

APLICAÇÃO DAS BANDAS DE BOLLINGER EM ANÁLISES DE TEMPERATURA DO AR EM CUIABÁ-MT

Gabriel Espedito Nascimento Fonseca

Pós-graduando do Curso de Especialização em Docência na Educação Profissional e Tecnológica, Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil¹
gabrielnascimento002@hotmail.com

Stéfano Teixeira Silva

Doutor em Física Ambiental, Professor do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Pontes e Lacerda, Mato Grosso, Brasil²
stefano.silva@plc.ifmt.edu.br

RESUMO: O planeta Terra vem ao longo das últimas décadas enfrentando variadas situações atípicas, como a elevação da temperatura global, aumento na recorrência do fenômeno El Niño, extremas secas em algumas regiões do planeta e em outras localidades o excesso de chuvas, tais problemas se relacionam diretamente com as mudanças climáticas. Em decorrência destes fatos muitos pesquisadores direcionaram suas atenções para compreenderem o comportamento climático do planeta, produzindo pesquisas com objetivo de conhecer seu funcionamento, identificar suas futuras mudanças, prever catástrofes naturais e reduzir seus impactos. Diante desta problemática, esta pesquisa busca contribuir na evolução do conhecimento climatológico, analisando a eficácia das Bandas de Bollinger, ferramenta tradicionalmente utilizada no mercado financeiro para análise de séries temporais, adaptada neste estudo para o contexto climatológico, quando aplicada em dados de temperatura do ar coletados na cidade de Cuiabá-MT, entre os anos de 2003 e 2022. Os resultados obtidos mostram que a técnica pode auxiliar no estudo dos padrões climáticos da variável temperatura do ar, bem como revelar detalhes sobre a sazonalidade local, através dos gráficos gerados que permitiram à visualização de comportamentos padronizados e características que se relacionaram com os eventos climáticos ocorridos dentro do período analisado.

Palavras-chave: Bandas de Bollinger; Temperatura do ar; Sazonalidade climática.

APPLICATION OF BOLLINGER BANDS IN AIR TEMPERATURE ANALYSIS IN CUIABÁ-MT

ABSTRACT: The planet Earth has been facing various atypical situations over the last few decades, such as rising global temperatures, increased frequency of the El Niño phenomenon, extreme droughts in some regions, and excessive rainfall in others. These issues are directly related to climate change. As a result of these facts, many researchers have directed their attention to understanding the planet's climatic behavior, conducting studies with the aim of understanding its functioning, identifying future changes, predicting natural disasters, and reducing their impacts. In response to this issue, this research seeks to contribute to the evolution of climatological knowledge by analyzing the effectiveness of Bollinger Bands, a tool traditionally used in the financial market for time series analysis. In this study, it is adapted to the climatological context and applied to air temperature data collected in the city of Cuiabá-MT between the years 2003 and 2022. The results obtained show that the technique can assist in studying the climatic patterns of the air temperature variable and reveal details about local seasonality. The generated graphs allowed the visualization of standardized behaviors and characteristics related to climatic events that occurred within the analyzed period.

Keywords: Bollinger bands; Air temperature; Climatic seasonality.

APLICACIÓN DE LAS BANDAS DE BOLLINGER EN ANÁLISIS DE TEMPERATURA DEL AIRE EN CUIABÁ-MT

RESUMEN: El planeta Tierra ha estado enfrentando diversas situaciones atípicas en las últimas décadas, como el aumento de la temperatura global, el incremento en la frecuencia del fenómeno de El

¹ Endereço para correspondência: Rua dos Buritis, nº 15 - Jardim das Palmeiras, CEP: 78080-145, Cuiabá-MT, Brasil.

² Endereço para correspondência: Rodovia MT-473, s/nº, CEP: 78250-000, Pontes e Lacerda-MT, Brasil.

Niño, sequías extremas en algunas regiones del planeta y, en otras localidades, exceso de lluvias. Estos problemas están directamente relacionados con los cambios climáticos. Como resultado de estos hechos, muchos investigadores han dirigido su atención hacia la comprensión del comportamiento climático del planeta, llevando a cabo investigaciones con el objetivo de comprender su funcionamiento, identificar sus futuros cambios, prever catástrofes naturales y reducir sus impactos. Ante esta problemática, esta investigación busca contribuir a la evolución del conocimiento climatológico, analizando la eficacia de las Bandas de Bollinger, una herramienta tradicionalmente utilizada en el mercado financiero para el análisis de series temporales, adaptada en este estudio para el contexto climatológico, al ser aplicada en datos de temperatura del aire recolectados en la ciudad de Cuiabá-MT, entre los años 2003 y 2022. Los resultados obtenidos muestran que la técnica puede ayudar en el estudio de los patrones climáticos de la variable temperatura del aire, así como revelar detalles sobre la estacionalidad local, a través de los gráficos generados que permitieron la visualización de comportamientos estandarizados y características relacionadas con los eventos climáticos ocurridos dentro del período analizado.

Palabras clave: Bandas de Bollinger; Temperatura del aire; Estacionalidad climática.

Introdução

Uma das grandes preocupações da sociedade é em relação ao clima de uma determinada região, compreender seus padrões e prever futuras mudanças climáticas em determinadas localidades permitem que ações eficazes sejam imediatamente adotadas diante de mudanças radicais do clima, que podem afetar o meio ambiente, o cultivo de alimentos e na ocupação habitacional desta região impactada. Esta área de conhecimento climatológico permite que a sociedade se adapte na região em que vive mesmo frente a um evento atípico do clima (CAMPOS, 2011).

Análises de temperatura do ar em séries temporais, permitem a identificação de padrões que contribuem na previsão de fenômenos climáticos. A temperatura do ar tem grande importância em variados campos de estudos, como a agricultura, engenharia ambiental, climatologia, meteorologia entre outros; uma das aplicações geradas a partir de análises de temperaturas diárias do ar é na previsão do tempo, onde estas análises permitem a identificação de padrões climáticos, oscilações térmicas e tendências a frentes frias e ou quentes.

Nos últimos anos é notório a crescente busca por compreensão e aperfeiçoamento nos métodos de estudos para identificações de eventos futuros do nosso clima global, tendo em vista que a sociedade é total dependente de um ambiente propício para sua sobrevivência e desenvolvimento. A temperatura do ar por exemplo exerce papel de grande valor para a vida, onde cada ser possui suas requisições de temperatura com limites máximos e mínimos, denominado faixa de tolerância, e que quando as variações de temperaturas atingem esta faixa comprometem o desenvolvimento e o crescimento do organismo, caso esta exposição fora da faixa de tolerância seja prolongada podem gerar danos irreversíveis ou até mesmo à morte do ser vivo (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Partindo da importância que a temperatura do ar e o clima como um todo representa para a vida, este trabalho tem o objetivo principal de contribuir para o aperfeiçoamento nos estudos climatológicos, testando uma ferramenta de análise em séries temporais comumente utilizada no mercado financeiro por investidores nas negociações de ativos. Desenvolvida em 1983 por John Bollinger, as Bandas de Bollinger desempenham um excelente papel quando aplicadas em séries temporais de dados, fornecendo informações que auxiliam os investidores na identificação de tendências e comportamento variado nos preços dos ativos, segundo Bollinger (2001) a adaptabilidade das Bandas vem principalmente da volatilidade, possibilitando sua aplicação em séries temporais com alta volatilidade, por exemplo a temperatura do ar utilizada neste trabalho, por apresentar grande variabilidade térmica nos dados coletados em longos períodos.

As Bandas de Bollinger foram aplicadas em uma série temporal de coletas diárias de temperatura do ar, no intervalo de 2003 à 2022, registradas pelo Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET) da estação A901, localizada na cidade de Cuiabá capital do estado de Mato Grosso, região esta que detêm grande importância em relação à questão das mudanças climatológicas globais, devido à sua grande contribuição negativa na emissão de CO₂ na atmosfera, em decorrência das queimadas que ocorrem no estado, e também não menos importante à grande ação antropogênica já identificadas em grandes ecossistemas, como por exemplo, Pantanal, Cerrado e etc., onde a ocupação humana estão convertendo essas regiões de florestas em áreas de cultivo e criação de bovinos (SILVA, 2015).

Bandas de Bollinger

John Bollinger desenvolveu esta técnica de análise para o mercado financeiro na década de 80, sua popularização entre os traders (investidores que compram e vendem ativos financeiros em bolsas de valores) é devido sua facilidade de interpretação através de seus gráficos.

Conforme o exemplo da figura 1 a técnica é composta por três linhas que são plotadas no gráfico de preços, sendo elas: uma linha central formada a partir de uma média móvel simples, uma linha superior obtida somando-se à linha central duas vezes o seu desvio padrão e uma linha inferior formada pela subtração da linha central duas vezes o seu desvio padrão. As bandas (linhas superiores e inferiores) realizam movimentos de expansão e contração fornecendo informações de volatilidade de um ativo, quando as bandas se mantêm contraídas indica baixa volatilidade do ativo, e esse movimento costuma antecipar uma explosão das bandas iniciando um forte movimento direcional, indicando o aumento da volatilidade. Essa baixa volatilidade gera um momento de calma no mercado financeiro, onde o preço do ativo está reunindo forças para iniciar um novo movimento direcional, seja para baixo ou para cima (ABE, 2009).

Em sua publicação de 2001, John Bollinger criou uma tabela de referência das bandas aplicadas em curtos e longos intervalos temporais:

Tabela 1 – Períodos de ajuste do desvio-padrão

Quantidade de Períodos	Desvio-padrão
10	1,9
20	2,0
50	2,1

Fonte: Bollinger on Bollinger Bands.

As Bandas de Bollinger podem ser calculadas pela seguinte equação:

$$M_m = \frac{(V_1 + \dots + V_N)}{N} \quad (1)$$

onde o valor utilizado é V ; N corresponde à quantidade de valores utilizados e M_m é a média móvel simples que forma a linha central; para obtenção da banda superior e inferior utiliza-se o desvio padrão juntamente com a média móvel simples:

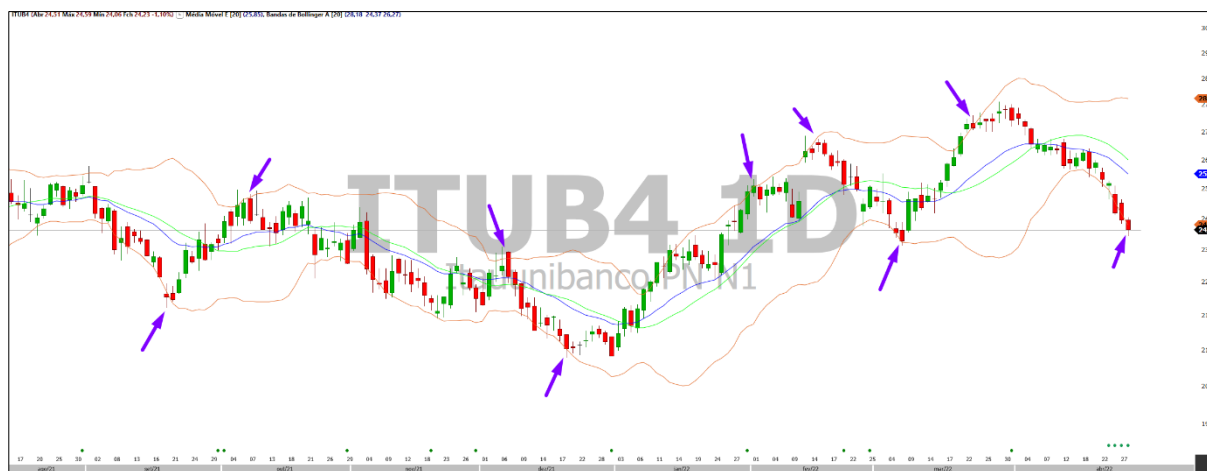
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V - M_m)^2}{N}} \quad (2)$$

$$B+ = M_m + (2\sigma) \quad (3)$$

$$B- = M_m - (2\sigma) \quad (4)$$

onde: σ é o desvio padrão, o valor corresponde a V , a quantidade de valores dentro do conjunto é dada por N , $B+$ é a banda superior e $B-$ é a banda inferior.

Figura 1: Gráfico das Bandas de Bollinger para ITUB4 (Itaú Unibanco) entre agosto/2021 e abril/2022



Fonte: Toro Investimentos <<https://blog.toroinvestimentos.com.br/trading/bandas-de-bollinger>>.

Apesar de sua popularidade no mercado financeiro, as Bandas de Bollinger demonstraram eficácia também em outras áreas. VERGURA (2020) aplicou essa técnica para monitorar a variabilidade da energia produzida por um sistema fotovoltaico. No estudo, a média móvel simples foi substituída pela média móvel exponencial, considerada mais adequada para refletir a influência de dados recentes na produção de energia. O desvio-padrão foi ajustado para 1,5, devido à sua adequação aos dados de uma planta fotovoltaica, permitindo uma detecção mais sensível de anomalias. Os resultados mostraram que, ao aplicar essa metodologia em diferentes períodos (três, seis, nove e doze meses), foi possível identificar e monitorar a variabilidade da energia produzida. A análise cumulativa permitiu extrair informações sobre possíveis criticidades ou anomalias de baixa intensidade, auxiliando os proprietários na prevenção de falhas graves e na limitação da degradação no desempenho das plantas fotovoltaicas, especialmente aquelas que não têm acesso a dados meteorológicos.

Temperatura do ar

A temperatura é uma grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas, geralmente seus valores são obtidos através de termômetros, que são instrumentos utilizados para aferição direta e fornecimento do valor instantâneo de temperatura, os termômetros mais conhecidos são do tipo líquido-em-vidro, cujo funcionamento é através da variação no volume do líquido presente dentro do tubo capilar de vidro, muito comum a utilização de mercúrio nestes instrumentos, devido algumas características próprias como: elevado coeficiente de dilatação, baixa temperatura de congelamento ($-37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) e sua alta temperatura de ebulição ($360\text{ }^{\circ}\text{C}$). Suas unidades de medidas mais comum é o grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e graus Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Em termos temporais, utiliza-se valores de temperatura do ar real (medidas sem a utilização de aproximações ou correções) que são obtidos através da medição instantânea, temperaturas mínimas e máximas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A temperatura do ar exerce um importante papel na manutenção da vida e evolução dos seres vivos, cada espécie possui características específicas influenciadas pela temperatura da região em que vivem. Animais que habitam locais frios possuem pele espessa e longos pelos em abundância; a derme muito irrigada e com muita gordura, gerando proteção térmica ao organismo. Os animais da mesma espécie, mas que habitam regiões de climas quentes, possuem pele menos espessa, revestida por pelos mais curtos, finos e menos abundante; a

derme se atrofia e a epiderme torna-se mais espessa. Nas plantas esta influência da temperatura do ar é de extrema importância para o seu crescimento. Um exemplo clássico é o tomate, onde a temperatura noturna deve se manter entre 15° e 20°C na época propícia, para que a floração e frutificação não sejam interrompidas. Outro exemplo da temperatura do ar é a manutenção do conforto físico do ser humano, sob temperaturas elevadas sabe-se que as pessoas normalmente diminuem sua atividade motora e intelectual. Em consequência de manter este conforto térmico, uma boa parte do consumo mundial de energia elétrica é utilizado por equipamentos climatizadores de ambientes (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Precipitação

A precipitação pluviométrica mais conhecida como chuva é a medida em milímetros da altura da coluna de água coletada em pluviômetros e pluviógrafos (aparelho de funcionamento similar ao pluviômetro, porém com registro automático em papel, gerando um gráfico). Utiliza-se a quantidade de água total precipitada em um dia para obtenção do acumulado mensal, sazonal, anual e ainda valores pluviométricos normais. A intensidade da chuva pode ser obtida através da quantidade de água precipitada em uma hora ou em 10 minutos. Como norma internacional os dados de precipitação diária coletado pelas estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, órgão do Ministério da Agricultura e Pecuária com a missão de agregar valor à produção no Brasil por meio de informações meteorológicas), são calculados os valores observados nas leituras das 15h, 21h e 9h do dia seguinte (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O pluviômetro possui diversos tipos (formato, tamanho, sistema de medida/registo), mas basicamente é um recipiente similar à um copo com graduação, a unidade de medida da precipitação é a altura pluviométrica (h), normalmente expressada em milímetros (mm), e dada pela seguinte relação:

$$h = \frac{\text{Volume Precipitado}}{\text{Área de Captação}} \quad (5)$$

onde **h** é a altura pluviométrica.

Se um litro de água por exemplo, for captado em uma área de 1 m², a lâmina de água coletada terá a altura de 1 mm, pela relação, 1 mm = 1 L / 1 m². Portanto, se o pluviômetro coletar 52 mm, isso corresponderá à 52 litros de água por 1 m².

Figura 2: Pluviômetro e pluviógrafo utilizado em estações convencionais do INMET



Fonte: Adaptado de < <https://www2.ufjf.br/labcaa/equipamentos/>>.

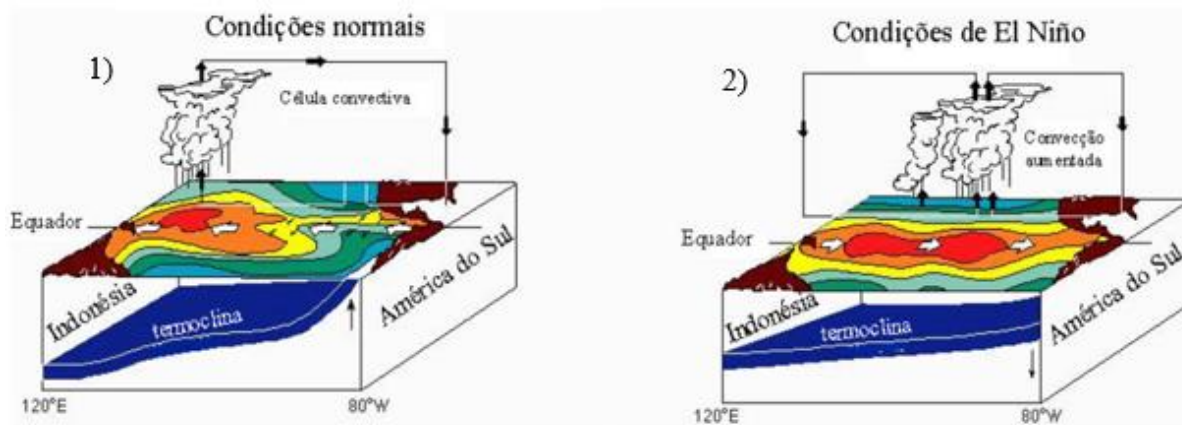
El Niño

O fenômeno que se inicia no Oceano Pacífico tropical afetando os padrões de temperatura da água e os padrões climáticos globais, conhecido como El Niño Oscilação Sul

(ENOS); em condições normais os ventos alísios (ventos que sopram sobre o equador de leste a oeste) carregam a água superficial quente, aumentando o nível do mar em aproximadamente 60 cm no Pacífico oeste, e a ressurgência (água fria trazida à superfície do mar) ocorre no leste emergindo nutrientes do fundo oceânico que alimentam a fauna da região. Devido à grande evaporação nas águas quentes da Indonésia, o ar é mais quente e úmido causando ascensão de ar na atmosfera formando nuvens e precipitação. Na faixa tropical ocorre a ausência de nuvens e precipitação devido ao ar que sobe a oeste descendo sobre as águas frias a leste (BERLATO & FONTANA, 2005).

Durante a ocorrência do El Niño, os ventos alísios se enfraquecem e em algumas situações podem até inverterem a direção, diminuindo o acúmulo de água quente no Pacífico oeste e a ressurgência das águas frias no Pacífico leste, os ventos alísios enfraquecem ainda mais com a diminuição da diferença de temperatura no oceano de leste a oeste. As mudanças de temperatura da superfície do mar modificam a circulação atmosférica tropical, o ar passa a subir no oceano Pacífico central e descer no Pacífico oeste e norte da América do Sul, ocasionando diminuição de chuvas na região. O El Niño se inicia no outono com o aquecimento das águas do Pacífico leste e dura aproximadamente um ano, porém é um evento não cíclico com ocorrências que variam de três a sete anos (BERLATO & FONTANA, 2005).

Figura 3: Condições oceânica e atmosférica no Oceano Pacífico tropical: (1) condições normais e (2) condições de El Niño



Fonte: BERLATO & FONTANA (2005).

Área de estudo

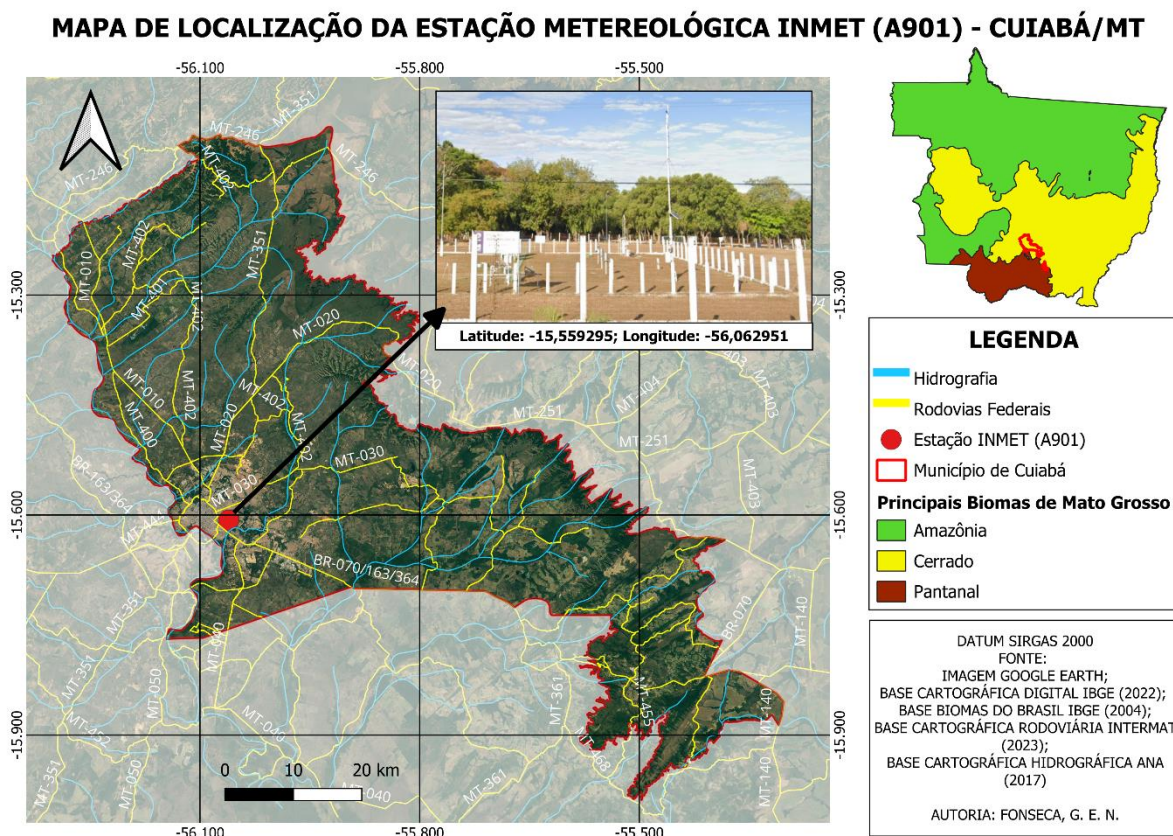
O município de Cuiabá é capital do estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possuindo uma área de 3.538,17 km², sendo 254,57 km² à macrozona urbana (Lei n.º 4.719/04) e 3.283,60 km² à área rural. O município localiza-se na mesorregião Centro-Sul-Mato-grossense, onde os municípios de Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio do Leverger e Várzea Grande formam a microrregião Cuiabá, (FRANCO, 2013).

Com uma altitude de 165 metros acima do nível do mar, Cuiabá situa-se na chamada “depressão cuiabana” que consiste numa peneplanície de erosão, onde predominam relevos de baixas amplitudes, sua área urbana possui altitudes que variam de 146 a 259 metros (FRANCO, 2013).

De modo geral, a região Centro-Oeste do Brasil caracteriza-se predominantemente o clima quente, sendo a frequência quase que diária de altas temperaturas sua maior característica, sobretudo em Mato Grosso e Goiás, onde nos meses de setembro e outubro podem ocorrer máximas acima de 40°C (OLIVEIRA, 2011).

A estação A901 (utilizada neste estudo) localiza-se no Centro Político Administrativo de Cuiabá, segundo o INMET esta estação meteorológica é do tipo automática, que realiza coleta e armazenamento horário de: precipitação total (mm), pressão atmosférica ao nível da estação (mB), pressão atmosférica máxima e mínima (mB), radiação global (kj/m²), temperatura do ponto de orvalho (°C), temperatura do ar máxima e mínima (°C), temperatura de orvalho máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), umidade relativa do ar (%) e vento com rajada máxima (m/s) e velocidade (m/s).

Figura 4: Mapa da localização da estação e área de estudo



Fonte: o autor.

Tratativa dos dados

Este trabalho foi desenvolvido com dados de temperaturas médias a partir de temperaturas mínimas e máximas coletadas da estação climatológica de Cuiabá, com localização indicada pelo ponto vermelho da figura 4, fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre os anos de 2003 e 2022.

Esta estação realiza a coleta automática de temperatura do ar a cada uma hora durante todo o dia; foi realizado uma média aritmética entre os valores de temperatura do ar máxima e mínima para cada dia, compilando as 24 horas de coletas em um dia, totalizando 365 (366 para ano bissexto) dados de temperatura média do ar para cada ano. O período de coleta entre os anos de 2003 e 2022 possui 4,26% de falhas, devido à problemas técnicos da estação onde não foram registrados os dados de temperatura do ar.

Para essas falhas adotou-se um conjunto de critérios para o preenchimento dos dados estudados com o objetivo de conservar o período temporal analisado, os critérios foram:

- I. Para falhas de 1 dia, utilizou-se a média aritmética entre os valores dos dias antecedentes e sucessores.
- II. Para falhas de 2 a 5 dias, utilizou-se a média aritmética entre os valores dos mesmos instantes em semanas antecedentes e sucessores sem falha.
- III. Não se realizou o preenchimento onde a falha foi maior que 5 dias, com o propósito de preservar a dinâmica do sistema.

Foram então aplicados a estes dados de temperatura média as BBs (Bandas de Bollinger) ajustados com 2 desvios padrão para 20 períodos, começando pela obtenção da M_m média móvel simples (linha central):

$$M_m = \frac{(T_{m1} + \dots + T_{m20})}{20} \quad (6)$$

em que: T_m é a temperatura média do ar.

O próximo passo foi encontrar as bandas superiores e inferiores a partir do desvio padrão conforme descrito na equação abaixo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} (T_{m_i} - M_m)^2}{N}} \quad (7)$$

$$B+ = M_m + (2\sigma) \quad (8)$$

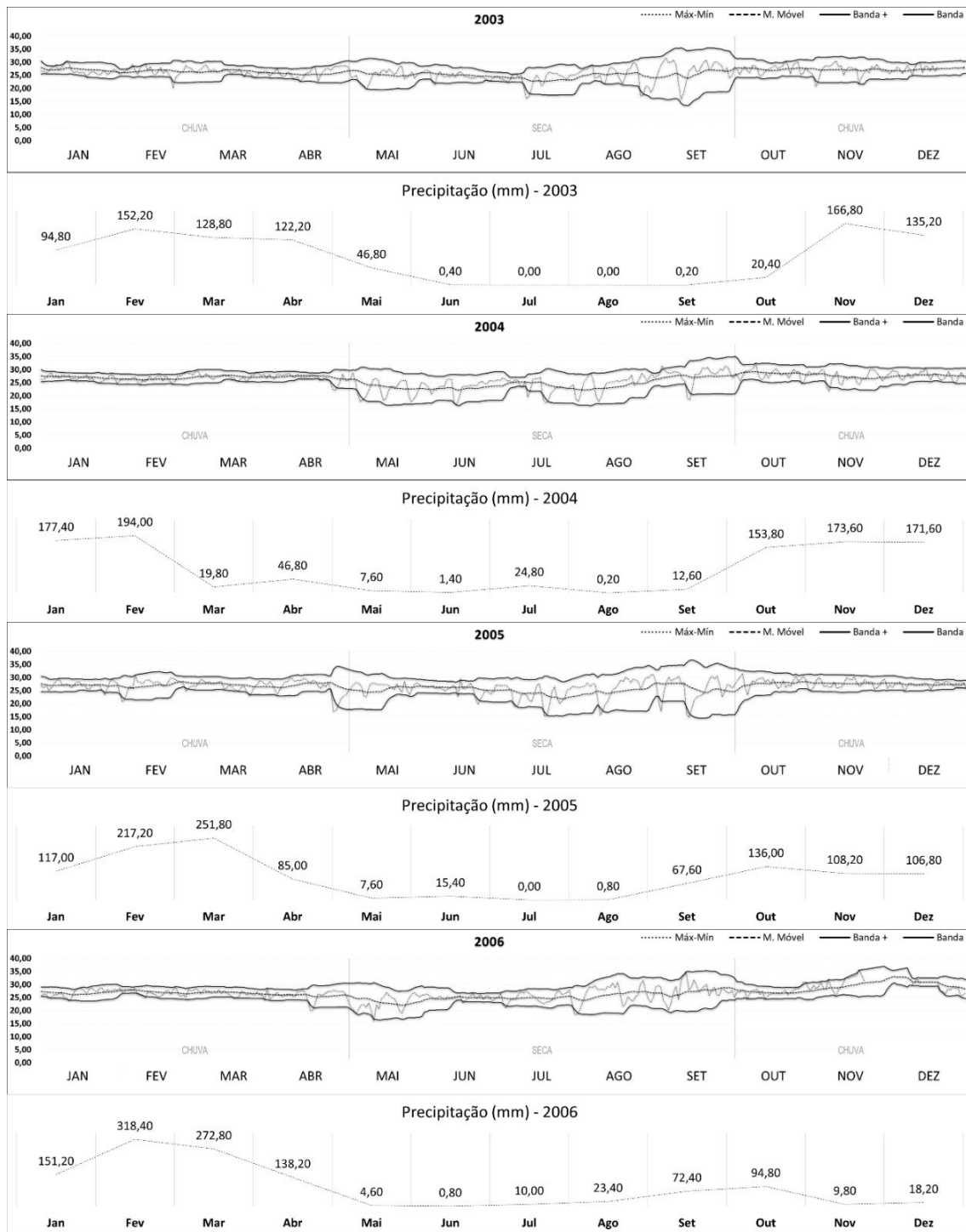
$$B- = M_m - (2\sigma) \quad (9)$$

onde: σ é o desvio padrão, T_{m_i} é a temperatura média, $N = 20$, $B +$ é a banda superior e $B -$ é a banda inferior.

Resultados

Este estudo visou avaliar as variações de temperatura em Cuiabá-MT utilizando Bandas de Bollinger, com o intuito de identificar padrões ou anomalias relacionadas ao clima. Aqui, apresentamos os resultados obtidos com base nos dados recolhidos entre 2003 e 2022; foram obtidos dois gráficos para cada ano estudado, gerando no total 20 gráficos das BBs e 20 gráficos dos acumulados pluviométricos mensais, apresentados nas figuras 5, 6, 7, 8 e 9; é possível observar nestas figuras, que as expansões e contrações das BBs apresentam um comportamento padronizado entre os anos, que coincidem com as estações sazonais de Cuiabá-MT, segundo SANTOS et al., 2013, Cuiabá possui um clima Tropical semi-úmido bem definido, com períodos de secas que vão de maio a setembro e períodos de chuvas que ocorrem entre outubro e abril. Durante o período das chuvas as BBs se mantêm contraídas devido à baixa variabilidade da temperatura do ar, o que ocorre de forma diferente no período das secas, onde podemos visualizar uma considerável expansão das bandas decorrente da alta variabilidade da temperatura do ar.

Figura 5. Aplicação das BBs e precipitação para os anos de 2003, 2004, 2005 e 2006

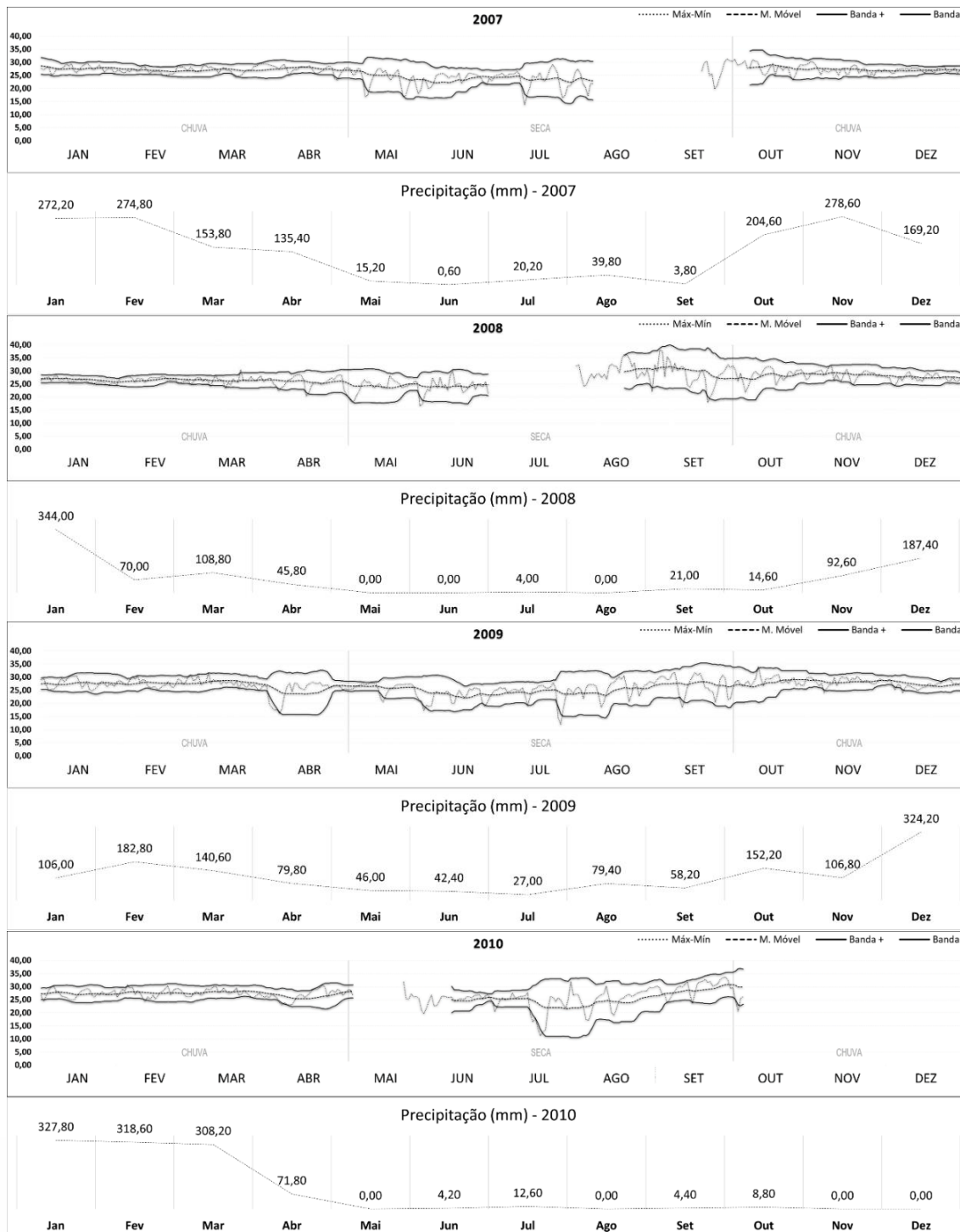


Fonte: o autor.

Na figura 5 conseguimos identificar uma expansão das BBs fora do comum entre janeiro e fevereiro de 2003 devido à alta variabilidade na temperatura do ar, segundo o boletim divulgado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), algumas frentes frias permaneceram semi-estacionária na região central do Brasil, ocasionando o aumento das chuvas e variações na temperatura média do ar. Em fevereiro de 2005, segundo o INMET no

dia 01/02/2005 houve um acumulado de precipitação de 74,6 mm e uma queda na temperatura do ar de 24,1°C para 21°C durante o dia.

Figura 6: Aplicação das BBs e precipitação para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010

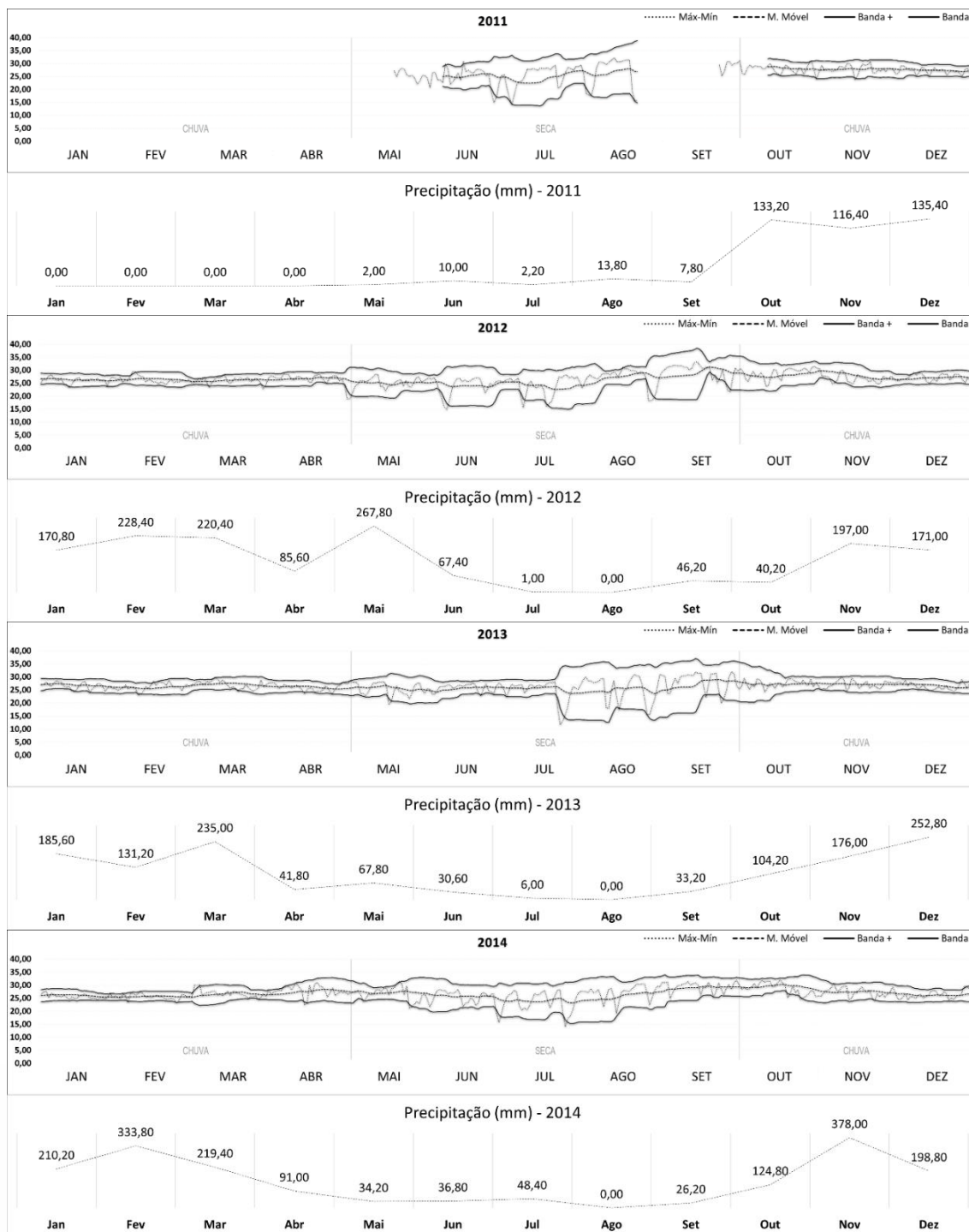


Fonte: o autor.

Em abril de 2009 o Brasil registrou sete massas de ar frio, a terceira massa de ar atuou nas Regiões Sul, Sudeste, Norte e Centro-Oeste a partir do dia 09, conforme observado na

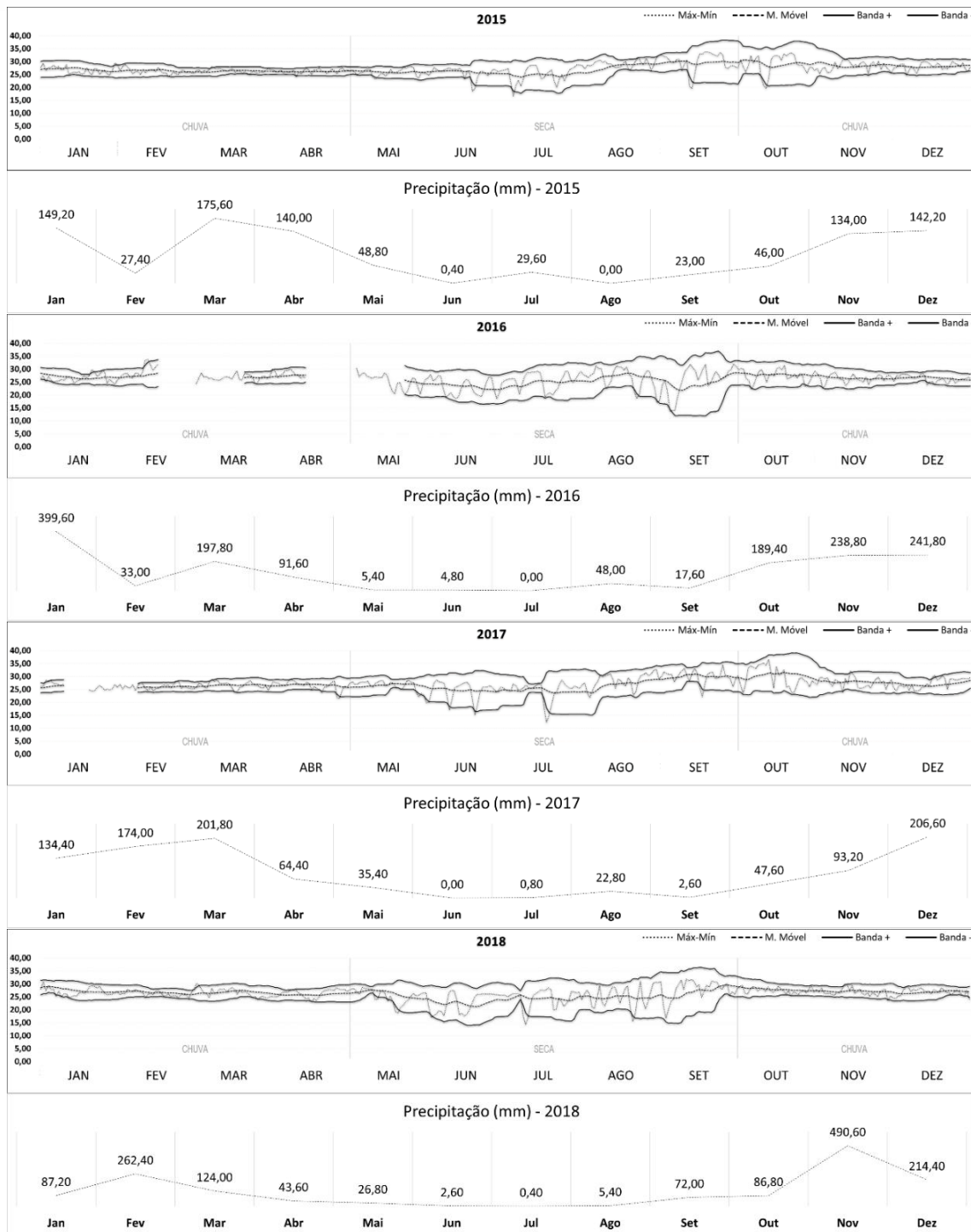
figura 6 provocando à expansão das BBs. Apesar das falhas observadas em certos intervalos de tempo apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9, a metodologia empregada assegura que as conclusões derivadas permaneçam robustas e válidas. Estas falhas são em decorrência de problemas técnicos com a estação meteorológica A901 onde não houve registros dos dados de temperatura do ar.

Figura 7: Aplicação das BBs e precipitação para os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014



Fonte: o autor.

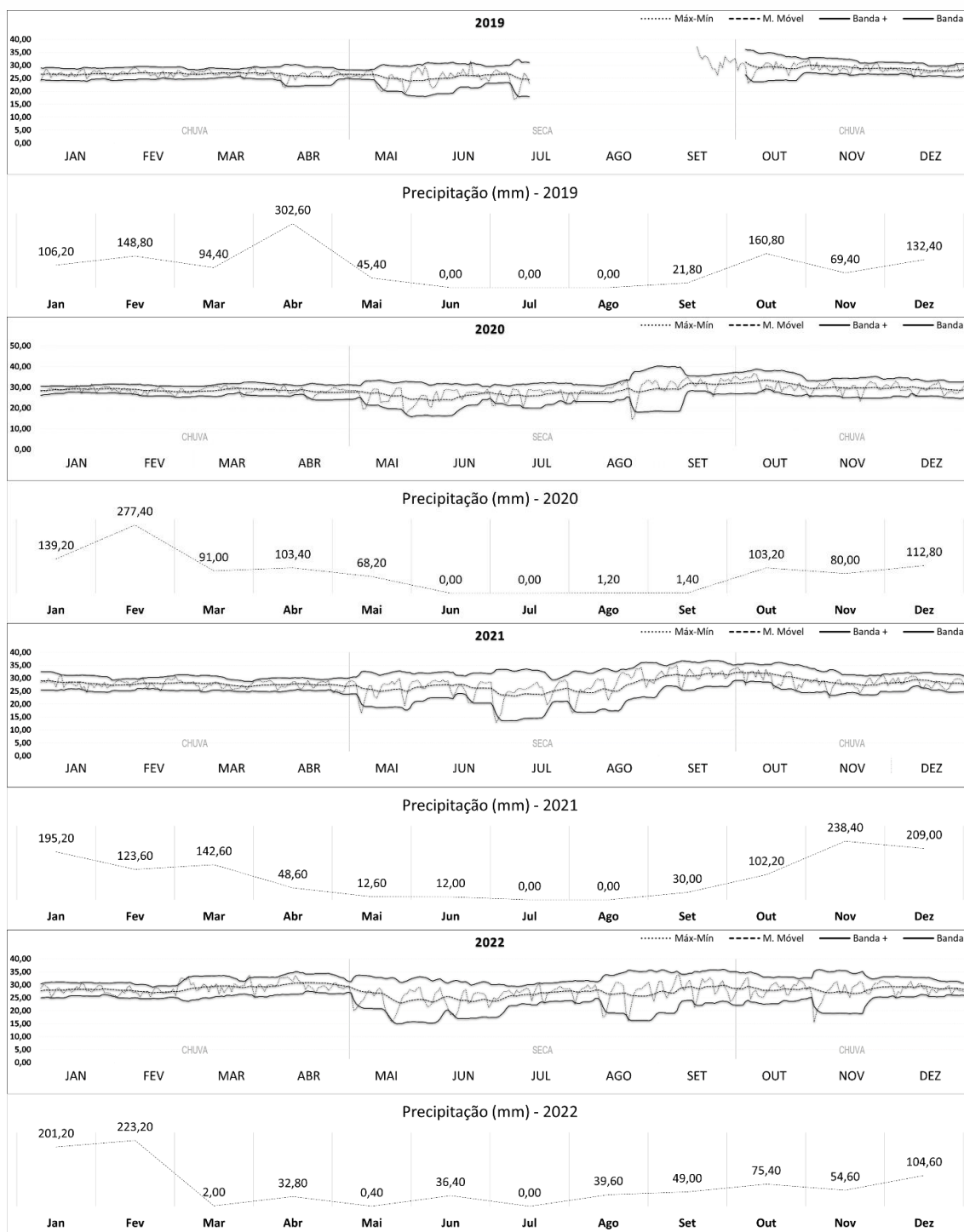
Figura 8: Aplicação das BBs e precipitação para os anos de 2015, 2016, 2017 e 2018



Fonte: o autor.

É possível identificar na figura 9 uma abrupta expansão das BBs entre agosto e setembro de 2020, segundo dados do INMET, a máxima temperatura do ar registrado pela estação A901 no dia 19/08/2020 foi de 39,5°C, e após dois dias foram registradas mínimas de 11,7°C, esta brusca mudança climática foi decorrente de uma frente fria que atingiu as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte provocando até queda de neve em várias localidades da Região Sul.

Figura 9: Aplicação das BBs e precipitação para os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022



Fonte: o autor.

Segundo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) nos anos de 2006-2007 (Figura 5) houve uma ocorrência moderada, e nos anos de 2015-2016 (Figura 8) houve forte ocorrência do El Niño, estes períodos coincidem quando comparamos os gráficos das BBs e precipitação, onde é possível associar o prolongamento do período das secas na região estudada. Os impactos causados posteriormente à ocorrência do fenômeno El Niño podem estar relacionados também ao prolongamento das secas e atraso no início das chuvas entre os

anos de 2019 e 2022, conforme mostrados na figura 9 a expansão das BBs se estendendo até o mês de dezembro.

Considerações finais

Os objetivos deste trabalho, que buscavam contribuir para o conhecimento climatológico ao testar as Bandas de Bollinger, uma ferramenta amplamente utilizada no mercado financeiro para análise de séries temporais, mostraram-se promissores ao serem aplicados à série temporal de temperatura do ar no município de Cuiabá MT.

Os impactos do fenômeno global El Niño e a identificação do prolongamento das secas crescentes nos últimos anos analisados destacam-se como resultados relevantes, com potencial para serem aprofundados em investigações futuras.

Os resultados obtidos indicam que a técnica estudada pode ser aplicada a outras séries temporais climáticas, como umidade relativa do ar e radiação solar, permitindo a revelação de novos aspectos da dinâmica climatológica da região.

Embora tenham ocorrido falhas na coleta de dados em alguns anos, devido a problemas técnicos na estação A901, optou-se por não realizar a interpolação dessas lacunas, uma vez que o foco principal deste trabalho era a aplicação da técnica proposta. Contudo, estudos futuros podem preencher essas lacunas utilizando dados de estações próximas, como a do Aeroporto Internacional Marechal Rondon, em Várzea Grande MT, ou informações provenientes de satélites, possibilitando uma análise mais abrangente.

Referências

ABE, M. *Manual de Análise Técnica*. 1ª edição. Novatec, 2009.

BERLATO, Moacir Antônio; FONTANA, Denise Cybis. *Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul*. Embrapa, 2005.

BOLLINGER, J. A. *Bollinger on Bollinger Bands*. 1ª edição. McGraw Hill, 2001.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos <<https://clima.cptec.inpe.br>>.

FRANCO, F. M. *Análise do comportamento termohigrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá – MT*. 2013. 124 páginas. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais <<http://enos.cptec.inpe.br/>>.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. 1ª edição. Oficina de textos, 2007.

OLIVEIRA, A. S. *Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas*. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

SANTOS, F.M.M.; OLIVEIRA, A.S.; NOGUEIRA, M.C.J.A.; MUSIS, C.R.; NOGUEIRA, J.S. *Análise do clima urbano de Cuiabá-MT- Brasil por meio de transectos móveis*. XII Encontro

Nacional e VII Latinoamericano de conforto no ambiente construído- ENCAC/ELACAC, Brasília, 2013.

SILVA, S.T. *Reconstrução da dinâmica não linear da temperatura do ar em Cuiabá-MT*. 2015. 96 páginas. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Versão digital 2, 2006.

VERGURA, S. *Bollinger Bands Based on Exponential Moving Average for Statistical Monitoring of Multi-Array Photovoltaic Systems*. Energies, Bari, 2020.

Recebido em: 17/03/2024.
Aprovado para publicação em: 30/06/2024.