



DINÂMICAS DAS MASSAS DE AR E COMPORTAMENTO TERMOHIGROPLUVIOMÉTRICO EM PORTO VELHO E RESERVA BIOLÓGICA DO JARU

*Air Mass Dynamics and Thermohygropluviometric Behavior in
Porto Velho and the Jaru Biological Reserve*

*Dinámicas de las Masas de Aire y Comportamiento
Termohigropluviométrico en Porto Velho y la Reserva
Biológica de Jaru*

Aldani Braz Carvalho  

Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia - UNIR
aldanigeo@gmail.com

João Paulo Assis Gobo  

Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia - UNIR
joao.gobo@unir.br

Resumo: Este estudo objetivou comparar o comportamento termohigropluviométrico entre uma área urbana (Porto Velho) e uma área florestal (REBIO Jaru) na Amazônia brasileira, além de analisar a dinâmica das massas de ar e a variabilidade dos ventos nas áreas de estudo. Os dados meteorológicos foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). A metodologia incluiu o preenchimento de falhas nos bancos de dados meteorológicos, a elaboração de mapas de uso e cobertura do solo nas áreas de estudo e revisão da literatura sobre o tema. As análises evidenciaram duas estações pluviométricas bem definidas: a estação chuvosa, de outubro a abril, e a estação seca, de junho a agosto. Apesar de ambos os sítios apresentarem comportamentos termodinâmicos semelhantes, a REBIO Jaru registrou temperaturas médias mais baixas e maior umidade relativa ao longo do ano, embora essas diferenças sejam menos pronunciadas durante o período de estiagem. A dinâmica dos ventos revelou padrões sazonais distintos. Em Porto Velho, os ventos austrais se manifestam ao longo de todo o ano, e a reversão sazonal ocorre apenas nos ventos provenientes do norte. Já na REBIO Jaru, a reversão sazonal é bem marcada, o que sugere uma influência do cinturão orográfico orientado no eixo NE-SE de Rondônia. As diferenças na variabilidade climática observadas entre Porto Velho e REBIO Jaru são atribuídas à interação entre fatores como relevo, cobertura vegetal e os efeitos da urbanização.

Palavras-chave: Termohigropluviometria. Dinâmica das massas de ar. Variabilidade dos ventos. Porto Velho. REBIO Jaru.

Abstract: This study aimed to compare the thermohygropluviometric behavior between an urban area (Porto Velho) and a forested area (REBIO Jaru) in the Brazilian Amazon, as well as to analyze the dynamics of air masses and the variability of winds in the study areas. Meteorological data were obtained from the National Institute of Meteorology (INMET) and the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Program in the Amazon (LBA). The methodology included filling gaps in meteorological databases, preparing land use and land cover maps for the study areas, and conducting a literature review on the subject. The analyses revealed two well-defined rainfall seasons: the rainy season, from October to April, and the dry season, from June to August. Although both sites exhibited similar thermodynamic behavior, REBIO Jaru recorded lower average temperatures and higher relative humidity throughout the year, although these differences were less pronounced during the dry season. The wind dynamics revealed distinct seasonal patterns. In Porto Velho, southern winds are present throughout the year, and seasonal reversal occurs only in winds originating from the north. In contrast, REBIO Jaru exhibits a well-marked seasonal reversal, suggesting the influence of the NE-SE oriented orographic belt in Rondônia. The differences in climate variability observed between Porto Velho and REBIO Jaru are attributed to the interaction of factors such as topography, vegetation cover, and the effects of urbanization.

Keywords: Thermohygropluviometry. Air mass dynamics. Wind variability. Porto Velho. REBIO Jaru.

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo comparar el comportamiento termohigropluviométrico entre un área urbana (Porto Velho) y un área forestal (REBIO Jaru) en la Amazonía brasileña, además de analizar la dinámica de las masas de aire y la variabilidad de los vientos en las áreas de estudio. Los datos meteorológicos se obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) y del Programa a Gran Escala de la Biosfera-Atmósfera en la Amazonía (LBA). La metodología incluyó el llenado de vacíos en las bases de datos meteorológicas, la elaboración de mapas de uso y cobertura del suelo para las áreas de estudio y la realización de una revisión bibliográfica sobre el tema. Los análisis revelaron dos estaciones de precipitación bien definidas: la temporada de lluvias, de octubre a abril, y la temporada seca, de junio a agosto. Aunque ambos sitios mostraron un comportamiento termodinámico similar, la REBIO Jaru registró temperaturas promedio más bajas y una mayor humedad relativa a lo largo del año, aunque estas diferencias fueron menos pronunciadas durante la temporada seca. La dinámica de los vientos reveló patrones estacionales distintos. En Porto Velho, los vientos australes están presentes durante todo el año, y la inversión estacional solo ocurre en los vientos provenientes del norte. Por otro lado, en la REBIO Jaru, la inversión estacional es bien marcada, lo que sugiere la influencia del cinturón orográfico orientado en el eje NE-SE de Rondônia. Las diferencias en la variabilidad climática observadas entre Porto Velho y REBIO Jaru se atribuyen a la interacción de factores como la topografía, la cobertura vegetal y los efectos de la urbanización.

Palabras clave: Termohigropluviometría; Dinámica de masas de aire; Variabilidad del viento; Porto Velho; REBIO Jaru.

Submetido em: 01/10/2024

Aceito para publicação em: 05/04/2025

Publicado em: 21/04/2025

1 INTRODUÇÃO

Na América do Sul - com maior notoriedade na Amazônia - prevalece um fluxo que promove o intercâmbio de umidade entre o oceano Atlântico equatorial e a região Amazônica. De acordo com Marengo (2022) e Marengo et al. (2004), durante o verão austral, a umidade flui com maior celeridade e intensidade do oceano para a Amazônia onde a vegetação promove a “reciclagem” da água. Esse processo estabelece-se por meio de um mecanismo de *feedback* climático potencialmente significativo de interação superfície-atmosfera terrestre (Brubaker; Entekhabi; Eagleson, 1993).

A dinâmica climática de uma região é moldada por interações complexas entre variáveis atmosféricas, como umidade do ar, temperatura, precipitação e ventos. Essas relações não apenas refletem a variabilidade sazonal, mas também capturam as influências de fatores locais e regionais, incluindo o relevo, o uso e cobertura do solo e os sistemas atmosféricos predominantes. No contexto amazônico, essas interações tornam-se ainda mais relevantes, dado o papel que a região desempenha na regulação climática e no ciclo hidrológico regional.

A temperatura do ar regula processos biológicos e energéticos, sendo crucial para a fauna, flora e dinâmica dos ecossistemas (Clarke, 2017; Cossins, 2012). A umidade relativa do ar complementa esse processo ao influenciar a evapotranspiração e o microclima, especialmente em regiões tropicais. A precipitação conecta temperatura e umidade, garantindo recursos hídricos e sustentando ciclos ecológicos essenciais (Carvalho; Herrera, 2017). Já os ventos corroboram a distribuição de calor e umidade, modulando padrões climáticos e com capacidade de fluxos de longa distância, como os alísios. Esses elementos interagem de forma interdependente, influenciam o ambiente e, portanto, destaca-se a importância de seu estudo.

O presente estudo concentra-se na análise comparativa entre duas áreas com diferentes modalidades de uso e cobertura da terra: Porto Velho, que apresenta características urbanas marcadas por intensa atividade antrópica, e a Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru), uma das maiores reservas florestais do estado, reconhecida por sua biodiversidade e pela preservação de ecossistemas amazônicos primários. A escolha da REBIO Jaru justifica-se por sua relevância como área preservada que representa condições naturais de uma floresta primária, oferecendo um contraste em relação ao ambiente urbano de Porto Velho. Essa

reserva desempenha um papel importante na manutenção dos fluxos de energia e umidade, contribuindo para a compreensão dos processos climáticos em áreas de floresta com pouca atividade antropogênica.

Porto Velho, capital de Rondônia, é uma cidade em rápida urbanização, cuja paisagem foi substancialmente alterada pela ação antropogênica ao longo do século XX. Essa transformação impacta o balanço energético local e influencia o comportamento climático, especialmente no que diz respeito à temperatura, umidade e circulação atmosférica. Em contraste, a REBIO Jaru representa uma área de conservação com vegetação nativa preservada, onde os impactos da ação humana são mais restritos. Adicionalmente, a proximidade geográfica e a influência dos mesmos sistemas atmosféricos sobre as duas áreas favorecem a comparação do comportamento termohigropluviométrico e do domínio dos ventos.

Portanto, objetiva-se comparar o comportamento termohigropluviométrico em área urbana (Porto Velho) e florestal (REBIO Jaru) da Amazônia brasileira; analisar a dinâmica das massas de ar e verificar a variabilidade dos ventos nas áreas de estudo.

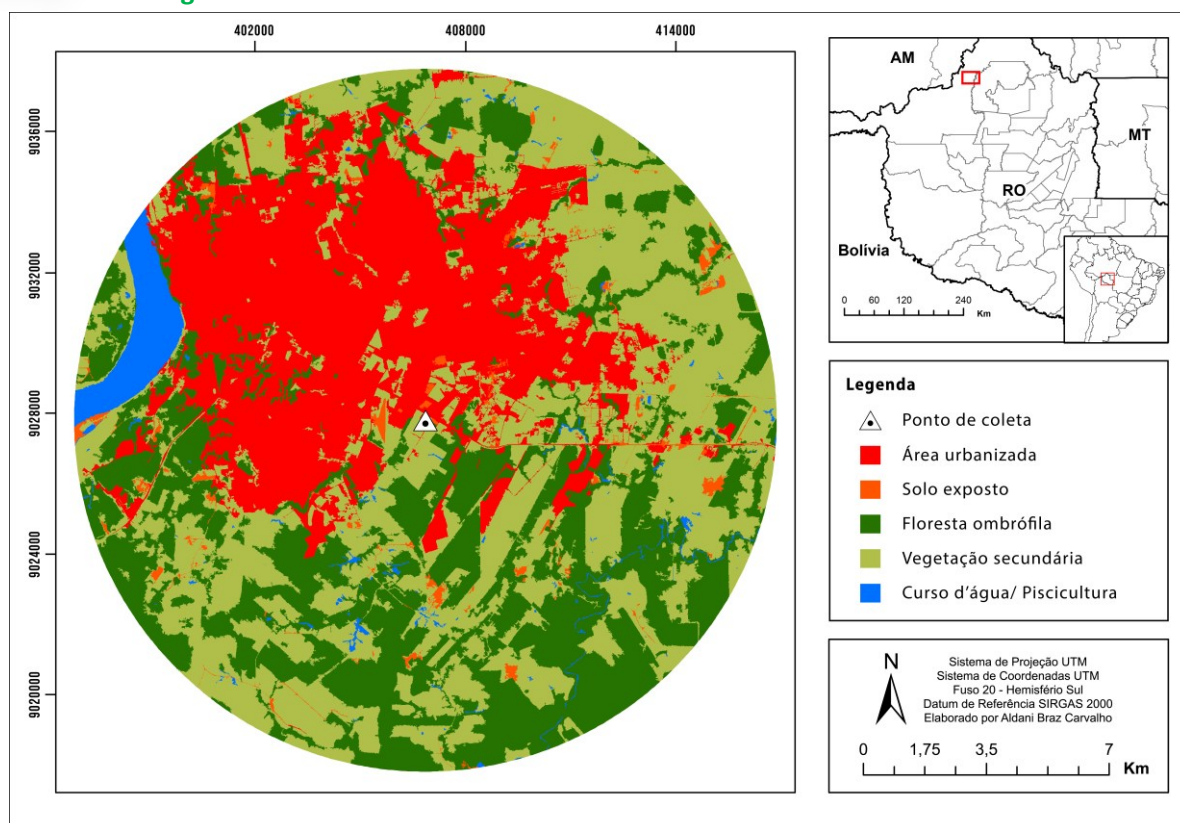
2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo em Porto Velho - RO

A cidade de Porto Velho é subdividida em quatro zonas: a Zona Central, a Zona Norte, a Zona Leste e, por fim, a Zona Sul e possui uma área total estimada de 117,34 km² (Tejas et al., 2024). No entanto, a mancha urbana apresenta dimensões aproximadas de 93 km², com expansão que se distribui a partir das margens do rio Madeira, formando um raio contínuo máximo de cerca de 14 km, conforme ilustrado na Figura 1.

As atividades antropogênicas têm provocado intensas transformações na paisagem da Amazônia, especialmente a partir da segunda metade do século XX, com migrações provenientes das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. Esse processo contribuiu significativamente para a configuração atual do uso e cobertura da terra. O eixo central de Porto Velho a Vilhena, uma área que integra o "arco do desmatamento", é particularmente afetado (Ross, 2009).

Figura 1 - Uso e cobertura da terra na área de estudo de Porto Velho – RO



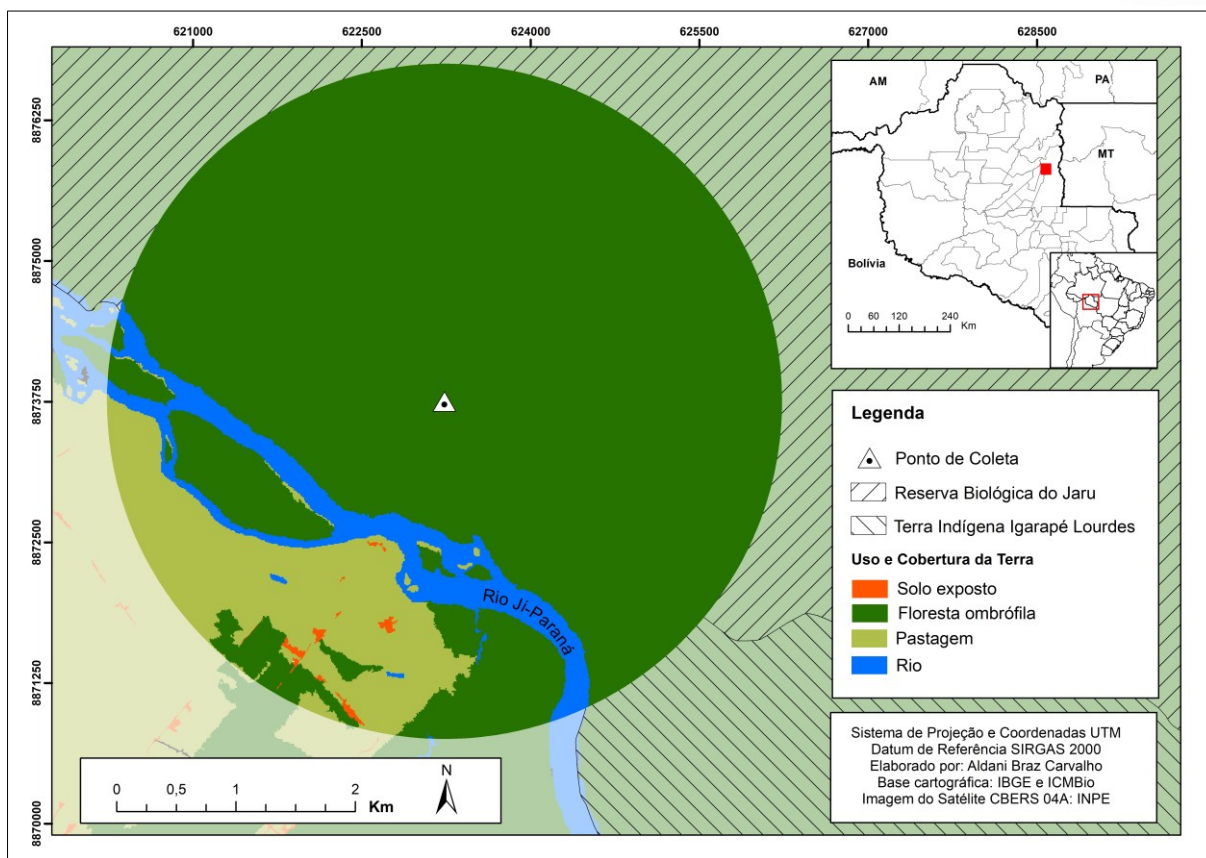
Fonte: organizado pelos autores a partir de imagens do INPE (2023) e base cartográfica do IBGE (2023)

Os processos de ocupação do território, combinados com o desmatamento, a monocultura agroexportadora e a urbanização célere e desordenada, influenciaram profundamente a configuração do uso e cobertura da terra. Contudo, apesar da proeminência da mancha urbana em Porto Velho, a presença de vegetação arbórea é significativa na porção meridional da área de estudo.

2.2 Área de estudo REBIO Jaru

A Reserva Biológica do Jaru é uma unidade de conservação de proteção integral criada pelo decreto federal nº 83.716 em 1979, com área de 268.150 hectares (ICMBIO, 2006). Em 2006 a fazenda Bela Vista foi incorporada e reserva biológica e atualmente possui área total de 353.160 hectares. A REBIO Jaru abrange parte dos municípios de Ji-Paraná, Vale do Anari, Machadinho D'Oeste, e faz limite com os municípios de Theobroma, Ouro Preto do Oeste e Vale do Paraíso e no estado do Mato Grosso, com os municípios de Colniza e Rondonópolis (BRASIL, 2010), Figura 2.

Figura 2 - Uso e cobertura da terra na área de estudo da REBIO Jaru – RO



Fonte: organizado pelos autores a partir de imagens do INPE (2023), base cartográfica do IBGE (2023) e do ICMBIO (2023)

Nas áreas adjacentes à REBIO Jaru, o rio Ji-Paraná é o limite oriental. Nessa área prevalece o uso e cobertura da terra com atividades voltadas para a produção de bovinos (pastagem), bem como rio, lagos e resquícios de vegetação ombrófila, geralmente relacionadas à área de reserva ambiental ou à área de preservação permanente. Por outro lado, as áreas contíguas ao ponto de coleta da REBIO Jaru, apresentam domínio de vegetação nativa remanescente.

2.3 Dados climatológicos das áreas de estudo

O banco de dados climáticos de Porto Velho foi obtido utilizando a estação meteorológica automática do INMET, localizada nas dependências da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Os dados da REBIO Jaru foram obtidos por meio da colaboração com a equipe do *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA).

A delimitação do intervalo de 2015 a 2022 se deu em função da disponibilidade desses dados da REBIO Jaru, bem como da necessidade de manter a mesma janela temporal para ambos os sítios estudados. Essa escolha visa garantir uma comparação mais consistente e precisa dos padrões de vento entre essas duas localidades, tornando a análise coerente.

2.3.1 Preenchimento de falhas

As variáveis consideradas foram temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e precipitação pluviométrica. Para preencher as lacunas existentes de dados meteorológicos, foram aplicadas técnicas de interpolação e métodos de imputação de valores faltantes, garantindo a consistência dos dados ao longo do período analisado. Detalhes adicionais sobre a metodologia utilizada para o preenchimento das falhas encontram-se em Pereira et al. (2024).

As simulações de valores ausentes foram realizadas seguindo o esquema de amostragem de ausência aleatória (MAR), gerados para as porcentagens de 10%. A qualidade de cada método foi verificada utilizando erro absoluto médio (MAE). Todo o processo de tratamento de dados foi executado com linguagem R no Rstudio (RSTUDIO TEAM, 2022) com o pacote *dplyr* (Wickham et al., 2022). Além disso, dados complementares foram extraídos da base do NASA *Prediction of Worldwide Energy Resources* (NASA POWER, 2024) para minimizar os erros e aprimorar a análise.

A despeito da tendência de subestimar a precipitação e a temperatura máxima e superestimar a temperatura mínima (Tan et al., 2023) o uso dos dados horários do Nasa Power (2024) mostrou menor MAE e, portanto, foi adotado para preencher os dados horários ausentes.

2.3.2 Confecção dos produtos gráficos

Os produtos gráficos foram gerados utilizando a linguagem Python no ambiente de desenvolvimento Jupyter Notebook. Para a construção das rosas dos ventos, foi empregada a biblioteca Windrose (South, 2024), a qual possibilita uma análise detalhada das direções e intensidades dos ventos, facilitando a visualização e interpretação de padrões de circulação

atmosférica. Já o gráfico termohigropluviométrico foi elaborado com a biblioteca Matplotlib (Hunter, 2007).

A escolha por utilizar dados horários para a construção dos gráficos se justifica pela disponibilidade de informações do INMET, que oferece apenas a direção do vento em resoluções temporais horárias. Além disso, essa escala temporal proporciona maior precisão na geração de médias termohigropluviométricas, permitindo capturar variações mais sutis nas condições ambientais ao longo do dia e nas diferentes estações do ano, o que enriquece a análise.

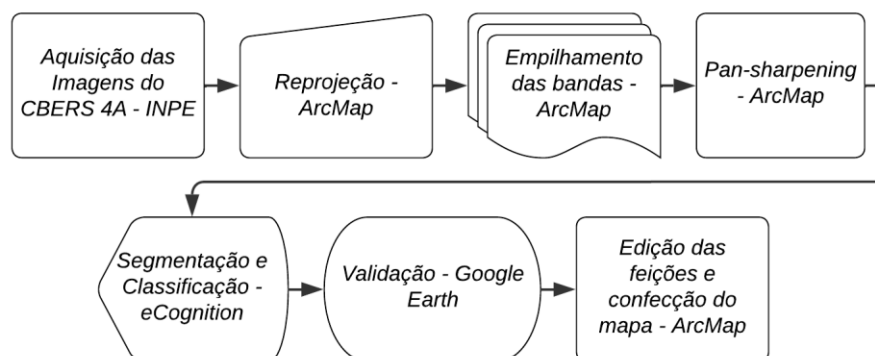
2.4 Uso e cobertura da terra

Para produzir o material cartográfico de uso e cobertura da terra utilizou-se uma imagem de cada área de interesse obtida a partir da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) embarcada no satélite CBERS 04A. A escolha desse produto se deu porque, além de apresentar características de resolução temporal, espacial e espectral compatíveis com a finalidade dessa etapa da pesquisa, ainda é disponibilizado de forma gratuita e pré-ortorretificado.

As imagens de satélite utilizadas foram extraídas da cena 228 (Porto Velho - RO) e 226 (REBIO do Jaru - RO) respectivamente nos dias 11 de julho de 2022 e 20 de maio de 2022 no catálogo de imagens do INPE. As cenas possuem percentual de nuvens de 0,07% (Porto Velho - RO), 0,00% (REBIO Jaru - RO), o que possibilita gerar uma classificação das feições existentes com baixo comprometimento nos resultados.

A primeira etapa no processamento de cada imagem foi a reprojeção para a Projeção UTM, Datum Sirgas 2000, Fuso 20 sul. Em seguida executou-se o empilhamento das bandas espectrais azul (0,45-0,52 μm), verde (0,52-0,59 μm), vermelho (0,63-0,69 μm) e infravermelho próximo (0,77-0,89 μm). Por fim, para se obter a resolução espacial de 2 metros, executou-se a combinação com a banda pancromática (0,45- 0,90 μm). Para essa etapa o único software utilizado foi o ArcMap 10.5, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia



Fonte: elaboração própria

A segmentação e a classificação das imagens foram realizadas de forma supervisionada por meio do software *eCognitionDeveloper64*. Em seguida, as feições foram validadas por meio *software Google Earth*, as correções e a confecção dos mapas foram executadas no *ArcMap* 10.5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

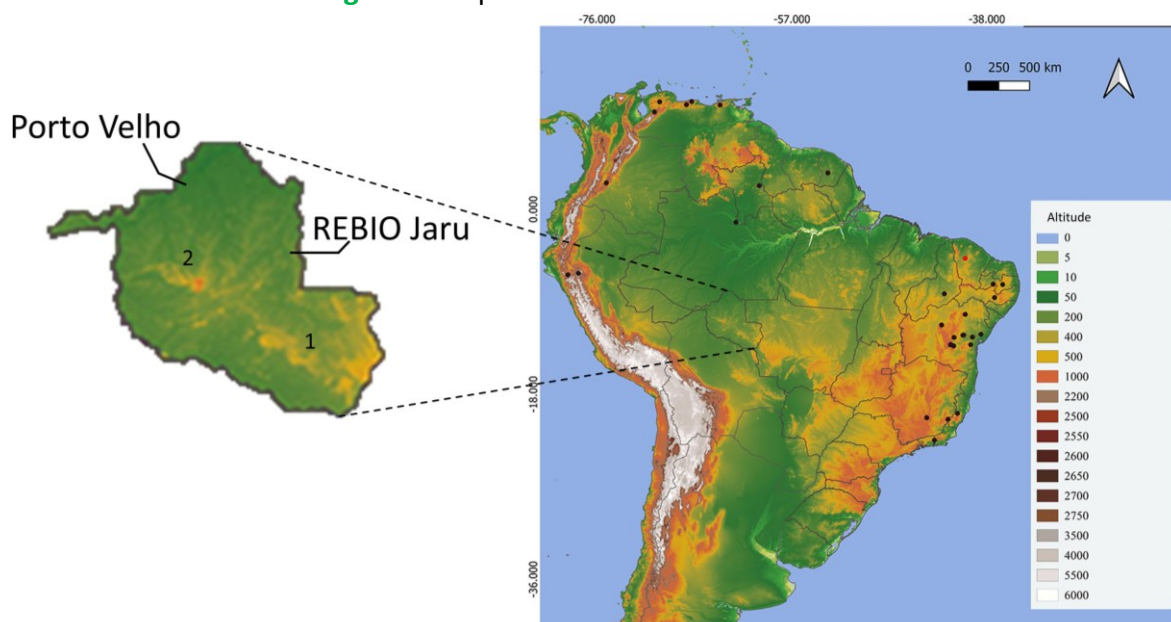
3.1 Relevo e suas influências nas áreas de estudo

Embora ambas as áreas de estudo estejam inseridas no mesmo macrocompartmento geomorfológico, a Depressão Marginal Sul-Amazônica (Ross, 2009), as características locais de relevo desempenham um papel importante na modulação dos atributos climatológicos, especialmente no que diz respeito ao fluxo atmosférico proveniente do sul. Essas diferenças tornam-se particularmente evidentes ao analisar as interações entre a circulação atmosférica e as feições orográficas regionais.

Porto Velho, localizada em uma área de menor altitude, apresenta condições favoráveis para a circulação dos ventos provenientes do sul. Posicionada ao longo de uma calha natural formada pela configuração do relevo entre os Andes e o Planalto Central Brasileiro, facilita o avanço relativamente desobstruído dos fluxos de ar em direção a essa área de estudo, Figura 4. A ausência de barreiras orográficas relevantes que restrinjam o fluxo atmosférico contribui para o transporte mais eficiente de massas de ar austrais, especialmente durante eventos de “friagem” que ocasionalmente atingem a Amazônia.

Por outro lado, a REBIO Jaru, localizada em uma área de maior proximidade com o cinturão orográfico de Rondônia, a influência do relevo torna-se mais pronunciada. Antes de alcançar a REBIO Jaru, os fluxos atmosféricos provenientes do sul, encontram uma barreira orográfica formada pela conexão entre os Planaltos Residuais Sul-Amazônicos, com destaque para a Serra dos Pacaás Novos, que pode atingir aproximadamente 1.100 metros de altitude, e o Planalto e Chapadas da Bacia do Parecis, com altitudes em torno de 700 metros. Essa orografia atua como um obstáculo natural que interfere na trajetória e intensidade dos ventos, com potencial de modular os padrões locais de circulação.

Figura 4 - Hipsometria nas áreas de estudo



Fonte: adaptado de Rodrigues, Sousa e Santos (2023)

Legenda: 1) Planalto dos Parecis; 2) Serra dos Pacaás Novos.

A orientação NE-SE desse cinturão orográfico contribui para desviar e redistribuir o fluxo atmosférico, o que pode resultar em alterações na velocidade e direção do vento, na distribuição da umidade e, conseqüentemente, no comportamento climatológico local. Essas interações tornam o relevo um fator relevante na compreensão da dinâmica atmosférica regional nas áreas de estudo. Uma breve revisão de literatura sobre a geomorfologia dessas áreas pode ser encontrada no material complementar.

3.2 Dinâmica das massas de ar e a resposta local nas áreas de estudo

Pode-se definir massa de ar como uma grande porção de ar com propriedades termo-higrométricas relativamente homogêneas. As características do ambiente de origem influenciam sobremaneira nas características das massas de ar (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007; Vianello; Alves, 2012; Ynoue et al., 2017). Além disso, ao se deslocarem, elas influenciam o tempo por onde passam ao trazerem novas características termodinâmicas e - ao mesmo tempo - perdem as características iniciais e são influenciadas ao longo do percurso.

O início do outono meridional marca o advento da contração da massa equatorial continental (mEc) e possibilita que massas de ar oceânicas atuem de maneira mais incisiva sobre o continente. Com efeito, a contração máxima da mEc é uma das características marcantes da consolidação do inverno meridional.

No inverno austral a retração da mEc (Ynoue et al., 2017) possibilita que a massa tropical atlântica (mTa) avance ainda mais sobre o continente (Carvalho; Moreira; Herrera, 2022; Tejas et al., 2024). Nesse ínterim, a mTa afeta sobretudo a dinâmica climática das áreas de estudo, haja vista inibir a precipitação pluviométrica. Sob seu domínio vigora um tempo com certa estabilidade e queda considerável nos índices pluviométricos. É nessa estação que o comportamento termodinâmico da América do Sul está mais suscetível ao influxo de sistemas oriundos de latitudes maiores como a mPa.

Por outro lado, a primavera representa o advento de retorno da mEc que inicia seu processo de dilatação promovido por elementos termodinâmicos alimentados pela energia oriunda da migração sazonal da radiação solar. Enquanto a mEc avança e se espraia sobre o continente, a promotora da estabilidade termodinâmica na Amazônia - a mTa - recua para as cercanias do oceano Atlântico tropical.

Por fim, é durante o verão austral que a mEc mostra-se mais consolidada e desenvolvida, na medida em que sua atuação pode ser percebida da Amazônia ao litoral de algumas regiões do Brasil (Carvalho; Moreira; Herrera, 2022; Ynoue et al., 2017). Nessa estação do ano, ocorre o deslocamento sazonal do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (Quadro et al., 2012; Reboita; Da Rocha; Oliveira, 2018) que, associado à mEc, promove aumento da convergência de umidade, convecção profunda e culmina em fortes chuvas convectivas. Dessarte, é patente a elevação na precipitação pluviométrica durante o verão austral e isso será abordado na próxima seção.

3.3 Comportamento termohigropluviométrico nas áreas de estudo

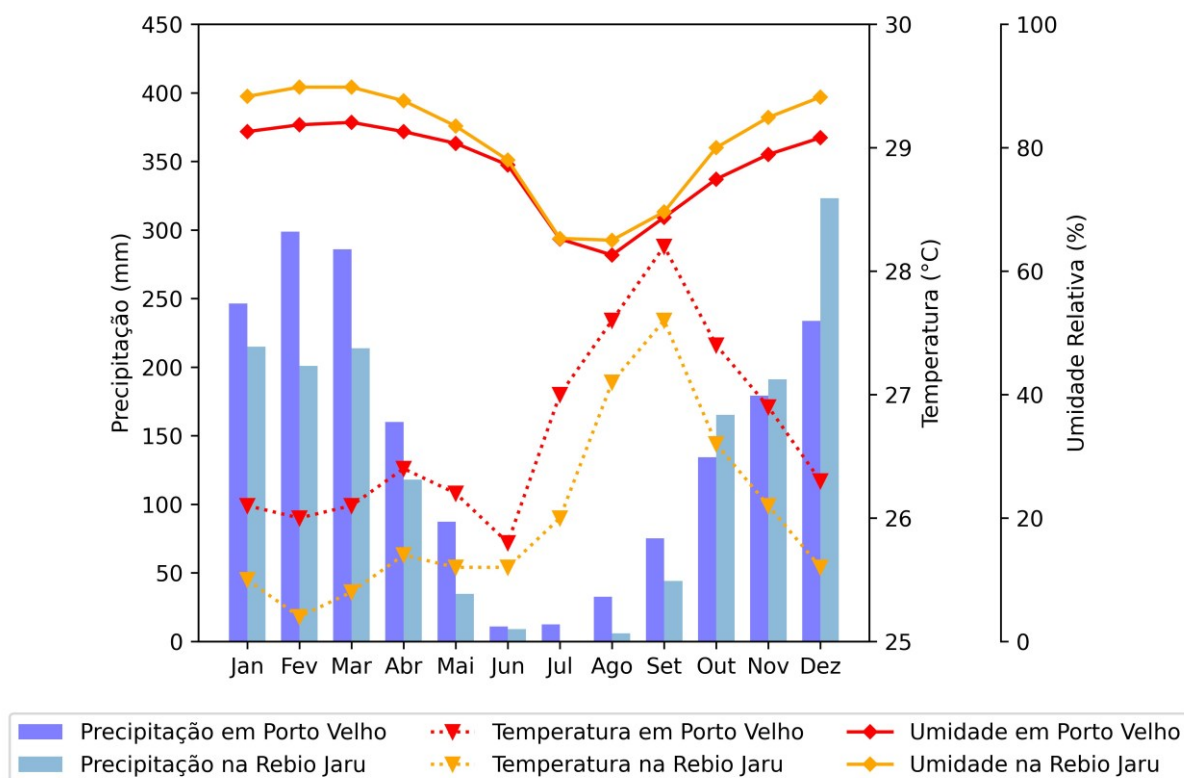
As áreas de estudo localizam-se em uma região - exceto pela atuação da frente polar atlântica (FPA) - marcada por mudanças discretas no tocante à temperatura média do ar. Por outro lado - como há íntima relação entre a umidade relativa do ar, a nebulosidade e a pluviosidade - exceto pelos meses de estiagem - as médias dessas variáveis são elevadas ao longo ano.

Nas áreas de estudo, o íterim de julho a novembro é o período mais quente do ano. Por outro lado, junho é o mês em que as temperaturas são mais amenas em Porto Velho. Já na REBIO Jaru, as menores temperaturas são observadas em fevereiro e março. Portanto, em Porto Velho o inverno meridional exibe características contrastantes, haja vista apresenta os dois meses mais quentes - agosto e setembro - e o mês mais frio - junho¹, Figura 5. Uma possível explicação para esse comportamento na temperatura pode estar relacionada à cobertura vegetal da REBIO Jaru, uma vez que afeta a retenção de calor e a umidade do ar.

De maneira geral, as florestas tropicais mantêm altos níveis de umidade ao longo do ano, mesmo quando as chuvas são escassas (Madigosky, 2004). Esse padrão também é observado na REBIO Jaru, onde a vegetação densa contribui para a manutenção da umidade relativa do ar cerca de 10% mais elevada em relação a Porto Velho. Entretanto, durante o período de estiagem, essa diferença se atenua significativamente, refletindo a maior variabilidade dessa variável na área de floresta.

¹ Os dados da REBIO Jaru foram disponibilizados pelo LBA com o intervalo de 2015 a 2022. A fim de possibilitar uma comparação adequada, optou-se por adotar a mesma janela temporal para os dados fornecidos pelo INMET.

Figura 5 - Distribuição das médias termohigropluviométricas mensais de Porto Velho e REBIO Jaru com dados de 2015 a 2022



Fonte: organizado pelo autor com dados do INMET (2022) e LBA (2023)

O aumento da evapotranspiração leva a um maior teor de umidade atmosférica (Makarieva et al., 2023; Wright et al., 2017). Essa dinâmica ilustra a relação entre cobertura vegetal, disponibilidade hídrica e variáveis atmosféricas, evidenciando como as florestas podem atuar como reguladores do microclima (Kovács; Tinya; Ódor, 2017).

A floresta Amazônica possui a capacidade de manter ou aumentar as taxas de evapotranspiração durante a estação seca (Costa et al., 2010; Da Rocha et al., 2004; Mu; Biggs; Jones, 2023; Numata et al., 2017, 2021; Souza Filho et al., 2005). Portanto, a REBIO Jaru, caracterizada por sua densa floresta primária, apresenta maior dependência dos fluxos de evapotranspiração para sustentar elevados níveis de umidade atmosférica.

Essa dinâmica é atribuída à profundidade dos sistemas radiculares das árvores amazônicas, que acessam reservas hídricas profundas, permitindo a manutenção de taxas elevadas de evapotranspiração, mesmo em períodos de baixa precipitação (Da Rocha et al., 2004; Numata et al., 2017, 2021).

Contudo, em condições de estiagem prolongada, a disponibilidade hídrica no solo é reduzida, levando ao fechamento estomático das plantas como estratégia para conservação

de água. Essa limitação dos fluxos evapotranspirativos impacta diretamente o balanço energético local e resulta em quedas acentuadas na umidade relativa do ar (Costa et al., 2010; Souza Filho et al., 2005). Ademais, durante a estação seca, a maior disponibilidade de radiação solar - associada a uma menor cobertura de nuvens - favorece as taxas de evapotranspiração. No entanto, a limitação hídrica no solo impõe restrições que variam conforme a intensidade da estiagem (Mu; Biggs; Jones, 2023).

Portanto, em cenários de estiagem, a capacidade de retenção de umidade pelas florestas pode ser afetada pela queda nos fluxos de evapotranspiração, promovendo uma aproximação dos valores da umidade relativa do ar entre os sítios analisados durante esse período.

Por outro lado, o uso e cobertura da terra em Porto Velho apresenta componentes antropogênicos, como o concreto e asfalto, que - devido ao calor específico - corrobora a elevação da temperatura observada. Portanto, ambas áreas apresentam o mesmo ritmo termodinâmico, mas esses fatores combinados podem influenciar os distintos comportamentos térmicos observados nas áreas de estudo.

Na REBIO Jaru a maior fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (fPAR) - que representa a quantidade de radiação absorvida pela planta - possui as maiores médias mensais entre junho e outubro (Barbino et al., 2023). Esse intervalo coincide com os meses de temperaturas mais elevadas observadas em ambos os sítios analisados. Essa sincronia evidencia uma relação intrínseca entre as variáveis climáticas e os processos ecossistêmicos, destacando a capacidade da vegetação em otimizar seus processos fisiológicos para maximizar a eficiência no uso dos recursos disponíveis, como a radiação solar, especialmente em condições climáticas de maior intensidade térmica.

Ademais, as temperaturas mais elevadas do ano se devem, entre outros fatores, à pouca nebulosidade que, durante o dia, potencializa o aquecimento telúrico por meio do calor sensível e do calor específico das superfícies. Por outro lado, durante a noite, os mesmos componentes intensificam a profusa perda de calor sensível. Contudo, as temperaturas mais baixas em junho, em Porto Velho, são estabelecidas pela ação da FPA e as “friagens” derivadas dela. A ação desse sistema frontal tende a forçar a média térmica em junho para as médias mínimas observadas ao longo do ano.

É possível determinar duas sazonalidades pluviométricas bem consistentes: o período chuvoso, que compreende o íterim de outubro a abril - meados da primavera, verão e início do outono austrais - e a curta estação seca, que comporta os meses: junho, julho e agosto. Pode-se definir os meses maio e setembro como intervalos de transição entre os regimes.

No equinócio de primavera austral, setembro a dezembro, prevalece um fluxo pluvial ascendente. Por outro lado, no equinócio de outono meridional - março a junho - o influxo pluviométrico é descendente até atingir o seu mínimo. O verão e o inverno austrais marcam o máximo e o mínimo de chuvas, respectivamente. Outro aspecto primordial para a discussão é a direção e velocidade dos ventos, portanto, na próxima seção desenvolve-se a análise do comportamento dessas variáveis nas áreas de estudo.

3.4 Direção e velocidade dos ventos nas áreas de estudo

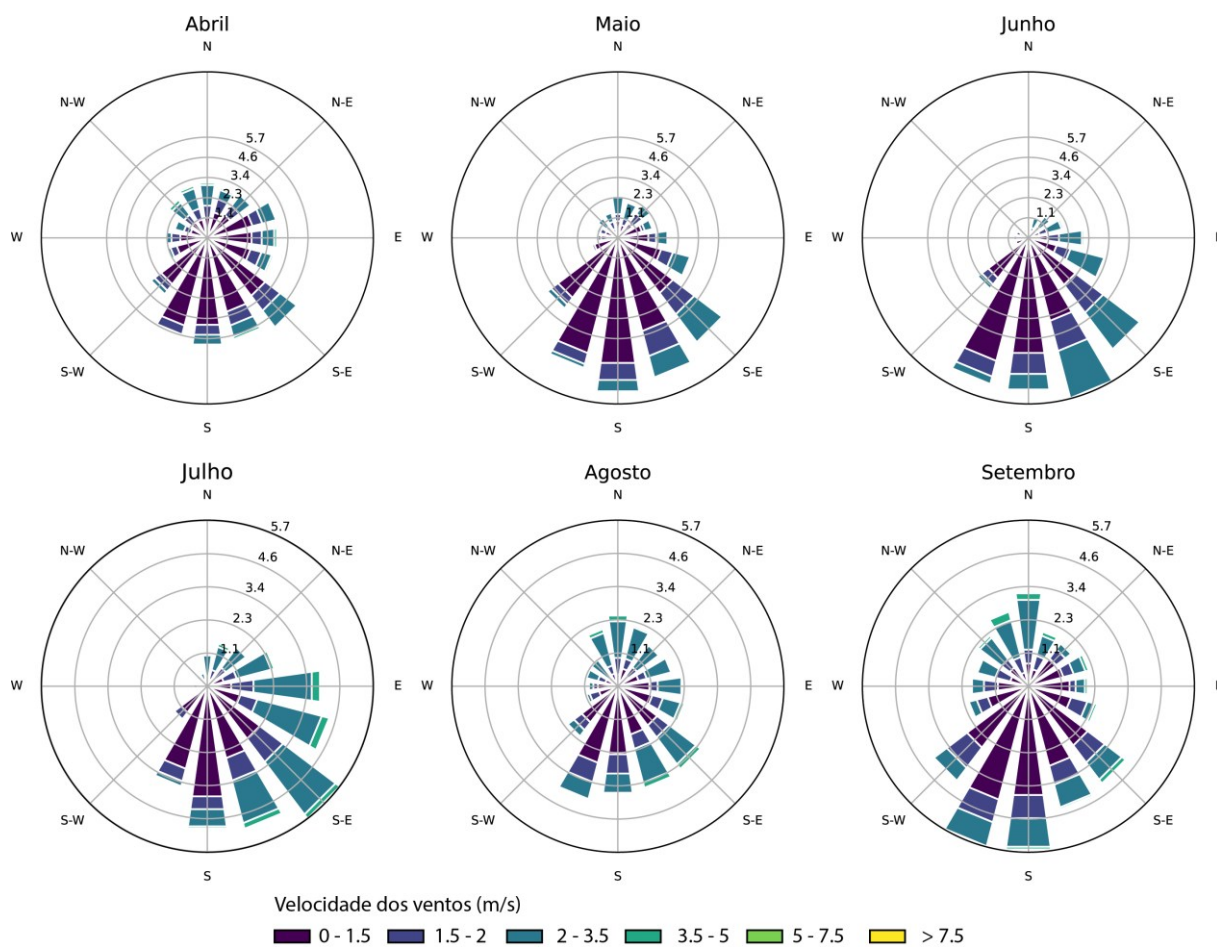
O comportamento dos ventos nas áreas de estudo apresenta semelhança em relação à orientação preferencial dessa variável ao longo ano. Com base nesse aspecto, foi possível estabelecer dois intervalos: de abril a setembro e de outubro a março.

O primeiro intervalo marca o domínio dos ventos meridionais. A análise dessa delimitação temporal permite afirmar que os meses de abril e setembro² apontam o fortalecimento e enfraquecimento - respectivamente - dos ventos austrais e, portanto, são meses de transição. Isso está alinhado com a análise dos sistemas atmosféricos que atuam nesse íterim, com destaque para o avanço da massa polar atlântica (mPa) e da FPA.

Nas Figura 6 e Figura 7, é possível analisar o comportamento das variáveis de interesse durante o período outono/inverno austrais em Porto Velho e na REBIO Jaru, respectivamente. Embora o domínio dos ventos meridionais prevaleça nesse intervalo nas duas áreas de estudo, as direções predominantes dos ventos em Porto Velho apresentam-se pulverizadas no quadrante sul variando principalmente de sudoeste a sudeste. Em contrapartida, na REBIO Jaru os ventos meridionais estão concentrados especialmente de SSE a SE. Esse padrão sugere uma maior influência da mTa na REBIO Jaru em relação a Porto Velho.

² Vale ressaltar, no entanto, que em Porto Velho essa dinâmica não é tão evidente quanto na REBIO Jaru.

Figura 6 - Variabilidade dos ventos de abril a setembro em Porto Velho³

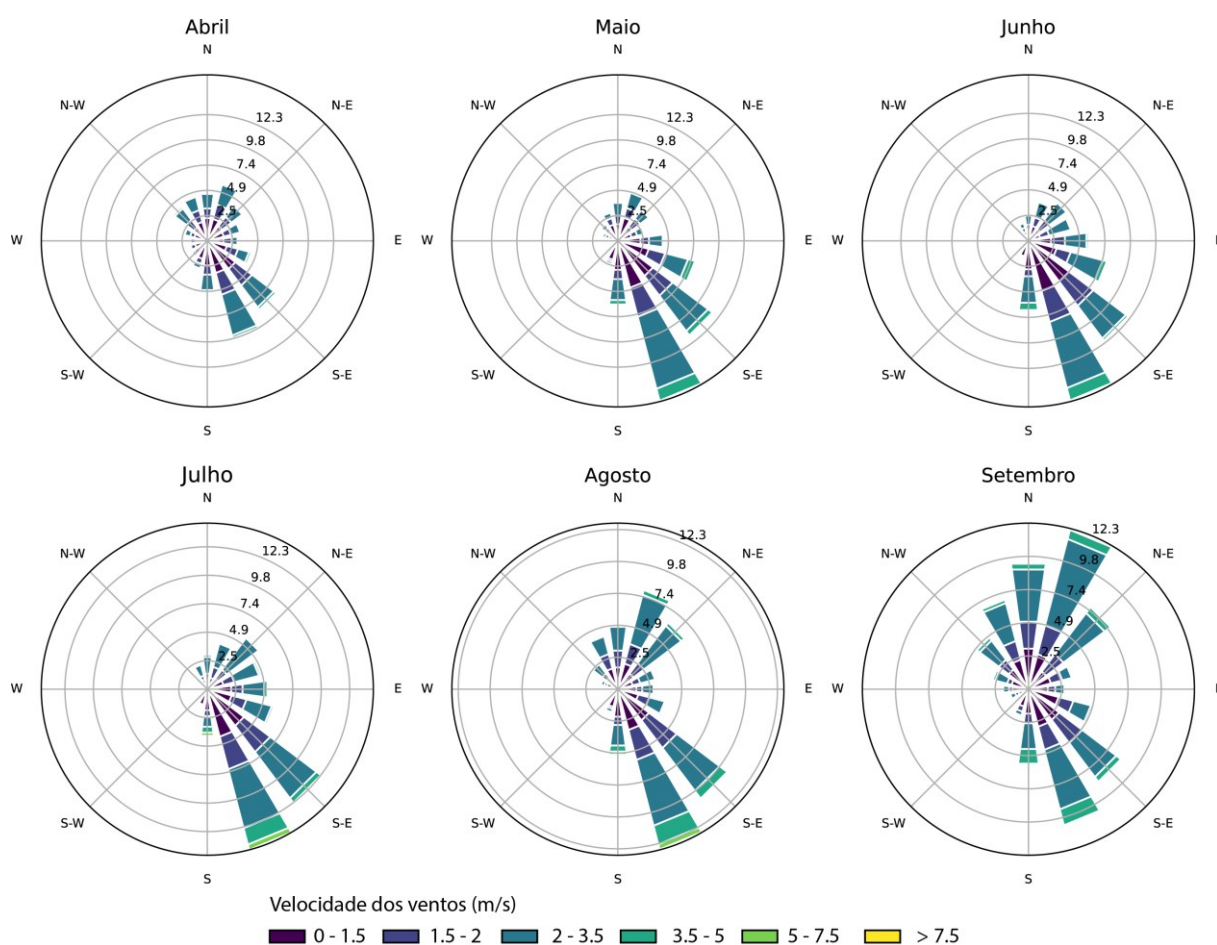


Fonte: organizado pelo autor com dados do INMET (2022)

A partir de abril, os ventos setentrionais gradualmente perdem intensidade e frequência, marcando o início do domínio dos ventos meridionais. Este padrão persiste ao longo dos meses de outono e inverno austrais. Entretanto, em setembro, torna-se perceptível o fortalecimento dos ventos provenientes do quadrante norte, indicando uma nova transição nas condições atmosféricas. Este fenômeno é característico da mudança sazonal, refletindo a dinâmica climática das regiões estudadas e a interação entre diferentes massas de ar.

³ Os *scripts* desses gráficos estão disponíveis em: <https://aldani.quarto.pub/r4you/posts/python/python.html>.

Figura 7 - Variabilidade dos ventos de abril a setembro na REBIO Jaru

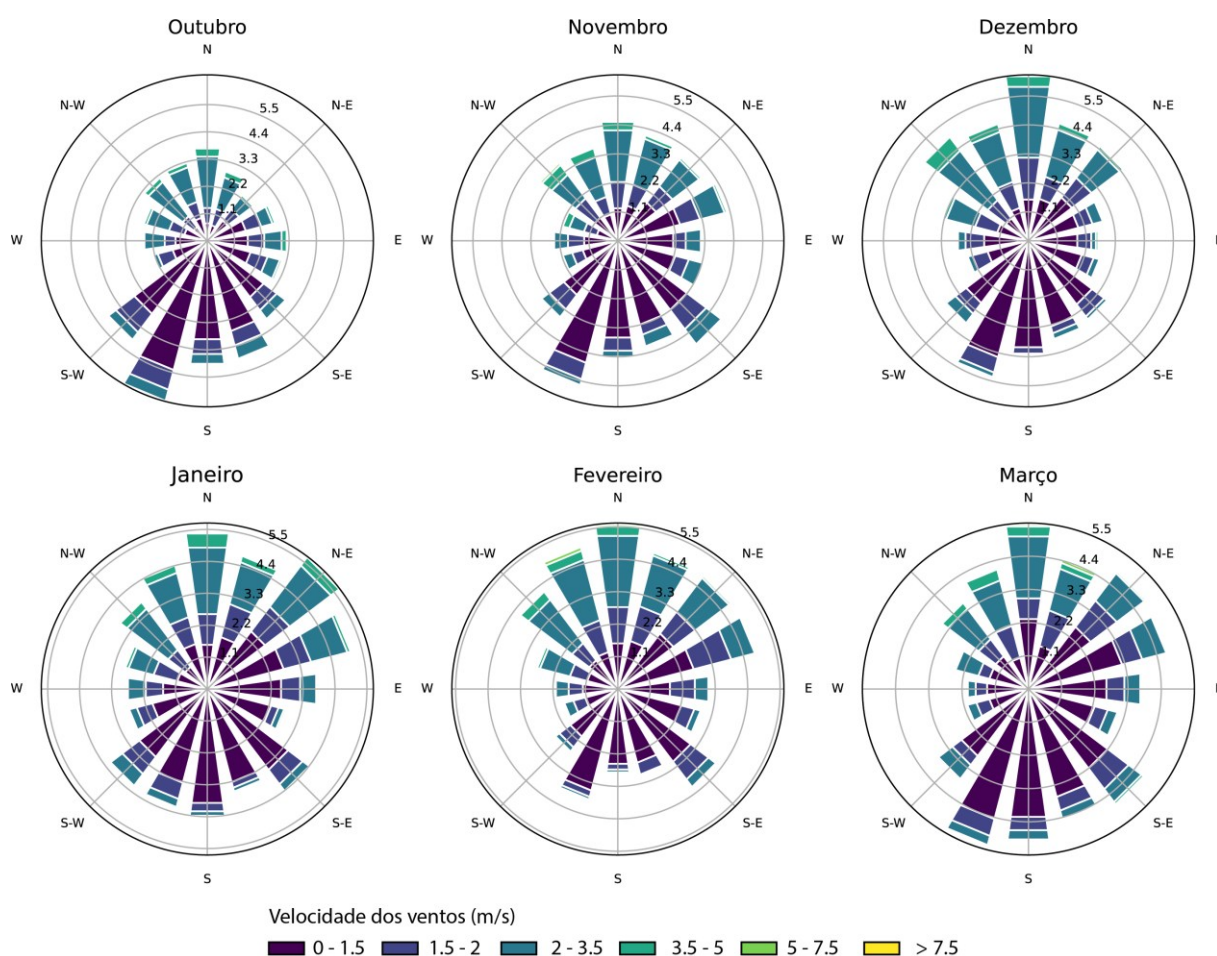


Fonte: organizado pelo autor com dados do LBA (2023)

Durante o período de primavera a verão, o comportamento dos ventos nas áreas de estudo revela um domínio predominante do setor setentrional. No entanto, observa-se uma maior variabilidade entre as áreas de estudo nesse intervalo temporal. Na REBIO Jaru, a reversão sazonal dos ventos é evidente, com uma predominância clara do setor norte durante este período, Figura 9.

Em Porto Velho, por outro lado, embora os ventos do norte sejam predominantes, o setor sul continua a desempenhar um papel significativo, apresentando forte intensidade e frequência. Isso sugere que em Porto Velho não ocorre uma reversão sazonal nítida entre os domínios dos ventos do norte e do sul dentro dos intervalos definidos. Além disso, nesta área de estudo, os ventos meridionais são uma constante ao longo do ano, enquanto os ventos setentrionais mostram um enfraquecimento notável durante o outono e inverno austrais, Figura 8.

Figura 8 - Variabilidade dos ventos de outubro a março em Porto Velho

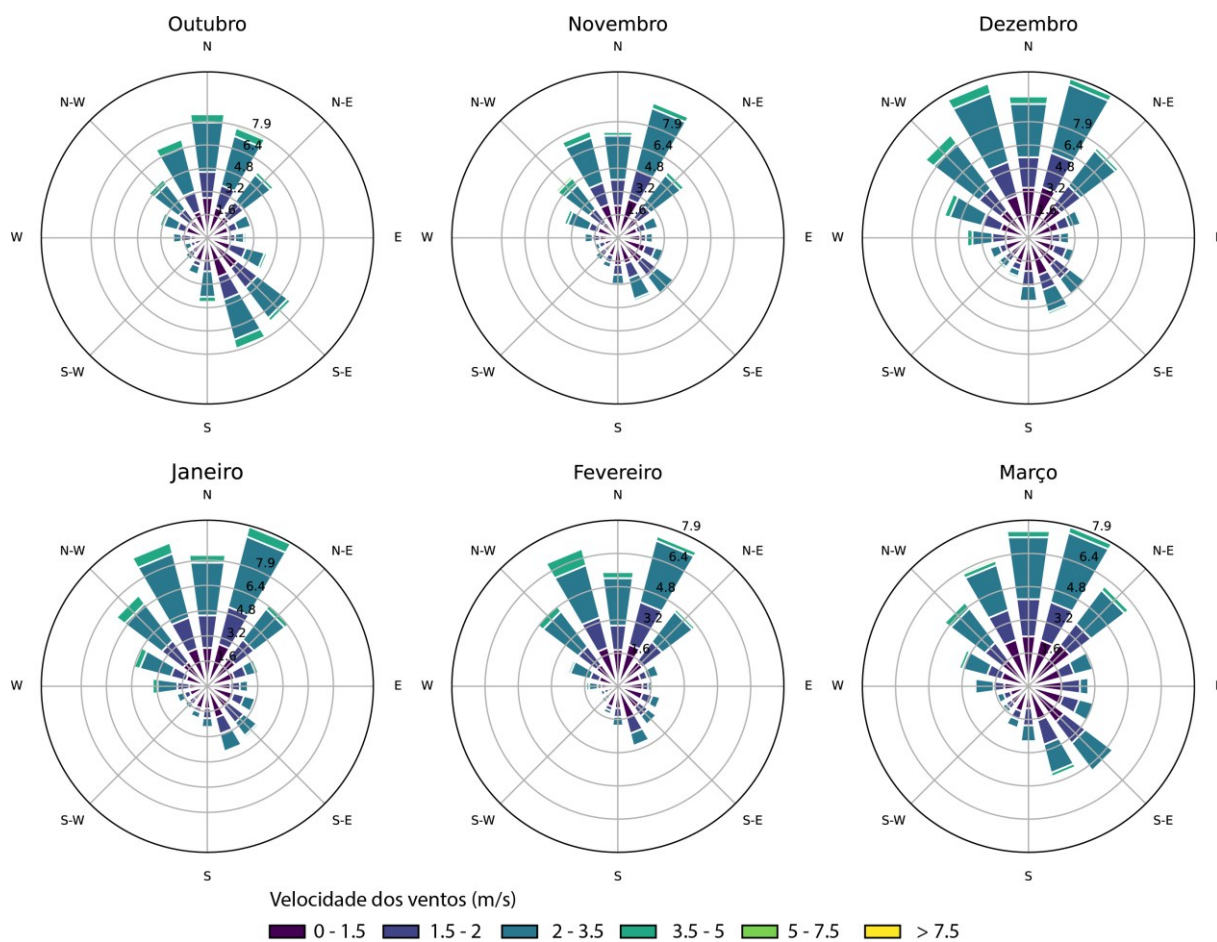


Fonte: organizado pelo autor com dados do INMET (2022)

Uma possível interpretação para essa diferença pode ser a influência mais pronunciada dos sistemas atmosféricos oriundos do sul em Porto Velho, tais como frentes frias e a mPa. Esses sistemas parecem exercer um impacto mais marcante em Porto Velho que na REBIO Jaru, contribuindo para a persistência dos ventos meridionais na região.

Essa persistência sugere uma interação complexa entre os fatores climáticos locais (como o uso e a cobertura da terra, bem como a vegetação) e os fatores regionais (como os sistemas migratórios sazonais e o relevo). Essa interação molda o regime de ventos de maneira distinta nas duas áreas de estudo. O relevo, nesse contexto, desempenha um papel importante ao moldar o regime de ventos, configurando padrões distintos entre as áreas de estudo e evidenciando sua importância na climatologia regional.

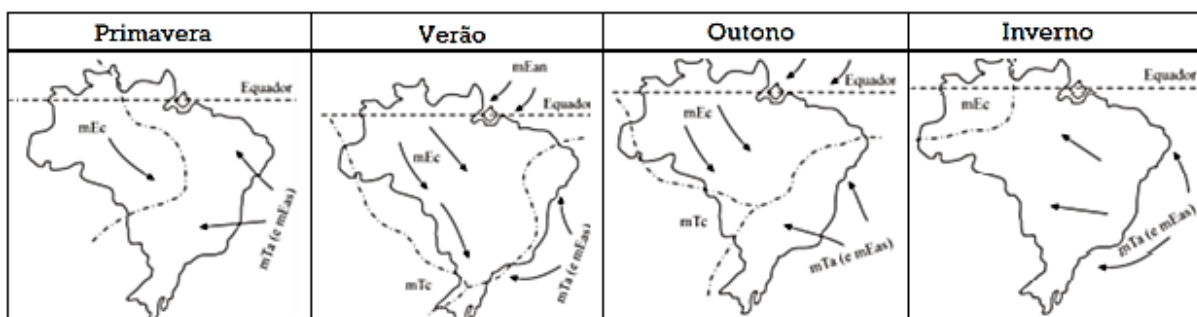
Figura 9 - Variabilidade dos ventos de outubro a março na REBIO Jaru



Fonte: organizado pelo autor com dados do LBA (2023)

A análise da direção e velocidade dos ventos nos dois sítios revelou uma certa similaridade no comportamento dos ventos provenientes do setor setentrional. Esses ventos se intensificam durante a primavera/verão e enfraquecem no outono/inverno. Este padrão sazonal destaca a influência significativa da mEc nas áreas de estudo, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Comportamento das massas de ar no Brasil



Fonte: adaptado de Torres e Machado (2011)

Evidenciou-se a influência de sistemas sinóticos em diferentes sazonalidades. A mEc e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) são mais atuantes na primavera e no verão, quando os ventos do setor norte, especialmente de norte a nordeste, se intensificam. No outono e inverno, o domínio da mPa, da FPA e da mTa é predominante. Durante esse período, a maior frequência e intensidade dos sistemas polares resultam em um aumento dos ventos provenientes do quadrante sul em ambas as áreas de estudo.

Em Porto Velho, os ventos do sul estão presentes durante todo o ano, enquanto os ventos do norte se fortalecem na primavera e verão, diminuindo no outono e inverno. Na REBIO Jaru, observa-se uma reversão sazonal na direção preferencial dos ventos norte e sul, evidenciando padrões distintos de circulação atmosférica entre as duas regiões. Além disso, na REBIO Jaru, o quadrante sul é dominado por ventos provenientes de direções entre este-sudeste e sul. Esse domínio sugere que a ação da mTa na REBIO Jaru é mais incisiva do que em Porto Velho.

As diferenças nos comportamentos dessas variáveis podem ser atribuídas não apenas à influência dos sistemas atmosféricos, mas também a atributos locais, com destaque para o revestimento da superfície e o relevo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variabilidade climática entre as duas áreas de estudo se apresenta de forma similar, especialmente no comportamento termohigropluviométrico e na ação das massas de ar. Todavia, a urbanização em Porto Velho promove alterações significativas no balanço energético local, intensificando a absorção de calor devido ao maior calor específico dos materiais urbanos, como concreto e asfalto. Esse fenômeno é acompanhado por uma diminuição nos níveis de umidade relativa (em comparação com a REBIO Jaru), influenciado também pelo escoamento superficial urbano, o que se torna particularmente evidente durante os meses de maior precipitação.

O relevo destacou-se como um fator relevante na dinâmica dos ventos nas duas áreas de estudo. Em Porto Velho, a calha natural no sentido meridional favorece o avanço dos sistemas frontais, que são persistentes ao longo do ano. Portanto os ventos do sul estão presentes durante todo o ano, enquanto os ventos do norte se fortalecem na primavera e verão, diminuindo no outono e inverno. Na REBIO Jaru, por outro lado, o relevo e a vegetação

densa modulam a dinâmica climática local, resultando em uma reversão sazonal mais evidente. Durante o outono e o inverno, predominam ventos austrais, enquanto na primavera e no verão, os ventos setentrionais ganham intensidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que, por meio do Processo 406062/2021-8, contribuiu para o desenvolvimento deste manuscrito e ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilidade dos dados.

O primeiro autor também agradece à CAPES pelo programa de intercâmbio (Processo: 88881.981020/2024-01) e à Secretaria de Estado da Educação de Mato Grosso pela concessão de licença para qualificação profissional.

REFERÊNCIAS

BARBINO, G. C. et al. Índice de área foliar e sua relação com o microclima em floresta e pastagem na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 311–335, 20 fev. 2023.

BRASIL. **Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010.

BRUBAKER, K. L.; ENTEKHABI, D.; EAGLESON, P. S. Estimation of Continental Precipitation Recycling. **Journal of Climate**, v. 6, n. 6, p. 1077–1089, jun. 1993.

CARVALHO, A. B.; HERRERA, J. A. Contribuições da Educação Ambiental para mitigação dos efeitos de eventos climáticos extremos na bacia hidrográfica do igarapé Altamira em Altamira-PA. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 3, p. 196, 29 dez. 2017.

CARVALHO, A. B.; MOREIRA, R. P.; HERRERA, J. A. Aspectos da dinâmica climática de Altamira-PA. **Revista Percorso**, v. 14, n. 2, p. 23–34, 2022.

CLARKE, A. **Principles of thermal ecology**: Temperature, energy and life. Oxford: Oxford University Press, 2017.

COSSINS, A. **Temperature biology of animals**. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2012.

COSTA, M. H. et al. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 115, n. G4, 11 dez. 2010.

DA ROCHA, H. R. et al. Seasonality of Water and Heat Fluxes over a Tropical Forest in Eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 22–32, ago. 2004.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. **Computing in Science & Engineering**, v. 9, n. 3, p. 90–95, 2007.

ICMBIO. **Reserva Biológica do Jaru**. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/620>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base Cartográfica**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Rebio do Jaru**. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/rebio-do-jaru>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

KOVÁCS, B.; TINYA, F.; ÓDOR, P. Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 234–235, p. 11–21, mar. 2017.

MADIGOSKY, S. R. Forest canopies. In: LOWMAN, M. D.; RINKER, H. B. (Eds.). **Tropical microclimatic considerations**. San Diego: Academic Press, 2004. p. 24–48.

MAKARIEVA, A. M. et al. The role of ecosystem transpiration in creating alternate moisture regimes by influencing atmospheric moisture convergence. **Global Change Biology**, v. 29, n. 9, p. 2536–2556, 10 maio 2023.

MARENGO, J. A. et al. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261–2280, jun. 2004.

MARENGO, J. A. Jato de Baixos Níveis a leste dos Andes. In: FERREIRA, N. J.; CAVALCANTI, I. F. DE A. (Eds.). **Sistemas meteorológicos atuantes no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MU, Y.; BIGGS, T. W.; JONES, C. Importance in Shifting Circulation Patterns for Dry Season Moisture Sources in the Brazilian Amazon. **Geophysical Research Letters**, v. 50, n. 9, p. 1–8, 2023.

NASA POWER. **Prediction of Worldwide Energy Resources**. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>. Acesso em: 5 maio. 2024.

NUMATA, I. et al. Evaluation of Landsat-Based METRIC Modeling to Provide High-Spatial Resolution Evapotranspiration Estimates for Amazonian Forests. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 46, 6 jan. 2017.

NUMATA, I. et al. Forest evapotranspiration dynamics over a fragmented forest landscape under drought in southwestern Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 306, p. 108446, ago. 2021.

PEREIRA, A. R. B. et al. Preenchimento de falhas em séries de dados meteorológicos de estações automáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, p. 22–44, 19 jul. 2024.

QUADRO, M. F. L. DE et al. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 152–162, jul. 2012.

REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; OLIVEIRA, D. M. DE. Key Features and Adverse Weather of the Named Subtropical Cyclones over the Southwestern South Atlantic Ocean. **Atmosphere**, v. 10, n. 1, p. 6, 27 dez. 2018.

RODRIGUES, L. DE S.; SOUSA, I. C. DE; SANTOS, F. D. S. New occurrence of *Mitracarpus frigidus* (Willd. ex Roem. & Schult.) K.Schum. (Rubiaceae, Spermacoceae) in the State of Ceará, Brazil. **Hoehnea**, v. 50, 2023.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

RSTUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development Environment for R. Boston, MARStudio, PBC, , 2022. Disponível em: <<https://posit.co/>>

SOUTH, E. **Windrose**: A library for visualizing wind data. , 2024. Disponível em: <<https://github.com/python-windrose/python-windrose>>

SOUZA FILHO, J. D. DA C. et al. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223–229, jun. 2005.

TAN, M. L. et al. Evaluation of NASA POWER and ERA5-Land for estimating tropical precipitation and temperature extremes. **Journal of Hydrology**, v. 624, p. 129940, set. 2023.

TEJAS, G. T. et al. Atmospheric Patterns in Porto Velho, Rondônia, Southwestern Amazon, in a Rhythmic Context between 2017 and 2018. **Climate**, v. 12, n. 3, p. 28, 20 fev. 2024.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. DE O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2012.

WICKHAM, H. et al. **A Grammar of Data Manipulation**. , 2022. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=dplyr>>

WRIGHT, J. S. et al. Rainforest-initiated wet season onset over the southern Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 32, p. 8481–8486, 8 ago. 2017.

YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.