



## **Formação de uma morfologia submarina antropocênica (*Anthropocene Submarine Landscape*) no delta do rio Paraíba do Sul (RJ) após 70 de erosão costeira**

Guilherme Borges Fernandez<sup>1</sup>  
João Manega Daniel<sup>2</sup>  
João Regis dos Santos Filho<sup>3</sup>  
Mahathma Aguiar Barreto<sup>4</sup>  
Beatriz Abreu Machado<sup>5</sup>  
Thais Baptista da Rocha<sup>6</sup>

### **RESUMO**

O delta do rio Paraíba do Sul (RJ) é um típico delta assimétrico dominado por ondas, marcado por uma sucessão de cristas de praia que se desenvolveram a partir da ação concomitante entre o abaixamento do nível do mar e disponibilidade de sedimentos plataformais e modernos, ao longo do Holoceno. Mesmo sendo uma feição tipicamente regressiva, nos últimos 70 anos diferentes trabalhos documentaram processos erosivos na parte meridional do delta, afetando diretamente a localidade de Atafona, que se tornou um marco geográfico de erosão do litoral brasileiro. Apesar do número expressivo de trabalhos sobre a erosão costeira na cidade, nenhuma investigação científica foi realizada no sentido de se identificar como que a morfologia submarina se apresenta, após mais de sete décadas de processos erosivos na área. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal investigar e analisar a morfologia do fundo marinho, na área previamente ocupada pelas edificações da cidade de Atafona. Para a determinação morfológica foram realizados levantamentos sonográficos de investigação do substrato submarino, a bordo de embarcação tipo traineira, com auxílio de um sonar de varredura lateral, entre a batimétrica de 2m até aproximadamente 6m. O mosaico acústico foi processado em gabinete com auxílio de programa *SonarWiz*. Uma vez construído o mosaico de retroespalhamento, foram interpretados diferentes padrões sonográficos, classificados seguindo a separação entre retroespalhamento de origem antropocênica e naturais. A distribuição dos padrões acústicos foi sobreposta com a evolução da linha de costa entre os anos de 1954 e 2023, no sentido de se comparar áreas previamente ocupadas pela cidade, e os aspectos de retroespalhamento de fundo marinho. Os resultados mostraram que nas áreas proximais à costa, o fundo marinho apresentou padrões acústicos que indicaram que as edificações destruídas pelas ondas, se encontram lastreadas por características de alta retrodispersão, em um fundo marinho irregular indicativo das edificações destruídas. A maior concentração de tipo de padrão acústico se deu justamente nas antigas áreas edificadas da cidade de Atafona. Foram identificados também padrões acústicos que mostraram influência antrópica sobre o fundo oceânico, relacionados a artefatos de pesca e embarcações. Nas áreas mais distais do levantamento submarino foram identificados padrões acústicos típicos da ação de ondas sobre fundo arenosos, com marcas de ondulações e *sandwaves*, associados à frente deltaica. Fora da área de influência de ondas, padrões acústicos de baixa intensidade e textura

<sup>1</sup> Professor no Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense - RJ, guilhermefernandez@id.uff.br;

<sup>2</sup> Doutorando em Dinâmica dos Oceanos e da Terra. Universidade Federal Fluminense - UF, manenga10@gmail.com;

<sup>3</sup> Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro - RJ, joaoregis@id.uff.br;

<sup>4</sup> Graduando do Curso de Geofísica da Universidade Federal - UF, mahathmaaguiar@id.uff.br;

<sup>5</sup> Doutoranda em Geografia da Universidade Federal Fluminense - RJ, abreu\_beatriz@id.uff.br

<sup>6</sup> Professora no Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense - RJ, thaisbaptista@id.uff.br;



homogênea foram interpretados como lamas de prodelta. Tais características de fundo foram descritos como características naturais, encontrados em ambientes deltaicos. A partir dos diferentes padrões acústicos identificados, conclui-se que após 70 anos de erosão costeira, formou-se uma paisagem submarina relacionada ao Antropoceno, em se sugere a utilização do termo *Anthropocene Submarine Landscape* (ASL), em função da destruição da cidade de Atafona ter sido essencialmente recente relacionada a uma morfologia induzida pela ação concomitante entre processos erosivos e a ocupação da Atafona, ou seja, derivado diretamente da destruição da cidade e distribuição deste padrão na zona submarina. Por outro lado, o delta do rio Paraíba do Sul ainda apresenta características típicas de sedimentação deltaica.

**Palavras-chave:** Antropoceno, Padrões Acústicos, Sonar de Varredura Lateral, Deltas Assimétricos.

## INTRODUÇÃO

Deltas representam planícies costeiras que se desenvolveram durante o Quaternário em função do aporte sedimentar moderno, em conjunto com sedimentos plataformais, que ao serem depositados proximais à foz de um rio, se sobrepõe à capacidade de forças oceanográficas dispersarem estes materiais, de forma que se torna notável a alteração na morfologia litorânea não somente emersa, mas também submarina. Em função de uma série de ambientes deposicionais formados durante a evolução quaternária dos deltas, estes foram fundamentais para o estabelecimento de diferentes grupos sociais, principalmente em deltas formados no Mar Mediterrâneo e no Oceano Índico (Stanley e Warne, 1997, Anthony et al. 2024).

A concentração populacional sobre os deltas localizados na costa mediterrânea e asiática tem sido identificados como representativos da pressão que estas áreas têm sofrido na descaracterização dos ambientes deposicionais formadores destas feições (Renaud et al., 2013; Nicholls et al., 2020). A partir das atuais incertezas sobre as condições ambientais desenvolvidoras das planícies deltaicas, tal concentração socioeconômica indica que estas áreas mais vulneráveis a mudanças globais, como por exemplo elevação no nível do mar e inundações (Ericson et al., 2006), ou mesmo a própria ocupação poderia alterar as condições naturais evolutivas esperadas para estas planícies (Syvitski e Saito, 2007). Desta maneira, os deltas podem ser considerados como *hotspots* das intervenções do homem sobre a estrutura e funcionamento de diferentes ambientes, definido como Antropoceno (e.g. Zalasiewicz et al., 2010).

Se os deltas observados na Ásia e Mediterrâneo são sensivelmente ocupados, o mesmo não se pode dizer para os deltas localizados na costa oriental brasileira (e.g. Martin et al, 1997; Dominguez, 2009; Fernandez et al, 2019; Dominguez, 2023). A



ocupação rarefeita deve-se ao histórico da ocupação costeira durante o período colonial brasileiro, que privilegiou baías e reentrâncias litorâneas, como áreas mais favoráveis para a fixação das primeiras cidades. Mais do que a ocupação diferenciada em relação aos deltas no hemisfério norte, os deltas localizados na costa oriental brasileira têm como principal característica geomorfológica o desenvolvimento assimétrico, ajustado a condições de abaixamento do nível relativo do mar durante o Holoceno Médio e Superior, assim como a ação de ondas de alta energia (Fernandez et al, 2019; Dominguez, 2023), em que o Paraíba do Sul representa talvez o mais típico exemplo de tais condições.

O delta do rio Paraíba do Sul (RJ) é um delta assimétrico dominado por ondas, marcado por uma sucessão de cristas de praia que geomorfologicamente mostra a ação diferenciada das ondas a barlar (*updrift*) e a sotamar (*downdrift*) (e.g. Dominguez, 1996; Vasconcelos et al, 2016; Rocha et al, 2019; Fernandez et al, 2023). Mesmo sendo uma feição tipicamente progradante, nos últimos 70 anos diferentes trabalhos documentaram processos erosivos na parte meridional do delta, afetando diretamente a localidade de Atafona (Figura 1), que se tornou um marco geográfico de erosão do litoral brasileiro (e.g. Machado et al, 2024; Fernandez et al, 2023, Vasconcelos et al, 2019). Atafona se localiza justamente junto a costa, na margem direita da foz do Paraíba do Sul, no trecho a barlar, que em condições de deltação assimétrica é marcada por períodos intermitentes de erosão e progradação. Estes períodos estão marcados por truncamentos erosivos observáveis pela mudança de alinhamento da orientação das cristas de praia (Rocha et al, 2019), relacionadas a flutuações hidrodinâmicas envolvendo os fluxos fluviais e a ação de ondas (Ainsworth, et al, 2019).

Apesar do expressivo número de trabalhos sobre a erosão costeira em Atafona, nenhuma investigação científica foi realizada no sentido de se identificar como que a morfologia submarina se apresenta, após mais de sete décadas de processos erosivos na área. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal investigar e analisar a morfologia do fundo marinho, na área previamente ocupada pelas edificações da cidade de Atafona, documentadas por dados sonográficos obtidos por sonar de varredura lateral (SVL) e comparados com o comportamento da linha de costa entre 1954 e 2023.



Figura 1. Localização da cidade de Atafona junto a margem direita da foz do rio Paraíba do Sul. As linhas tracejadas indicam a trajetória de navegação realizada durante o levantamento sonográfico na zona submarina adjacente.

## METODOLOGIA

O Sonar de Varredura Lateral (SVL) um equipamento que emite ondas acústicas, que quando refletidas no fundo marinho, fornece imagens de alta resolução do substrato. Devido à sua baixa orientação angular e altas frequências (entre 100 e 1.200 kHz) permite o registro das características texturais do fundo do mar, sendo ideal para identificação de diferentes objetos a partir padrões de retroespalhamento. O equipamento é um transdutor que emite feixe único, como se fosse uma espécie de torpedo, para se evitar perturbações na emissão acústica e diminuir sua resistência ao se deslocar na água. O SVL emite sinais acústicos com um amplo ângulo transversal e um ângulo longitudinal sendo sua utilização feita a meia nau ou rebocado pela popa.

O levantamento sonográfico com SVL foi realizado em novembro de 2023, seguindo protocolos de coleta de dados para condições de águas rasas. A operação foi feita a bordo de embarcação tipo traineira, que permitiu uma navegação em batimétricas inferiores a 2 metros. O SVL utilizado foi o modelo StarFish 452F Pro, operando com



uma frequência acústica de 410 kHz e uma escala lateral de até 150 metros, resultando em um alcance efetivo de aproximadamente 75 metros para cada lado. O sonar foi fixado a meia nau da embarcação, submerso a uma profundidade aproximada de 1,5 metros, minimizando interferências do casco. A aquisição dos dados foi realizada com o software Starfish Scanline 2.0, que permitiu a recepção e registro das informações coletadas pelo sonar.

As linhas de navegação foram projetadas para garantir 100% de cobertura do fundo marinho, utilizando feixes com abertura de até 100 metros (Figura 1). A área total investigada foi de 42,2 km<sup>2</sup>, e a velocidade média da embarcação durante o levantamento foi mantida entre 4/5 nós, com as linhas de navegação expostas na Figura 1. Para garantir as coordenadas geográficas das linhas de aquisição foi utilizado um GPS diferencial modelo Hemisphere R130, instalado na mesma haste do sonar, eliminando discrepâncias entre as coordenadas do sistema de posicionamento e do equipamento acústico.

Os dados obtidos pelo SVL foram padronizados em coordenadas UTM, e em foram importados para o software SonarWiz 7.09.01, para a determinação de padrões de retroespalhamento, seguindo procedimentos padrão para este tipo de registro, e interpretação. Após a interpretação e distribuição geográfica dos diferentes padrões de retroespalhamento, esta distribuição foi comparada com diferentes posições da linha de costa para os anos de 1954, 1974, 2005, e 2023, conforme determinado por Machado et al. (2024).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A distribuição de fragmentos antropogênicos de retroespalhamento derivados das imagens do SVL estão representados espacialmente na Figura 2, em que foram plotados padrões mínimos de aproximadamente 0,10 metros. Ainda na Figura 2 foram destacados padrões de retroespalhamento que descrevem fundos relacionados à influência antrópica, representados por concentração de detritos proximais à costa, na área em frente à cidade de Atafona (Figura 1A) e padrão de retrodispersão derivado de embarcação tipo traineira (Figura 1B). Os resultados dos sonogramas representando padrões acústicos ou de retroespalhamento marinho em substrato sedimentar foi variável em função da granulometria, em que foram identificados como resultado da ação de ondas sobre fundo



marinho coberto por areias, descritos na Figura 1C, ou pela ocorrência de retrodispersão associado a distribuição de lamas prodeltaicas, exemplificada pela Figura 1D.

Como se trata de uma área deltaica associada às ondas, a identificação de padrões de retrodispersão derivadas de distribuição sedimentar, indicam correlação com estudos prévios que identificaram a distribuição granulométrica na área. Dias e Gorini (1980) foram os primeiros a identificarem a ocorrência de sedimentos arenosos proximais à foz, que foram descritos como formadores da frente deltaica. Estes sedimentos arenosos seriam resultado da contribuição direta de areias de origem fluvial, que sofreriam retrabalhamento pela ação de ondas, formando uma série de barras submarinas. Posteriormente Murillo et al (2009) a partir de dados de sísmica de alta resolução mostraram que de fato as areias estão depositadas junto à foz, pela menor penetração das ondas sísmicas. Vasconcelos et al (2016) mapearam a ocorrência destas barras arenosas indicando que estas tenderiam a se deslocar para norte, em função de ondas do quadrante sul. Tais estudos quando comparados com os resultados obtidos pelo SVL, de fato fica evidente que as areias com marcas de ondulação indicam que a ação de ondas se faz notar pela distribuição de marcas de ondulações junto à foz, marcando padrões de retrodispersão da frente deltaica (Figura 1D). A ocorrência de lamas prodeltaicas mais distais identificadas no SVL, também estão de acordo com a distribuição deste padrão sedimentar descritos por Dias e Gorini (1980) e Vasconcelos et al (2016) a partir de coletas de materiais por meio de busca fundo, e por Murillo et al (2009) por sísmica.

A distribuição temporal do comportamento da linha de costa está representada na Figura 2, com os resultados indicando que gradualmente a linha de costa entrou em processos de recuo no intervalo entre 1954 e 2023, ou seja, nos últimos 70 anos. Quando comparados os resultados do comportamento da linha de costa com os padrões de retroespalhamento, nota-se que existe uma maior concentração de fragmentos, ou mesmo a superposição destes elementos na área mais proximal à costa, sugerindo que o processo erosivo identificado criou as condições para um fundo identificado na Figura 2A. Este padrão é interpretado de maneira que o gradual recuo da linha de costa identificado por Machado et al (2024) seria o principal responsável pela concentração de destroços proximais à costa, justamente na área de Atafona. Como a cidade foi destruída ao longo dos anos, o fundo marinho que deveria ser de areias depositadas em trechos na zona de surfe, e lamas nas maiores profundidades, conforme identificado por Rocha et al (2018) para o trecho em progradação, o processo erosivo na cidade acabou por formar um padrão

antropocênico distribuído ao longo do fundo marinho. Este padrão de retrodispersão identificado por SVL pode ser descrito como uma paisagem ou morfologia submarina antropocênica (MSA), ou anthropocene submarine landscape (ASL). Padrões de retrodispersão associados à embarcação, conforme a Figura 2B, reforçam que as atividades humanas estão marcadas no fundo marinho.

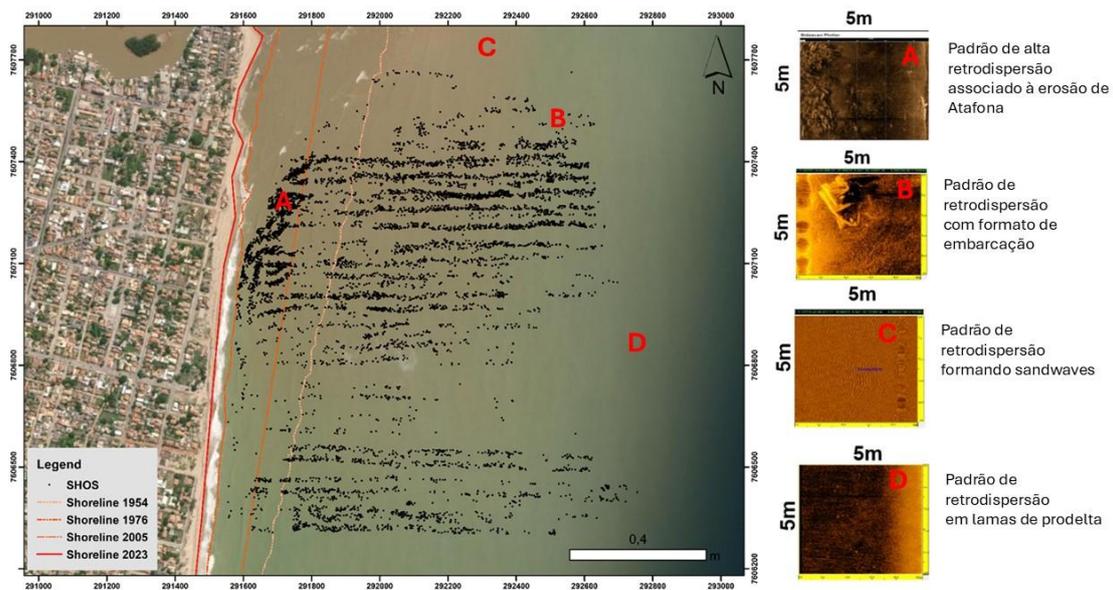


Figura 2. Distribuição pontual de todos os artefatos antrópicos identificados no fundo marinho, na área de estudo. Diferentes padrões sonográficos identificados na área: (A) Trecho próximo à linha de costa, com alta densidade de estruturas e vestígios da erosão costeira no sonograma. (B) Padrão de retroespalhamento mostrando naufrágio de embarcação tipo traineira; (C) Porção norte de Atafona, caracterizada por areia média e presença de marcas de ondas em fundo arenoso; e (D) Fundo marinho descrito por lamas de prodelta a partir de padrões de retroespalhamento de baixa intensidade e textura homogênea.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O litoral ao sul da foz do rio Paraíba do Sul é marcado pela forte atuação de processos associados a dinâmica costeira que conferiu a este trecho da costa fluminense elevada mobilidade ao longo dos últimos 70 anos, no sentido de erodir o trecho costeiro



proximal à costa, especificamente na área urbana da localidade de Atafona. A utilização de SVL sobre a área previamente ocupada em parte pela cidade de Atafona, mostrou que existem padrões de retroespalhamento específicos, derivados do padrão sonográfico obtido. A distribuição espacial destes padrões sonográficos foram interpretados como uma Morfologia Submarina Antropocênica (MSA) ou *Anthropocene Submarine Landscape* (ASL) em função de serem sensivelmente distintos dos padrões de retroespalhamento esperados para fundos sedimentares associados a lamas, no caso lamas de prodelta, ou areias, que estariam associadas ao desenvolvimento de marcas de ondulações (*ripple marks*).

Assim, a ocupação e a erosão da região costeira de Atafona representam um exemplo de como os efeitos do Antropoceno podem ultrapassar os limites continentais, se expandindo para a zona submersa submarina adjacente. Os MSA modernos, como no caso deste estudo, representam uma nova fronteira para o entendimento das paisagens derivadas de mudanças observadas em escala recente.

## AGRADECIMENTOS

GBF agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade. JMD recebeu incentivos da CAPES pela bolsa de mestrado. Este trabalho só foi possível pelo aporte parcial de recursos do Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da UFF.

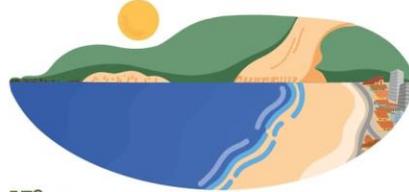
## REFERÊNCIAS

AINSWORTH, R.B; BOYAN K.; VAKARELOV, C. H.; EIDE, J. A.; Howell, J.B. Linking the High-Resolution Architecture of Modern and Ancient Wave-Dominated Deltas: Processes, Products, and Forcing Factors. **Journal of Sedimentary Research** 89 (2): 168–185. 2019. doi: <https://doi.org/10.2110/jsr.2019.7>

ANTHONY, E., SYVITSKI, J., ZĂINESCU, F. *et al.* Delta sustainability from the Holocene to the Anthropocene and envisioning the future. **Nat Sustain** 7, 1235–1246 2024. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01426-3>

DIAS, G.T.M.; GORINI, M.A.A. Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**. São Paulo. p. 588-602. 1980.

DOMINGUEZ, J. M. L. The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas? In: DE BAPTIST, M. e JACOBS, P. (Ed.). **Geology of Siliciclastic Shelf Seas**. Geological Society of London, Special Publication, 117, 217–231. 1986.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

ERICSON, J. P., VÖRÖSMARTY, C. J., DINGMAN, S. L., WARD, L. G., & MEYBECK, M. Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. **Global and Planetary Change**, 50(1–2), 63–82. 2006. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2005.07.004>

FERNANDEZ, G. B., BAPTISTA DA ROCHA, T., LANDIN DOMINGUEZ, J. M., VASCONCELOS, S. C., TAVARES DE MACEDO DIAS, G., DA COSTA, A., FIGUEIREDO, M. S., FIGUEIREDO JUNIOR, A. G., SILVA, C. G., PEREIRA, T. G., & MACHADO, B. A. Comments on Souza et al. (2022) “Recent geomorphological changes in the Paraíba do Sul delta, South America East Coast”. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, 47(4), 625-641. 2023. <https://doi.org/10.1177/03091333231182701>

MACHADO, B. A., DA ROCHA, T. B., FERNANDEZ, G. B., & DE OLIVEIRA FILHO, S. R. Shoreline dynamic on the southern zone in the Paraíba do Sul River delta between 1954-2018: considerations about coastal erosion in Atafona and different analysis methods. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 25(1). 2024. <https://doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2272>

MURILLO, V., SILVA, C., & FERNANDEZ, G.B. Nearshore sediments and coastal evolution of Paraíba do Sul River Delta. Brazil. **Journal of Coastal Research**, 56, 650–654. 2009.

NICHOLLS, R. J., ADGER, N., HUTTON, C. W., & HANSON, S. E. Deltas in the Anthropocene. In **Deltas in the Anthropocene**. 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23517-8>

RENAUD, F. G., SYVITSKI, J. P. M., SEBESVARI, Z., WERNERS, S. E., KREMER, H., KUENZER, C., RAMESH, R., JEUKEN, A. D., & FRIEDRICH, J. Tipping from the Holocene to the Anthropocene: How threatened are major world deltas? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 5(6), 644–654. 2013.

ROCHA, T. B., MACHADO, B. A., SILVA, J. C. DA, MELLO, G. DA S., PEREIRA, T. G., & FERNANDEZ, G. B. (2018). Interação morfodinâmica entre praia e duna frontal no delta do Rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de uma década de monitoramento. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 19(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1233>

STANLEY, D. J., & WARNE, A. G. Holocene Sea-Level Change and Early Human Utilization of Deltas. **GSA Today**, 7, 1-7. 1997.

SYVITSKI, J. P. M., & SAITO, Y. (2007). Morphodynamics of deltas under the influence of humans. **Global and Planetary Change**, 57(3–4), 261–282. <https://doi.org/10.1016/J>

VASCONCELOS, S. C.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G.; ALVES, R. A.; FERNANDEZ, G. B. Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira Geomorfologia**, v.17, n.3, p. 481-498 (2016). DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.845>



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

VASCONCELOS, S. C. DE, RAMOS, I. A., NUNES, R. DA S., SANTOS, R. A. DOS, & FIGUEIREDO JR., A. G. DE. (2021). Dinâmica erosiva e progradacional das praias de Atafona e Grussaí (RJ), 1954-2019. **Revista Da ANPEGE**, 17(33), 162–182. <https://doi.org/10.5418/ra2021.v17i33.11946>

ZALASIEWICZ, J. A. N., WILLIAMS, M., STEFFEN, W., & CRUTZEN, P. (2010). The new world of the anthropocene. *Environmental Science and Technology*, 44(7), 2228–2231. <https://doi.org/10.1021/es903118j>

