



Análise de Softwares para Avaliação de Potencial Eólico em Ambiente Urbano

Sérgio Augusto da Silva Tenório¹
Marcos Antônio Cruz Moreira²
Augusto Eduardo Miranda Pinto³

Tecnologia Ambiental

Resumo

Para calcular o potencial eólico necessário à 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 do potencial eólico em regiões urbanas costeiras, em especial na cidade de Macaé, RJ.

Palavras-chave: ENVI-met; Promethee-Gaia; Palm; RETScreen e Grasshopper-Rhinoceros.

¹ Instituto Federal Fluminense, PPEA, tenorio.arq@ig.com.br

² Prof. Dr. UFRJ, Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé, PPEA, macruz@iff.edu.br

³ Prof. Dr. UERJ, Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé, PPEA, augustopinto@gmail.com



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 compreende 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, segundo Daily (1991, apud ANDRADE & ROMEIRO, 2009).

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 tão mais eficaz quanto mais próxima esta estiver 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 de cidades brasileiras, destacam-se a eólica e a fotovoltaica. A geração por fonte

solar tem uma grande difusão em áreas urbanas do Brasil, principalmente no Nordeste do país, em função dos níveis elevados de irradiação solar, segundo Simioni (2017, apud DANTAS, 2020). Por outro lado, a geração eólica ainda não é explorada em cidades brasileiras. Em estudos feitos na Região Nordeste, foi possível identificar que o potencial eólico de pequeno porte é relevante, com possibilidade da sua instalação também em centros urbanos, regiões que podem ser exploradas para geração doméstica, por demandarem velocidades de vento mais baixas. Há, portanto, um potencial a ser explorado nas cidades, sobretudo naquelas que reúnem condições geográficas e meteorológicas favoráveis (GUIANNINI et al, 2013). O desenho urbano é, na maioria das situações, complexo e irregular, com variações de forma e na disposição dos volumes construídos, causando mudanças no fluxo do vento, turbulências e desvios de trajetória, mas que também podem causar aceleração na velocidade dos ventos, como no topo de edifícios, favorecendo a geração de energia eólica, segundo Yuan (2012, apud SILVA & ABREU-HARBICH, 2017).

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 planejamento do ambiente urbano, incluindo o planejamento energético, utilizando-se recursos de *softwares*, que serão revisados como objetivo desse artigo.

METODOLOGIA

No início do estudo, uma pesquisa preliminar sobre tipos de *softwares* que pudessem auxiliar na análise do potencial de geração de energia em ambiente urbano, a partir de diferentes tipos de fontes, e com ênfase para as renováveis, foi realizada nas bases de dados do Portal de Periódicos da Capes, identificando os principais *softwares*. Então, foram pesquisados trabalhos nos quais esses softwares houvessem sido utilizados.



A partir desses termos, uma nova pesquisa foi gerada utilizando as palavras-chave: ENVI-met, PROMETHEE-GAIA, PALM, RETScreen e GRASSHOPPER-RHINOCEROS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na pesquisa, encontramos vários *softwares* que se propunham a auxiliar na aquisição de dados, relativos à 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, 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).

Segundo Ku e 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, e da 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. O *software* ENVI-met foi usado no estudo feito na cidade de Taoyuan no noroeste da ilha Formosa, para realizar a simulação CFD. Este estudo foi concentrado na geometria urbana e campo de vento, entretanto, havia uma variedade de tipos de uso da terra na região, incluindo lagoas agrícolas, parques e espaços verdes. 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, observaram 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 no velocidade do vento na vizinhança de edifícios.

Usando o *software* ENVI-met, Bouchahm et al (2008) puderam 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. Observaram como a geometria dos edifícios, e suas disposições sobre o plano do solo, afetam o fluxo do vento em climas úmidos. Testes de simulação identificaram algumas restrições: o *software* considera uma única direção do vento durante a simulação, quando de fato a direção do vento está mudando constantemente, especialmente nas áreas costeiras. A velocidade da simulação em uma região costeira é fortemente influenciada pelas brisas do mar, que resultam em mudanças significativas na velocidade e direção, e não considera o efeito da altitude.

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. É um *software* livre.

Barragán 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. As tecnologias de gás de aterro e fotovoltaica foram as preferidas, enquanto a incineração e a energia eólica foram menos cotadas. A tecnologia eólica é principalmente aplicável em ambientes rurais e em escalas comerciais. No entanto, a sua implantação requer mais progresso tecnológico para uso em ambientes urbanos (MILLWARD-HOPKINS, 2013, apud BARRAGÁN 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 atmosféricas urbanas. 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 (modelo de simulação de grandes vórtices) de resolução de turbulência, o PALM-4U oferece uma parametrização de turbulência. É um *software* livre.

Kurppa et al (2018) 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. Demonstrou-se que a ventilação de poluentes melhora, e a concentração média no nível de pedestres diminui até 9%, introduzindo variações na altura do edifício e limitando o comprimento dos corredores ao longo da avenida, com tráfego intenso. Este é

o primeiro estudo LES de alta resolução que aplica medidas sofisticadas para fornecer estimativas realistas para a remoção de poluentes do ar ao nível de pedestres.

Maronga 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 complexos, com presença de diversos edifícios.

Software: RETScreen

RETScreen é uma ferramenta de estudo de viabilidade, 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. 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), mapas de recursos de energia e curvas de energia de turbinas eólicas. É um *software* livre.

Juaidi 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 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 aplicações de soluções de economia de energia, como aquecedores solares de água, uso de materiais com alto índice de isolamento, eletrodomésticos certificados pela EnergyStar, como frigoríficos e sistemas de iluminação, contribuindo para diminuir o consumo de energia.

Segundo Kumara 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 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.

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, que fornece ferramentas para modelar e documentar desenhos em 2D e 3D. O *plugin* LADYBUG importa arquivos de clima para GRASSHOPPER, oferecendo suporte à avaliação de radiação solar. Já o *plugin* HONEYBEE cria, executa e visualiza simulações de luz do dia, modelos de energia, e fluxo de calor de envelope. Custo das licenças: RHINOCEROS 6 – US\$ 195 (alunos e professores), US \$ 975 (escolas/ laboratórios até 30 usuários); GRASSHOPPER – incluída no RHINOCEROS; ADYBUG, 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 & Cardoso (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. 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 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 01.

Tabela 01: relação: características x custos x adequação

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	<i>Software</i> livre	Permite que as diversas



	múltiplos critérios (MCDA), usado para selecionar tecnologias de geração de energia.		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, com potencial de geração energética eólica.
RETScreen	Ferramenta para avaliar os custos e benefícios financeiros e ambientais de tecnologias de energia renovável.	<i>Software livre</i>	Auxilia nas tomadas de decisão quanto ao uso de diferentes tecnologias para qualquer local do mundo.
GRASSHOPPER - RHINOCEROS - LADYBUG tools	Linguagem de programação visual, que com base em modelagem 3D, e nos plugins, oferece suporte à avaliação 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 transferência de calor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que a pesquisa realizada busca identificar *softwares* que tenham a capacidade de auxiliar na produção de dados, que permitam avaliar as condições mais favoráveis à produção de energia através de fontes renováveis, e em particular a eólica, foram verificadas diferentes performances, pelos diferentes *softwares*:

Com um bom desempenho, 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 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 de energia eólica.

O *software* ENVI-met apresentou resultados interessantes relativos ao potencial de produção de energia eólica, 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.

A AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro ao projeto.

R REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. C. & ROMEIRO, A.R. artigo: **Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”** Texto para Discussão. IE/UNICAMP. Nº 159, maio 2009.

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. Brasil, Campinas. 2018. pag. 27.

BARRAGÁN, A. E. et al. artigo: **Electricity production using renewable resources in urban centres.** Atas do Instituto dos Engenheiros Cívicos – Revista Energia. Volume 171, edição 1, fevereiro de 2018, pp. 12-25.

BOUCHAHM, Y. 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.

DANTAS, S. G. **Oportunidades e Desafios da Geração Solar Fotovoltaica no Semiárido do Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA 2020.



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.

FREITAS, J. S. et al. artigo: **Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug**. Renewable Energy, vol 169,p.1468. 2020.

GUIANNINI, M. et al. **Estudo Prospectivo do Mercado de Energia Eólica de Pequeno Porte no Brasil**. Conferência Brazil Wind Power. 2013.

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, M. 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.

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.

SILVA, L. M. & ABREU-HARBICH, L. V. de. **Metodologia Simplificada para Avaliação do Potencial de Energia Eólica em Centros Urbanos**. v 08, n 01, p.47. Periódicos SBU UNICAMP. 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.

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