

CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA E AVALIAÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE MACAÉ DE CIMA (RJ)

Vinícius Pereira de Barros e Silva¹
Lino Augusto Sander de Carvalho²
Guilherme Hissa Villas Boas³

INTRODUÇÃO

A previsibilidade do comportamento da atmosfera ainda é um desafio para a ciência. Ainda assim, as condições climáticas e os eventos atmosféricos, especialmente a chuva e a temperatura, têm historicamente desempenhado um papel crucial na regulação das atividades agrícolas e na qualidade de vida das populações (Sant'Anna Neto, 2001). As distintas formas de uso e produção do espaço na sociedade contemporânea, são construídas de maneira desigual, não atendendo aos modelos sustentáveis, e por isso geram problemas climáticos também desiguais (Sant'Anna Neto, 2001). O sexto relatório de avaliação (*Sixth Assessment Report*) do IPCC (IPCC, 2022) mostra trajetórias modeladas consistentes que conduzem a um aquecimento global de até 3,2°C até o final do século. Os efeitos climáticos negativos relacionados à saúde, à segurança alimentar e ao crescimento econômico são projetados a aumentarem conforme o crescimento da temperatura (IPCC, 2022). Dessa forma, a investigação das características climáticas de uma região – compreendendo sua dinâmica espacial, ritmo e variações temporais – se torna essencial para a elaboração de políticas públicas de adaptação e mitigação dos impactos climáticos.

Por conseguinte, o objetivo deste trabalho é elaborar uma caracterização do padrão climatológico e avaliar as tendências e indícios de mudanças climáticas na Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima (APAMC), localizada na região serrana do estado do Rio de Janeiro. Na APAMC são notórias as atividades econômicas e culturais como a agricultura familiar e o turismo de natureza (Villas Boas e Mattos, 2021), que configuram-se como atividades particularmente sensíveis às mudanças no regime pluviométrico e aumento de temperatura. Em geral, a verificação de variações e tendências climáticas na atualidade é

¹Graduando do Curso de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, vinicius.pbarros@ufrj.br

²Docente do Departamento de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, lino.sander@igeo.ufrj.br

³Docente do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, guilherme.hissa@igeo.ufrj.br

essencial para apoiar políticas públicas relacionadas à agricultura, saúde, planejamento ambiental e gerenciamento de recursos hídricos frente às mudanças climáticas globais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, a coleta de dados pluviométricos, em intervalos diários, foi feita através da plataforma digital *Hidroweb* da Agência Nacional de Águas (ANA), onde a estação Galdinópolis foi selecionada por estar situada dentro da área de estudo (APAMC). A série histórica, que compreende o período de 1951 a 2023, foi organizada em planilha digital no programa *Excel*, para o preenchimento de falhas e exclusão das cédulas duplicadas. Para os dados de temperatura, a coleta foi feita no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados diários de máxima, mínima e média da estação Cordeiro, com intervalo entre 1972 e 2023 foram utilizados. Ressalta-se a inexistência de uma estação meteorológica no interior da APAMC e, por isso, foi necessária a utilização de uma estação próxima em um contexto geográfico similar.

Os dados pluviométricos foram importados para uma tabela dinâmica, gerando o acumulado mensal e a média mensal por ano. Após a tabulação dos dados, aplicaram-se diversos parâmetros e procedimentos estatísticos, incluindo o cálculo dos dias sem chuva, assim como média diária mensal e o percentil 95 anual. Posteriormente, com as séries históricas devidamente tratadas e organizadas, as tabelas foram exportadas para o ambiente de linguagem de programação do *Software R*, onde foram gerados gráficos de dispersão mensais e *boxplots* decenais com o objetivo de visualizar o ritmo pluviométrico ao longo do ano, bem como as variações do comportamento da chuva e temperatura ao longo da série histórica. Outros índices climáticos como o *Consecutive Dry Days* (CDD), *Consecutive wet days* (CWD) e o R95p (dias de precipitação extrema), PRCPTOT (precipitação total), SDII (Intensidade diária), TMAXmean (média das máximas diárias) e TMINmean (média das mínimas diárias) foram utilizados no *Software RclimDex* para complementar as análises estatísticas (Zhang; Yang, 2004). Os índices utilizados fazem parte de um conjunto de procedimentos definidos pelo *Expert Team on Climate Detection and Indices* (ETCCDI) para avaliar eventos extremos e mudanças climáticas. Além das análises climatológicas, um mapa de localização da área de estudo foi feito no *software Qgis*, para facilitar a compreensão do contexto socioespacial.

REFERENCIAL TEÓRICO

A importância dos estudos climatológicos para a geografia se dá, majoritariamente, na repercussão dos impactos dos fenômenos atmosféricos no território, que é transformado, modificado e produzido pela sociedade ao longo do tempo, a partir da interação entre sociedade e natureza que é marcada por conflitos socioeconômicos e políticos entre agentes sociais (Sant'Anna Neto, 2001). Dessa maneira, o clima é atribuído de forma variada e interage de diferentes maneiras nas diferentes sociedades que, por sua vez, estão em estados diferentes de modernização e desenvolvimento – umas estando mais vulneráveis à determinados riscos ambientais e sociais do que outras – ligados à fatores históricos estruturados no território de forma desigual e fragmentada (Sant'anna Neto, 2001). Também convém a climatologia geográfica integrar a dinâmica atmosférica de uma região à diversidade do substrato geobiofísico como o relevo, a hidrologia e vegetação além das características socioeconômicas presentes no território (Zavattini, 2000).

A partir disso, determinados grupos sociais sofrem, historicamente, injustiças (socio)ambientais, seja em um contexto urbano, onde a população mais pobre e marginalizada é empurrada para áreas periféricas precárias, normalmente encostas no contexto fluminense (Souza, 2015); como em um contexto rural, factualmente marcado pela violência, exploração do trabalho e conflitos por terra, principalmente nas fronteiras agrícolas com áreas protegidas, onde povos tradicionais e agricultores familiares são mais vulneráveis diante dos conflitos no campo, que afetam seus estilos de vida e sua subsistência (Alentejano, 2011). Nessa perspectiva, a partir da década de 90, o conceito de vulnerabilidade foi amplamente utilizado para descrever estados de susceptibilidade à degradação, (falta)resiliência e marginalização de ambos sistemas sociais e naturais (Adger, 2006). Em parte, a popularização dos conceitos de vulnerabilidade e resiliência – principalmente em relação aos estudos climatológicos relacionados à eventos extremos e mudanças climáticas – advém do foco nos sistemas socioecológicos, que pressupõem a ideia de que a ação humana e estruturas sociais estão completamente interligadas com o meio natural (*ibid*).

Estudos anteriores demonstram projeções de aumento em cerca de 3°C de temperatura para as regiões metropolitanas do sudeste brasileiro nos próximos 30 anos (Lyra *et al.* 2017). O aumento de temperatura esperado é acompanhado de uma diminuição da precipitação de até 6mm por dia, com reduções máximas presentes em zonas montanhosas, o que pode refletir em grandes impactos nas nascentes de rios e no abastecimento de água e produção de energia. É evidente que o aumento de temperatura tem o potencial de causar mudanças nos regimes de

chuva em determinadas regiões, assim como intensificar eventos extremos, provocando danos socioeconômicos e ambientais (Regueira e Wanderley, 2022). A vulnerabilidade associada aos impactos ambientais está diretamente ligada às características socioeconômicas de uma determinada população – como renda, faixa etária, gênero e densidade demográfica – que são essenciais para determinar a capacidade de adaptação e resiliência de um determinado grupo (Painter *et al*, 2023). Com isso, mudanças ambientais podem ser especialmente severas para povos tradicionais e agricultores familiares, já que, em geral, não possuem as ferramentas e o apoio necessário para atenuar as manifestações climáticas e seus impactos espaciais. É fundamental, portanto, compreender a dinâmica do clima e suas excepcionalidades, para o desenvolvimento de planos eficazes de mitigação dos impactos climáticos em áreas de proteção ambiental.

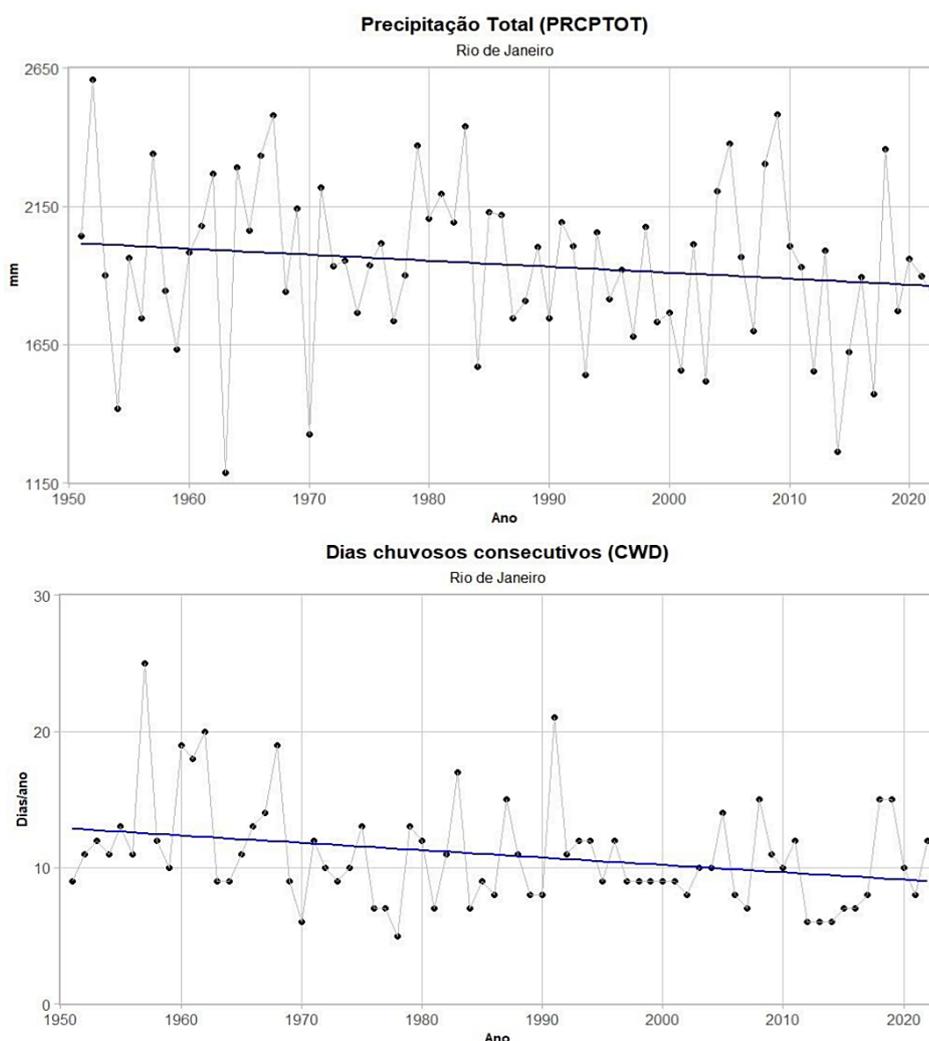
Para além do aumento de temperatura previsto pelo IPCC ao redor do globo, diversos trabalhos recentes apontaram mudanças nas características da temperatura e precipitação através da tendência de indicadores de eventos extremos e modelos climáticos baseados em cenários RCP (caminhos representativos de concentração) de diferentes trajetórias possíveis de concentração de gases do efeito estufa (GEE) (IPCC, 2013). Dereczynski *et. al* (2013) e Silva & Dereczynski (2014) apontam para um aumento da frequência de dias e noites quentes no estado do Rio de Janeiro, assim como a diminuição da frequência de noites e dias frios. Regoto *et. al* (2021) observaram um aumento na ocorrência de extremos de temperatura ao redor do país de forma consistente, enquanto a precipitação tem mostrado comportamento heterogêneo em boa parte do território brasileiro. As projeções encontradas em Lyra *et. al* (2017) sugerem um clima mais seco em boa parte do sudeste brasileiro, com diminuição na precipitação total anual de até 50%, no pior dos cenários, no fim do século, assim como a diminuição das chuvas extremas (R95p) e aumento de dias consecutivos sem chuva. Em geral, a literatura aponta para um aumento generalizado de temperatura ao redor do país, com aumento de dias sem chuva indicando a tendência de mudança para um clima mais seco em algumas regiões, como o norte fluminense e o nordeste brasileiro (Regoto *et. al*, 2021; Lyra *et. al*, 2027).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultados, tem-se que os dados coletados através da Agência Nacional de Águas (ANA) foram consistentes, apresentando poucas falhas, permitindo uma análise copiosa dos dados. Observou-se, também, que há uma tendência de diminuição dos totais pluviométricos e médias anuais (Figura 1). Através dos *boxplots* decenais (Figura 2) verificou-se que a

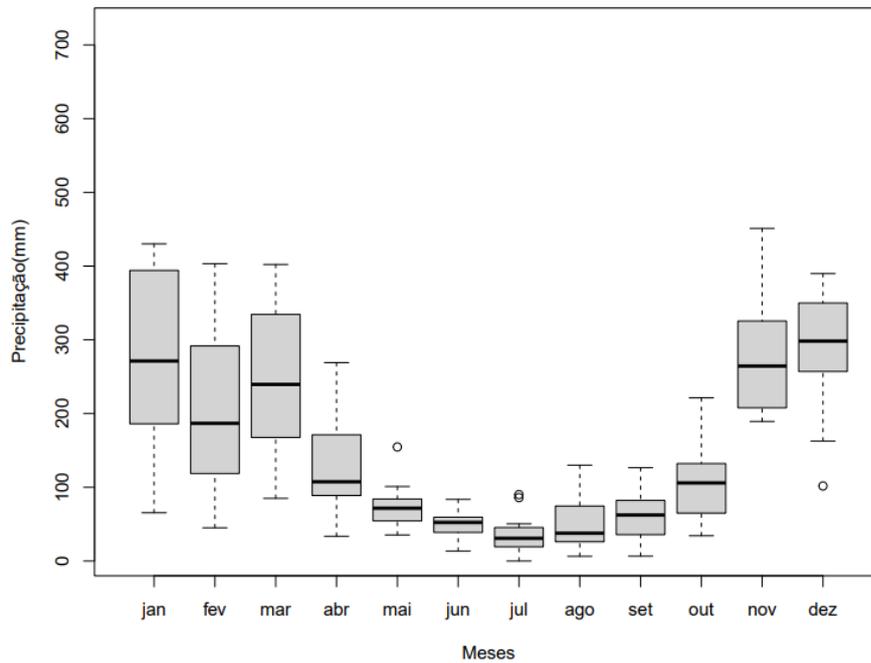
pluviometria durante a estação chuvosa (verão) foi a mais instável ao longo das décadas, apresentando a maior dispersão dos dados e alta amplitude interquartil, principalmente nos meses de janeiro e março. Por outro lado, a pluviometria do inverno se manteve estável durante boa parte da série histórica com baixo desvio padrão. Quanto aos índices climáticos, nota-se uma tendência de diminuição relevante de dias contínuos de chuva (CWD) (Figura 1) e uma leve tendência de aumento de dias consecutivos secos (CDD). Em contrapartida, a intensidade das chuvas diárias (SDII) aponta para um aumento, sugerindo uma maior concentração da precipitação em períodos mais curtos de tempo. Parte dos resultados coincidem com os achados de estudos anteriores, exceto para os valores do índice R95p (chuvas extremas) e R99p que, para a estação de Galdinópolis, não retratam tendência relevante de diminuição ou elevação. Quanto aos dados de temperatura, percebe-se um ligeiro aumento nas temperaturas máximas e mínimas (Figura 3) e em suas médias.

Figura 1 – Gráficos Total Pluviométrico Anual e Dias Chuvosos Consecutivos



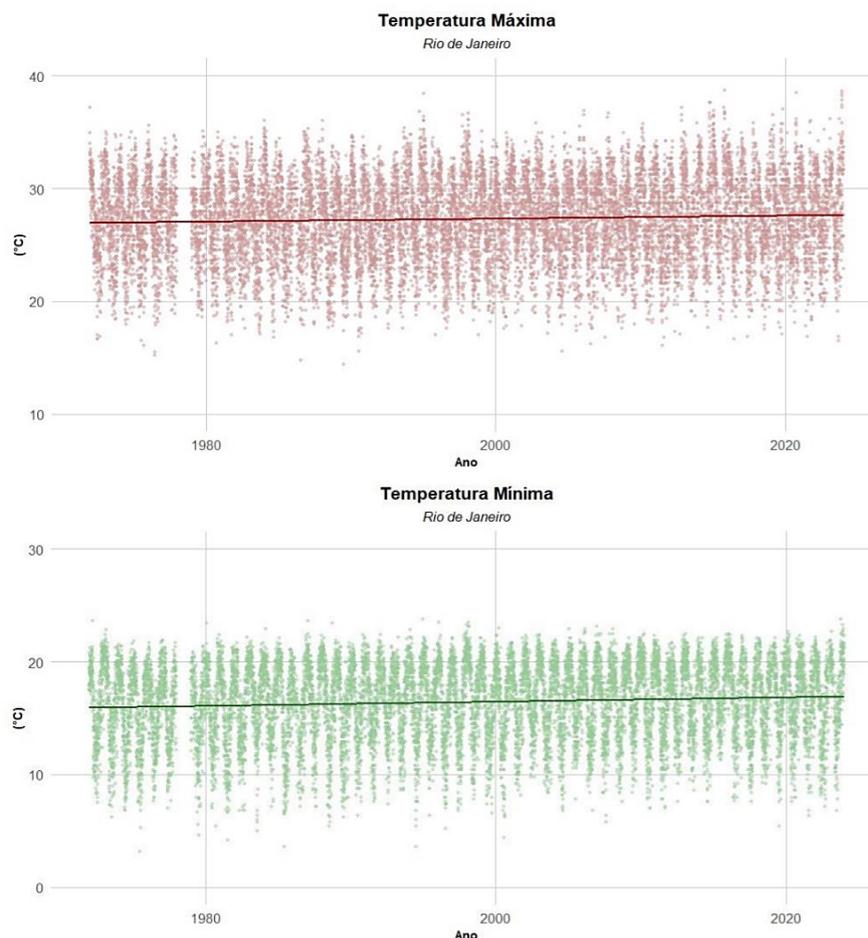
Fonte: Dados Meteorológicos ANA (2024). Elaboração Própria.

Figura 2 – Gráfico *Boxplot* Acumulado Pluviométrico Mensal (2011-2022)



Fonte: Dados Meteorológicos ANA (2024). Elaboração Própria.

Figura 3 – Gráficos diários de temperaturas máximas e mínimas (1972-2023)



Fonte: Dados Meteorológicos INMET (2024)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, com as análises estatísticas e aplicação dos índices de extremos climáticos para a estação de Galdinópolis, foi possível atestar que parte dos resultados encontrados para os índices de temperatura são congruentes às tendências observadas em estudos anteriores. É importante destacar que, com a elevação da temperatura e o aumento dos períodos sem chuva, podem-se agravar os riscos de seca e estresse hídricos. Em compensação, o aumento da intensidade de chuvas diárias e a maior concentração pluviométrica em períodos menores, podem levar a maiores riscos de processos erosivos e movimentos de massa, principalmente em áreas de encosta. A partir dos resultados gerados, outras análises estatísticas serão realizadas em estudos futuros, com objetivo de investigar as tendências e magnitudes dos dados de forma mais precisa

Palavras-chave: Climatologia geográfica; Áreas protegidas; Eventos extremos; Emergência climática.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, 2006. [DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006)

ALENTEJANO, P. Questão Agrária no Brasil do século XXI: Uma abordagem a partir da geografia. **Terra livre**, Ano 27, v. 1, n 36, p. 69-95, 2011.

DERECZYNSKI, C. P.; LUIZ SILVA, W.; MARENGO, J. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 2, p. 25-33, 2013. [DOI:10.4236/ajcc.2013.21003](https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21003)

CHEN, D.; ROJAS, M.; SAMSET, B. H.; COBB, K.; DIONGUE NIANG, A.; EDWARDS, P.; EMMORI, S.; FARIA, S. H.; HAWKINS, E.; HOPE, P.; HUYBRECHTS, P.; MEINSHAUSEN, M.; MUSTAFA, S. K.; PLATTNER, G. K.; TRÉGUIER, A. M. Framing, Context, and Methods. *In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press*, p. 147–286, 2021. DOI: [10.1017/9781009157896.003](https://doi.org/10.1017/9781009157896.003).

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, 2013.

LUIZ SILVA, W.; DA SILVA, F. P.; DEREZYNSKI C. P.; DE ALMEDIA FRANÇA, J. R. Towards a Link between Climate Extremes and Thermodynamic Patterns in the City of Rio de Janeiro-Brazil: Climatological Aspects and Identified Changes. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 11, p. 131-160, 2023. [DOI: 10.4236/gep.2023.118008](https://doi.org/10.4236/gep.2023.118008)

LUIZ SILVA, W.; DEREZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37-2, p.123-138, 2014. [DOI: 10.11137/2014_2_123_138](https://doi.org/10.11137/2014_2_123_138)

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DEREZYNSKI, C.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 132, p. 663–682, 2017. [DOI 10.1007/s00704-017-2067-z](https://doi.org/10.1007/s00704-017-2067-z)

PAINTER, M. A.; SHAH, S. H.; DAMESTOIT, G. C.; KHALID, F.; PRUDENCIO, W.; CHISTRY, M. A.; TORMOS-APONTE, F.; WILHELMI, O. A systematic scoping review of the Social Vulnerability Index as applied to natural hazards. **Natural Hazards**, v. 120, p. 7265-7356. 2023. [DOI: 10.1007/s11069-023-06378-z](https://doi.org/10.1007/s11069-023-06378-z)

REGOTO, P.; DEREZYNSKI, C.; CHOU, S. C.; BAZZANELA, A. C. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. 5125–5142, 2021. [DOI: 10.1002/joc.7119](https://doi.org/10.1002/joc.7119)

REGUEIRA, A. O.; WANDERLEY, H. S. Changes in rainfall rates and increased number of extreme rainfall events in Rio de Janeiro city. **Natural Hazards**, v. 114, p. 3833–3847, 2022. [DOI: 10.1007/s11069-022-05545-y](https://doi.org/10.1007/s11069-022-05545-y)

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima Antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, v. 2, n., 17, p. 49-62, 2001.

SOUZA, M. L. Proteção ambiental para quem? A instrumentalização da ecologia contra o direito à moradia. **Mercator**, v. 14, n. 4, p. 25-44, 2015. [DOI: 10.4215/RM2015.1404.0003](https://doi.org/10.4215/RM2015.1404.0003)

VILLAS BOAS, G. H.; MATTOS, C. P. A(s) natureza(s) da APA Macaé de Cima (Rio de Janeiro - Brasil): percepções, dilemas e conflitos. **Sociedade & Natureza**, v. 33, 2021. [DOI: 10.14393/SN-v33-2021-56556](https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-56556)

ZHANG, X., YANG, F. **RCLimDex (1.0) - User Manual**. Climate Research Branch Environment: Canada Downsview. 2004.