

800 - PREVISÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS: O PAPEL DO APLICATIVO NA ANÁLISE DE RISCO ECOLÓGICO

Karin Pinheiro Daniel de Oliveira ⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Priscila Maria de Oliveira Muniz Cunha ⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Gama Filho. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Enrico Mendes Saggioro ⁽²⁾

Farmacêutico pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Doutor em Saúde Pública e Meio Ambiente (FIOCRUZ). Pesquisador do Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Professor titular da Universidade Federal Fluminense (UFF).

Akira Alfredo Akira Ohnuma Júnior ⁽¹⁾

Engenheiro civil pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre e Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA), da Faculdade de Engenharia (FEN) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

André Luís de Sá Salomão ⁽¹⁾

Biólogo (UNIRIO), mestre em Engenharia Ambiental (UERJ) e doutor em *Environmental Science* (Linnaeus University, Suécia). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ (DESMA/UERJ). Coordenador do Grupo de Pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Endereços: ⁽¹⁾ Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rua São Francisco Xavier, 524, sala 5029 Bloco F - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP: 20550-900, e-mail: karinpinheiro.coach@gmail.com

⁽²⁾ Av. Brasil, 4365 - IOC- Pavilhão Lauro Travassos - FIOCRUZ - Manguinhos - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP: 20550-013

RESUMO

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é fundamental para monitorar ecossistemas frágeis como a Lagoa de Jacarepaguá, exigindo uma abordagem que integre ciência, tecnologia e participação comunitária. Este estudo propõe o uso de aplicativos e aprendizado de máquina (*machine learning methods*) para facilitar a coleta de dados e engajar a sociedade civil na gestão ambiental, promovendo sustentabilidade e inclusão. O objetivo principal foi desenvolver modelos para previsões precisas de riscos ecológicos, fornecer subsídios para a tomada de decisão da população e estabelecer um meio automatizado para avaliação de risco ecológico em ambientes naturais e/ou urbanizados. A pesquisa se concentrou na Lagoa de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, que vem sofrendo com o lançamento de esgoto *in natura* e a intensa urbanização de suas margens e rios que nela deságuam. A pesquisa utilizou métodos de aprendizado de máquina para modelar e prever os riscos ecológicos, incluindo redes neurais artificiais, máquinas de vetores de suporte e florestas aleatórias. Para tornar a ARE mais acessível, foi desenvolvido um aplicativo para telefone celular que permite previsões de parâmetros e linhas de evidência (LoE). Os resultados esperados incluíram a criação de modelos precisos para prever riscos ecológicos, a democratização do conhecimento sobre a ARE e a criação de um meio automatizado para a avaliação de risco ecológico. Acredita-se que num futuro próximo este estudo contribuirá significativamente para a literatura existente sobre a Avaliação de Risco Ecológico e proporcionará *insights* úteis para a gestão sustentável dos complexos lagunares.

PALAVRAS-CHAVE: *Machine Learning Methods*, Lagoas Urbanizadas, Modelagem Computacional, Aplicativos Móveis, Gestão Ambiental, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é uma metodologia essencial para a compreensão da saúde ambiental de ecossistemas frágeis, como os complexos lagunares. A Lagoa de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, ilustra os desafios enfrentados por esses ambientes, que são afetados pela poluição, urbanização e desapropriação de espaços naturais (Cunha, 2020). Essa lagoa, afetada pelo lançamento de esgoto *in natura* e pela especulação imobiliária, requer uma abordagem holística que considere não apenas fatores ambientais, mas também a percepção e a participação da comunidade local.

O desenvolvimento de aplicativos móveis para facilitar a coleta de dados e a disseminação de informações é uma inovação significativa. Esses aplicativos permitem que os cidadãos participem ativamente no monitoramento da qualidade da água e na avaliação dos riscos ecológicos, democratizando o acesso à informação e promovendo uma gestão ambiental mais inclusiva (Andrade & Barbosa, 2015).

A sistematização dos dados e a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina têm potencial para transformar a forma como a ARE é realizada, assim como já realizado em outras áreas da ciência (Castillo-Garrit, 2017; Costa et al., 2020). Com um enfoque na Lagoa de Jacarepaguá, este estudo buscou não apenas avaliar os riscos ecológicos, mas também fornecer uma ferramenta prática para que a sociedade civil possa influenciar positivamente a gestão de seus recursos hídricos de forma prática e ativa. A expectativa é que este trabalho contribua para a literatura sobre avaliação de risco ecológico, promovendo um modelo de gestão que priorize a sustentabilidade.

Em suma, a integração entre tecnologia, ciência e sociedade é essencial para enfrentar as complexas questões ambientais que cercam os complexos lagunares. A colaboração entre pesquisadores, gestores e a comunidade local é fundamental para garantir a eficácia das políticas ambientais e a preservação desses ecossistemas (Marinho & Giordano, 2020; Wendt, 2015).

OBJETIVOS

A proposta deste estudo foi desenvolver uma plataforma automatizada para a avaliação de risco ecológico, utilizando técnicas de aprendizado de máquina. Além disso, este trabalho visou demonstrar como a aplicação de métodos computacionais, como redes neurais artificiais e máquinas de vetores de suporte, permitirá em um futuro próximo realizar uma previsão mais precisa e automatizada dos riscos ecológicos, facilitando a gestão sustentável das águas superficiais.

METODOLOGIA UTILIZADA

O presente estudo foi realizado com os dados obtidos no monitoramento da Lagoa de Jacarepaguá (RJ), sendo proposta uma abordagem inovadora para a ARE em complexos lagunares, combinando ciência e tecnologia. A pesquisa foi estruturada como um estudo de caso, utilizando métodos científicos e aplicados para analisar os riscos ecológicos e desenvolver uma plataforma automatizada para auxiliar na gestão sustentável desses ecossistemas.

A coleta de dados abrangentes sobre qualidade da água e biodiversidade na Lagoa de Jacarepaguá foi realizada a partir de fontes confiáveis como das pesquisas realizadas no Grupo de Pesquisa BIOTEMA (Cunha, 2020; Sousa, 2021). Esses dados foram devidamente organizados e padronizados para garantir a precisão das análises.

A metodologia da ARE foi baseada na Tríade Holandesa, que considera três Linhas de Evidência (LoE): química, ecotoxicológica e ecológica. No entanto, foi incluída a linha de qualidade da água, como uma quarta LoE. Cada LoE foi calculada e integrada, permitindo uma avaliação detalhada dos riscos, baseado na metodologia descrita por Chapman (1990) e adaptada por Cunha (2020) e Sousa (2021). O índice de qualidade da água (IQA) foi determinado por parâmetros físico-químicos e microbiológico, a linha química identificou e quantificou compostos do grupo dos aditivos plásticos, a ecotoxicológica foi avaliada por meio de ensaios com microalgas e microcrustáceos e a linha ecológica pela análise da riqueza e abundância do fitoplâncton (Cunha, 2020; Sousa, 2021).

Diversos modelos de aprendizado de máquina, incluindo redes neurais artificiais, máquinas de vetores de suporte e florestas aleatórias, foram utilizados no presente estudo para estimar os riscos ecológicos, incluindo modelos preditivos, que utilizam técnicas de aprendizado de máquina, como *Random Forest*. A precisão dos modelos foi avaliada para determinar o modelo mais eficaz para a Lagoa de Jacarepaguá.

O código foi escrito em *Python*, utilizando *frameworks* como *Scikit-learn*. A análise de dados envolveu técnicas de pré-processamento e modelagem estatística, dividindo os dados em 80% para treinamento e 20% para validação, onde o parâmetro de avaliação foi o RMSLE - *Root Mean Squared Logarithmic Error* (Erro Quadrático Médio Logarítmico) e a eficácia dos modelos foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e distribuição dos resíduos. (Liu et al., 2009; Castillo-Garit, 2017).

A partir deste conjunto de metodologias inovadoras para a avaliação de risco ecológico, o presente estudo pretende integrar ciência, tecnologia e participação comunitária, garantindo uma maior contribuição de todos os agentes locais envolvidos para a gestão sustentável dos complexos lagunares, como a Lagoa de Jacarepaguá.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos ainda estão em desenvolvimento e a expectativa é que estes apresentem elevado coeficiente de determinação (R^2), indicando uma robusta capacidade de previsão. Além disso, a implementação do aplicativo de previsões de parâmetros da ARE irá democratizar o acesso à informação ambiental. Isso é crucial para aumentar a conscientização das comunidades locais sobre as condições ecológicas da lagoa, potencialmente levando a futuras ações preventivas e corretivas.

O conjunto de dados da ARE foi analisado para determinar o modelo mais adequado para estimativa do risco integrado. O modelo que apresentou o melhor desempenho foi o *Random Forest Regressor* (RF) (Figura 1), apresentando RMSLE de 0,0286, o menor valor entre os modelos avaliados.

A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais artificiais, mostrou-se fundamental para gerar previsões precisas sobre a qualidade da água e a ecotoxicidade na Lagoa de Jacarepaguá. A validação dos modelos, realizada com conjuntos de dados independentes, apresentou um coeficiente de determinação (R^2) elevado, demonstrando que os algoritmos foram capazes de capturar a variabilidade dos dados e fornecer previsões confiáveis dos riscos ecológicos, mesmo em ambientes sujeitos a intensas pressões antrópicas e variações ambientais.

O coeficiente de determinação (R^2) é uma métrica estatística amplamente utilizada para avaliar a qualidade do ajuste de um modelo de regressão aos dados. No caso do modelo *Random Forest Regressor*, um R^2 elevado (0,967), indica uma alta precisão nas previsões realizadas pelo modelo, refletindo sua eficácia em capturar as relações presentes nos dados (Olden & Poff, 2008).

	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE
0	Random Forest Regressor	0.0369	0.0021	0.0454	0.9672	0.0286	0.0405

Figura 1: Valores dos erros encontrados para o conjunto de dados.

Para validar os resultados, foi realizada uma comparação entre os valores reais e os valores preditos pelo modelo, com o objetivo de identificar possíveis diferenças significativas (Figura 2).

	RiscoIntegradoFinal	prediction_label
31	0.80	0.752947
4	0.71	0.824928
13	0.83	0.911724
26	0.90	0.963253
28	0.95	0.927690
34	0.83	0.882415
18	0.00	0.055592
17	0.90	0.961598
11	0.69	0.607912
5	0.78	0.819109
29	0.90	0.914716

Figura 2: Massa real de dados e o predito pelo modelo *Random Forest Regressor* (RF).

Além disso, foi avaliada a distribuição dos resíduos da amostra configurando numa distribuição normal (Figura 3). A distribuição normal dos resíduos é importante ser analisada em regressão linear, pois muitos métodos estatísticos assumem que os resíduos seguem uma distribuição normal, ou seja, a diferença entre os valores observados e os valores preditos conforme foi apresentado nas figuras anteriores. Quando grande número de variáveis aleatórias independentes tende a se distribuir normalmente, é fundamental para a validade de testes estatísticos (Olden & Poff, 2008).

Além disso, a partir da análise dos resultados obtidos foi possível verificar que as previsões do modelo estiveram alinhadas com os valores reais encontrados nos estudos de Cunha (2020) e Sousa (2021), ou seja, o modelo não está apenas fazendo previsões precisas em média, mas também previsões individuais precisas. Isso é especialmente importante e um grande avanço no desenvolvimento desta metodologia, pois em muitas aplicações práticas, onde a precisão de previsões individuais pode ser tão importante quanto a precisão média, e no presente estudo, esta questão foi confirmada.

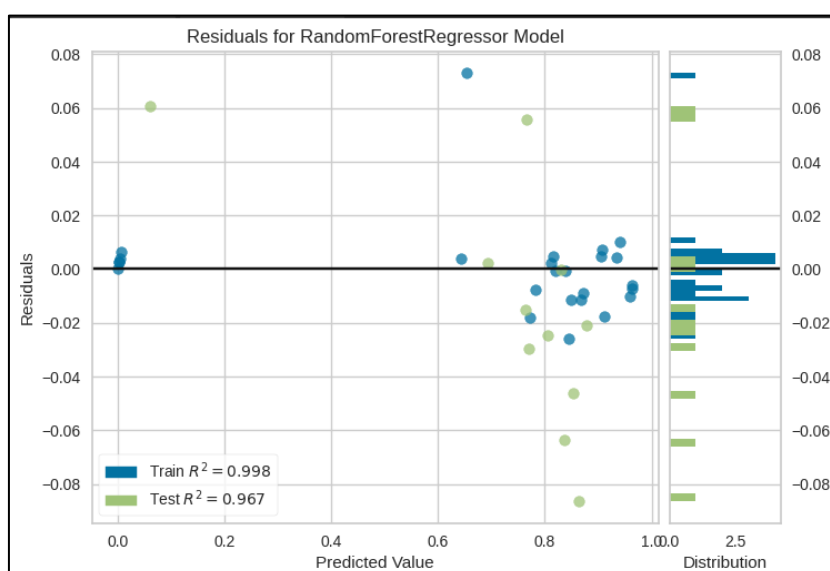


Figura 3: Distribuição normal dos resíduos da regressão da massa de dados que foi treinada e a que foi testada.

Sendo assim, foi criado um modelo treinado para gerar as estimativas do risco integrado da ARE. Este modelo foi implementado em um aplicativo *mobile* desenvolvido em *Python* para que fosse possível utilizar uma massa de dados não analisado pelo modelo, e este apresentasse uma estimativa do valor do

risco integrado da ARE bem ajustada aos dados.

A plataforma automatizada para Avaliação de Risco Ecológico (ARE), integrada a ferramentas de modelagem computacional (Figura 4), representa uma inovação significativa na gestão ambiental. Ao tornar o processo mais eficiente e acessível, a plataforma facilita análises que tradicionalmente exigem tempo e conhecimento técnico especializado, oferecendo subsídios valiosos para a tomada de decisões tanto por gestores públicos quanto pela população. Com o avanço dessa tecnologia, espera-se que, em um futuro próximo, centenas de usuários, incluindo profissionais da área ambiental e tomadores de decisão, possam realizar avaliações com maior autonomia e precisão.



Figura 4: O layout da plataforma automatizada com o menu Previsão - estima o risco integrado - e os futuros menus em produção.

A capacidade de prever ou estimar com precisão os riscos ecológicos é fundamental para a adoção de ações corretivas em tempo hábil, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais, como a contaminação da água e a perda de biodiversidade. Essa abordagem fortalece a gestão sustentável dos complexos lagunares e promove a melhoria da qualidade de vida das comunidades que vivem no entorno desses ecossistemas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi apresentada uma abordagem inovadora para a aplicação de uma ARE em complexos lagunares, focando na Lagoa de Jacarepaguá, um ecossistema que enfrenta sérios desafios decorrentes da poluição e da urbanização descontrolada. A integração de métodos de aprendizado de máquina na análise é um marco significativo na gestão ambiental, prevenindo de riscos ecológicos antes mesmo que estes aconteçam.

A utilização de algoritmos como *Random Forest* demonstrou a capacidade de modelar e prever riscos de maneira eficiente, contribuindo para a construção de um entendimento mais robusto das interações entre atividades humanas e a saúde ambiental. Os resultados esperados incluem não apenas a criação de modelos preditivos, mas também a democratização do conhecimento através de aplicativos móveis que facilitam o acesso à informação sobre a qualidade da água e outras variáveis ambientais.

O desenvolvimento de uma plataforma automatizada para a avaliação de risco ecológico representou um avanço prático em relação aos métodos tradicionais, que muitas vezes são complexos e inacessíveis para a população geral. A implementação de aplicativos permitirá a coleta de dados e o cálculo da ARE em

tempo real, promovendo um modelo participativo e ativo de gestão ambiental.

Além disso, a pesquisa contribuiu para a literatura existente ao fornecer *insights* que podem ser aplicados em outros contextos urbanos e ambientes naturais urbanizados que enfrentam problemas semelhantes. A abordagem integrada, que combinou tecnologia, ciência e participação social, foi essencial para abordar os desafios contemporâneos da degradação ambiental e para promover um futuro sustentável.

Finalmente, a capacidade de prever com precisão os riscos ecológicos permitirá ações proativas que podem mitigar os impactos adversos da urbanização, contribuindo para a resiliência do ecossistema da Lagoa de Jacarepaguá e promovendo a sustentabilidade na região. A experiência adquirida neste estudo poderá servir como um modelo para outras regiões que buscam equilibrar desenvolvimento urbano com a conservação ambiental, apoiando a construção de um futuro mais sustentável e resiliente.

AGRADECIMENTOS

O estudo contou com bolsa da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P., 2015. Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da ilha do Fogo, na República de Cabo Verde. *Revista de Geografia* (UFPE), 32(2), 248-266. Disponível em: shorturl.at/hopA0
- CASTILLO-GARIT, J. A.; CASAÑOLA-MARTIN, G. M.; BARIGYE, S. J.; PHAM-THE, H.; TORRENS, F.; TORREBLANCA, A., 2017. Machine learning-based models to predict modes of toxic action of phenols to *Tetrahymena pyriformis*. SAR and QSAR in *Environmental Research*, 28(9), 735-747. Disponível em: shorturl.at/prJK5
- COSTA, D. C. L.; DE OLIVEIRA COSTA, H. A.; CASTRO, A. P. S.; CRUZ, E. C.; NETO, J. L. A.; AMP; DA CRUZ, B. C. C. 2020. As dimensões das Modelagens Matemática e Computacional prescrevidas à Gestão Ambiental. *Research, Society and Development*, 9(10), e6939109013-e6939109013.
- CUNHA, P.M.O.M. (2020). Avaliação de risco ecológico da Lagoa de Jacarepaguá - RJ. Dissertação. Disponível em: <https://www.bdt.uerj.br:8443/handle/1/17637>
- LIU, H.; YAO, X.; GRAMATICA, P., 2009. The applications of machine learning algorithms in the modeling of estrogen-like chemicals. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 12(5), 490-496. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1062936X.2017.1376705>
- MARINHO, K.; GIORDANO, G., 2020. Proposta de Ferramenta Estatística para Controle de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais. *Revista Internacional de Ciências*, 10(1), 56-73. Disponível em: shorturl.at/fCDT1
- OLDEN, J. D.; POFF, N. L. (2003). Realizing the full potential of adaptive management: A review of the recent literature. *Ecological Applications*, 13(4), 919-924.
- OLDEN, J. D.; LAWLER, J. J.; POFF, N. L. (2008). Machine learning methods without tears: a primer for ecologists. *Quarterly Review of Biology*, 83(2), 171-193.
- SOUSA, J. S. D. D. Avaliação de risco ecológico da Lagoa de Jacarepaguá-RJ: presença de aditivos plásticos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro. 2021.
- WENDT, N. C. 2015. Construção de um banco de dados e sistema de análise sobre respostas biológicas de fauna aquática exposta a diferentes xenobióticos. Disponível em: shorturl.at/bnzF1