


Figura 18 – Módulo básico – Fonte: o autor, 2022.

A cobertura do módulo tem área com capacidade para receber até 21 painéis (figura 19) para geração de energia fotovoltaica, cada um com as dimensões 1,96 m x 0,99 m.

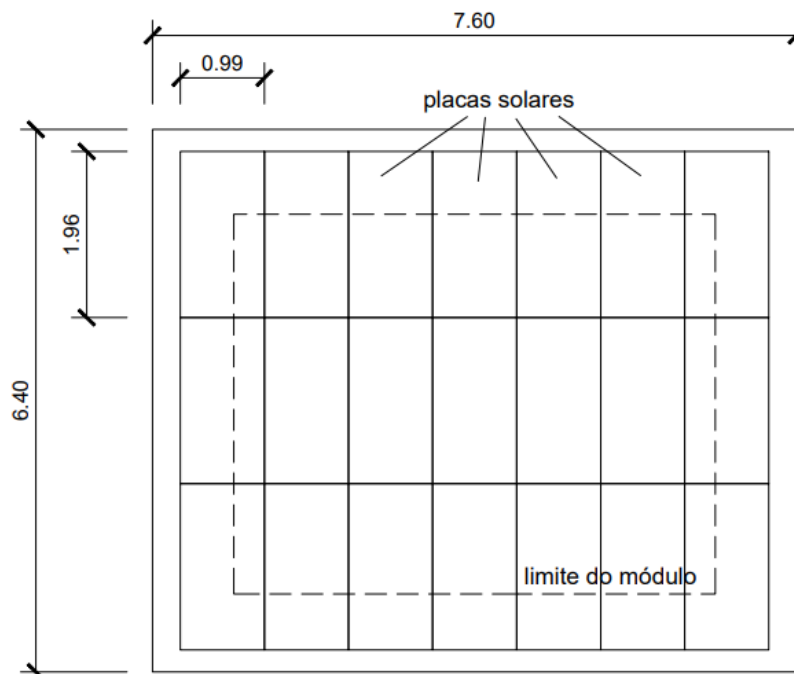


Figura 19 – Cobertura do módulo básico – Fonte: o autor, 2022.

Painéis solares, como os ODA 330-36-P de 330W, da marca OSDA, possuem 72 células de silício policristalino e com capacidade de geração de até 1113Wh/dia. Com dimensões: 1960 x 992 x 40 mm, pesando 22,5 kg e com certificação do INMETRO. Como a geração de energia e o seu consumo nem sempre acontecem simultaneamente, será necessário um banco de baterias, considerando que a radiação solar varia ao longo do dia. As baterias seriam do tipo estacionárias, como as 12MS 234 - 12v -220 Ah, da marca Moura Solar.

Será necessária a instalação de um inversor de corrente, que é responsável por converter a tensão e a corrente contínua (CC) em tensão e corrente alternada (CA). E também um controlador de carga, que é responsável por gerenciar e controlar o processo de carga das baterias, permitindo que elas sejam carregadas completamente. Estes equipamentos serão dimensionados em função da demanda.

Para o estudo, foi utilizado o modelo de bicicleta elétrica ECO-Sousa Bike – 350W (figura 20), com baterias de 48V (4x12V), 12 Ah. Tempo para recarga: 5 horas.



Figura 20 – Bicicleta elétrica – Fonte: Sousa Motos, Manaus, 2022.

Para estimar a capacidade da bateria estacionária, o seu tempo de recarga e sua autonomia para fornecer energia aos veículos elétricos, além do consumo de carga desses veículos, foram elaborados alguns cálculos:

- Capacidade da bateria: $220(\text{Ah}) \times 12(\text{V}) = 2.640(\text{W})$.
- Tempo de recarga: $2.640(\text{W}) / 330(\text{W}) = 8$ horas.
- Autonomia da bateria: $2.640(\text{W}) / 350(\text{W}) = 7,5$ horas.
- Consumo por veículo: $350(\text{W}) \times 5(\text{h}) = 1750(\text{W})$.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi elaborado visando integrar um projeto de pesquisa a um planejamento já em execução: o Plano de Mobilidade Urbana de Macaé (PMU).

Além disso, buscou-se soluções sustentáveis, através da utilização de uma forma renovável de geração de energia, a fotovoltaica; e mais: ao estimular o uso de uma modalidade de transporte que reduz a emissão de gases, reduz o número de automóveis nas ruas, e promove hábitos saudáveis.

Essas soluções são perfeitamente adequadas à cidade de Macaé: predominantemente solar e horizontal.

O estudo fornece informações para serem utilizadas em futuros projetos de construção de bicicletários, com diferentes capacidades para guarda de veículos a serem definidas por estudos de demanda, em cada região. É necessário o desenvolvimento de um aplicativo que faça o gerenciamento do sistema, disponibilizando para o usuário o número disponível de vagas e sua localização, além de gerar dados sobre a demanda de uso por cada local, e sobre os horários de maior utilização, informações importantes para o planejamento da gestão pública.

Ao serem levantadas as necessidades de vagas para cada local, os módulos se ajustam, assim como a quantidade de placas fotovoltaicas e as baterias para acumulação de energia.

As especificações produzidas por este trabalho, servirão como base para a elaboração de edital público para construção dos bicicletários, no qual os projetos de arquitetura concorrentes apresentarão propostas, contendo o partido arquitetônico e a solução espacial adequada à demanda apontada para cada local.

A concessão de uso, para os serviços de manutenção a serem oferecidos nos módulos dos bicicletários, deverão constituir outro edital público.

Para acesso dos usuários aos serviços de guarda, carregamento de baterias e manutenção dos veículos nesses equipamentos urbanos será necessário realizar o cadastro das bicicletas e dos usuários, Essa ação tem como objetivo acompanhar a evolução da demanda, e controlar o fluxo dos veículos.

5. REFERÊNCIAS

BATTARRAA, R. et al - Smart mobility in Italian metropolitan cities: A comparative analysis through indicators and actions. *Sustainable Cities and Society*, volume 41, pp556 – 567, ELSEVIER, 2018.

BENEVOLO, C.; DAMERI, RP. e D'AURIA, B. - Mobilidade inteligente na cidade inteligente. Taxonomia de ação, intensidade de TIC e benefícios públicos. Cham: Springer. <http://www.masdar.ae/11.11.2018> . 2016.

BRANDÃO, J. A. Projeto Técnico: Plano de Mobilidade de Implantação de Ciclovias na Cidade de Araguaína – TO. Universidade Federal do Tocantins, p.14 . 2017.

CET/SP - Manual para Instalação de Paraciclos na Cidade de São Paulo, 2015.

COMISSÃO EUROPEIA - Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro, Luxemburgo, Serviços das Publicações Oficiais das Comunidades Européias, 2000.

CUNHA, M. A. et al. – Livro: Smart Cities : Transformação Digital de Cidades – Programa Gestão Pública e Cidadania - PGPC. Pg 10. São Paulo, 2016.

EUROPEAN UNION. - Directorate General for Internal Policies. Policy Department A: Economic and scientific policy. Mapping Smart cities in the EU. Disponível em: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/507480/IPOL-ITRE_ET\(2014\)507480_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf), 2014.

FILHO, H. G.; HEMÉRITAS, P. C. DA C. Nos caminhos da retirada sustentável, a redenção da bicicleta. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 3, n. 1, p. 149-171, 11. 2009.

GAMA, K et al. - Em Direção a um Modelo de Maturidade Tecnológica para Cidades Inteligentes. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI)*, 8. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2012. p. 513-518. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbsi.2012.14436>. São Paulo, 2012.

IBGE-<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaee/panorama>;
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaee/pesquis> São Paulo a/22/28120, 2021.

IFSC. <https://eventoscientificos.ifsc.edu.br/index.php/SP3/sepei2013/index>, 2013.

JOUMARD, R. et al. - Indicadores de sustentabilidade ambiental no transporte: Uma abordagem interdisciplinar de métodos. Transporte, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Comissão Européia. Bron, 2010.

LAMIM, M. B. - Mobilidade Urbana na Cidade de Macaé-Rj: A Bicicleta como Alternativa Ambientalmente Sustentável. Monografia (bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios, 2014.

LAM, D. & HEAD, P. - Mobilidade urbana sustentável. O. Inderwildi, D. Rei(Eds.), Energia, Transportes, e o Meio Ambiente, Springer, Londres pp359-371, 2012.

MORI, K. & CHRISTODOULOU, A. - Revisão dos Índices e Indicadores de Sustentabilidade: Rumo a um Novo Índice de Sustentabilidade da Cidade (Csi). Revisão da Avaliação de Impacto Ambiental. Science Direct. VOL 32, PG 94-106. Elsevier. 2012.

O'GRADY, M.&O'HARE, G. - “Quão Inteligente é a sua Cidade? ” *CIÊNCIA* 335: 3 1581–1582. DOI: 10.1126/SCIENCE.1217637, 2012.

ORLOWSKI, A. & ROMANOWSKA, P. - Smart Cities Concept: Smart Mobility Indicator. *Cybernetics and Systems* 50:2, 118-131, 2019.

PAIVA, A. B. R. - Mobilidade Urbana: Um Estudo Sobre os Programas de Bicicleta Pública e Projeto para Implantação em MacaéRJ / André Borges Randolpho Paiva. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

PMU Macaé - Plano de Mobilidade Urbana de Macaé. Fundação COPPETC. Prefeitura de Macaé, <http://www.macaee.rj.gov.br/midia/uploads/mobilidade.pdf> , 2015.

RAIS (Relação Anual de Informações Sociais) do Ministério da Economia - ISPER (Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda) https://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_perfil_municipio/index.php, 2021.

RAIS (Relação Anual de Informações Sociais) do Ministério da Economia - ISPER (Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda) https://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_perfil_municipio/index.php (2021).

SPTtrans - <https://www.sptrans.com.br>, 2019.

UN – UNITED NATIONS. – Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental, United Nations, 2021.

UNDP – Metas de Desenvolvimento Sustentável . <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>. 2022.

VASCONCELLOS, E.A. - Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento – Reflexões e Propostas. 3ª edição, Editora Annablume, São Paulo. p.49- 87, 2000.

THIOLLENT, M. J. M. et al - Analisando a pesquisa-ação à luz dos princípios intervencionistas: um olhar comparativo. Educação. Revista Quadrimestral. V.39, n. esp. (supl.), s23-s13, p.5, Porto Alegre, 2016.

CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO

É aspiração de todo habitante das cidades ter acesso a serviços de saúde, de educação, de segurança, de transporte e de lazer, públicos e de qualidade. No conceito que embasa o termo “Cidades Inteligentes”, estão contidos aspectos que proporcionam a evolução das cidades na direção desses objetivos.

A gestão pública dotada de ferramentas que aumentam a sua eficiência, e reduzem seus custos, reflete alguns desses aspectos. O ambiente de negócios que tem foco nos serviços digitais, utilizando plataformas onde todo tipo de operação é realizada, como *e-business* e *e-commerce*, gerando tanto informações ao setor privado como ao setor público, também compõem o escopo das Cidades Inteligentes. E assim é com a educação, com o estímulo ao estudo nas áreas de informação, comunicação e inovação; com a segurança, através dos sistemas remotos de vigilância e controle; com a saúde, nas plataformas de gerenciamento para agendamentos e atendimento.

Mas, em algumas áreas como a mobilidade e o meio ambiente, os aspectos de uma verdadeira Cidade Inteligente revelam-se no cotidiano de seus cidadãos. As atividades diárias são intercaladas por momentos nos quais são necessários os deslocamentos. É quando fica mais evidente a qualidade dos sistemas de transporte, e as opções que são oferecidas para reduzir os congestionamentos, a emissão de gases por motores à explosão, as vias dedicadas ao deslocamento mais lento e saudável, a paisagem protegida.

As iniciativas que promovem a geração distribuída de energia, por fonte renovável e não poluente como a eólica e a fotovoltaica, estão alinhadas com princípios que norteiam uma sociedade mais inteligente, digna de uma Cidade Inteligente.

Os resultados das pesquisas, apresentados nos artigos que compõem esse trabalho, contribuem para a conscientização sobre o potencial para geração distribuída de energia, em ambiente urbano, através de fontes renováveis, não poluentes. Deve ser destacado o incentivo ao uso de um modal de transporte que não emite poluentes, contribuindo para a qualidade de vida dos cidadãos.

São propostas para uma cidade moderna, voltada para um futuro mais sustentável, em sintonia com os preceitos para a construção de uma Cidade Inteligente.