

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**VALIDAÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA DO
AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E DÉFICIT DE
PRESSÃO DE VAPOR ESTIMADOS POR REANÁLISE
NO ESTADO DE MATO GROSSO**

NÉVIO LOTUFO NETO

**PROFa. DRa. NADJA GOMES MACHADO
(ORIENTADORA)**

**PROF. DR. ANDERSON CASTRO SOARES DE OLIVEIRA
(COORIENTADOR)**

**Cuiabá, MT
Junho 2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**VALIDAÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA DO
AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E DÉFICIT DE
PRESSÃO DE VAPOR ESTIMADOS POR REANÁLISE
NO ESTADO DE MATO GROSSO**

NÉVIO LOTUFO NETO

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física Ambiental
da Universidade Federal de Mato
Grosso, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Física
Ambiental.*

**PROFa. DRa. NADJA GOMES MACHADO
(ORIENTADORA)**

**PROF. DR. ANDERSON CASTRO SOARES DE OLIVEIRA
(COORIENTADOR)**

**Cuiabá, MT
Junho 2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

L884v Lotufo Neto, Nêvio.
VALIDAÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR, UMIDADE
RELATIVA DO AR E DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR ESTIMADOS POR
REANÁLISE NO ESTADO DE MATO GROSSO / Nêvio Lotufo Neto. -- 2021
96 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Nadja Gomes Machado.
Co-orientador: Anderson Castro Soares de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Modelo de Performance. 2. América do Sul. 3. Análises Estatísticas. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: VALIDAÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR ESTIMADOS POR REANÁLISE NO ESTADO DE MATO GROSSO

AUTOR: MESTRANDO NÉVIO LOTUFO NETO

Dissertação defendida e aprovada em **02 junho de 2021**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Nadja Gomes Machado – Orientadora - Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT

Prof. Dr. Anderson Castro Soares de Oliveira – Coorientador - Instituto de Ciências Exatas e da Terra - ICET/UFMT

Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes – Examinador Interno - Instituto de Física – UFMT

Prof. Dr. Anderson Luis Ruhoff – Examinador Externo – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH)/UFRGS

Cuiabá-MT, 02/06/2021.



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 02/06/2021, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **NADJA GOMES MACHADO, Usuário Externo**, em 02/06/2021, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/06/2021, às 11:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDERSON CASTRO SOARES DE OLIVEIRA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/06/2021, às 11:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDERSON RUHOFF**, **Usuário Externo**, em 02/06/2021, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3567051** e o código CRC **11B3F508**.

[verso da folha de rosto, ficha catalográfica]

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, de maneira especial à minha esposa Juliana Lotufo, minha filha Júlia Lotufo e meu pai Nívio Lotufo Júnior (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pelo que conquistei até o momento;
- Aos meus familiares, principalmente a minha esposa Juliana Lotufo, minha filha Júlia Lotufo e meu pai Nívio Lotufo Júnior (in memoriam) por todo amor, ajuda e motivação;
- A minha querida Orientadora e Profa. Dra. Nadja Gomes Machado, pela amizade, conhecimento, conselhos, compreensão, dedicação, orientação e paciência durante o mestrado;
- Ao meu Coorientador e Professor Dr. Anderson Castro Soares de Oliveira, por toda ajuda e dedicação durante o mestrado;
- Ao Professor Dr. Marcelo Sacardi Biudes, pela amizade, por todo conhecimento, paciência, compreensão, ajuda e dedicação durante o mestrado;
- Aos docentes do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental (PPGFA) em especial aos professores Paraná e Sérgio pelos ensinamentos e contribuições;
- A todos os técnicos do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA) em especial a Cesário e Soilce, pela dedicação e amizade durante o mestrado;
- Aos membros do Grupo de Pesquisa em Interação Biosfera Atmosfera (GPIBA);
- Aos meus amigos Luiz Octávio, Altemar Pedreira, Jonas Rambo, Elio Santos, Israel Ivo e Armando, por todo o apoio e amizade;
- A Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT);
- A banca examinadora desta Dissertação.

EPÍGRAFE

*“Sem dados você é apenas mais uma pessoa
com uma opinião.” (William Edwards Deming)*

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
EPÍGRAFE.....	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvii
RESUMO	xviii
ABSTRACT.....	xix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo geral	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. PRODUTOS DE REANÁLISE	3
2.2. VALIDAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS DE REANÁLISE.....	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1. ÁREA DE ESTUDO	18
3.2. MEDIDAS MICROMETEOROLÓGICAS	19
3.3. DADOS DE REANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR E DA UMIDADE RELATIVA DO AR.....	20
3.4. CÁLCULO DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR	20
3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	20
4. RESULTADOS	22
4.1. TEMPERATURA DO AR	182
4.2. UMIDADE RELATIVA DO AR.....	18
4.3. DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR.....	18
5. DISCUSSÃO	46
6. CONCLUSÃO	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
8. ANEXO	59

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1**– Temperatura do ar global média (A), temperatura média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da temperatura média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo GLDAS em 2020. 4
- FIGURA 2** – Temperatura do ar global média (A), temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da temperatura do ar média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo MERRA-2 em 2020. 7
- FIGURA 3** - Temperatura do ar global média (A), temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da temperatura do ar média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo JRA-55 em 2019. 9
- FIGURA 4** - Umidade relativa do ar global média (A), Umidade relativa do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Umidade relativa do ar média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo JRA-55 em 2019. 10
- FIGURA 5** - Temperatura do ar global média (A), Temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Temperatura do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 1000hPa de pressão pelo ERA-5 em 2020. 12
- FIGURA 6** - Umidade relativa do ar global média (A), umidade relativa do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da umidade relativa do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 1000hPa de pressão pelo ERA-5 em 2020. 13
- FIGURA 7** - Temperatura do ar global média (A), Temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Temperatura do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 2 metros da superfície pelo NCEP/NCAR em 2020. 15
- FIGURA 8** - Umidade relativa do ar global média (A), Umidade relativa do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Umidade relativa do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 2 metros da superfície pelo NCEP/NCAR em 2020. 16

FIGURA 9 - Distribuição espacial das estações meteorológicas automáticas, classificação climática e de biomas no estado de Mato Grosso, Brasil. 18

FIGURA 10 - Série temporal temperatura do ar mensal observada por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para as estações instaladas em Alta Floresta (ALF), Cáceres (CAS), Campo Verde (CAV), Cuiabá (CBA), Cotriguaçu (COT), Guarantã do Norte (GTN), Juara (JUA), Juína (JUI), Rondonópolis (RON), Sinop (SIN), Sorriso (SRO) e Tangará da Serra (TGA) no estado de Mato Grosso, Brasil. 23

FIGURA 11 - Densidade da distribuição da temperatura do ar diária, mensal e anual medida por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. A linha vertical preta representa a média. 25

FIGURA 12 - Diagrama de Taylor da temperatura do ar diária, mensal e anual dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r). 26

FIGURA 13 - Diagrama de Taylor da temperatura do ar dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r). 28

FIGURA 14 - Diagrama de Taylor da temperatura do ar dos climas Am e Aw dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e

linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r)..... 30

FIGURA 15 - Série temporal da umidade relativa do ar mensal observada por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para as estações instaladas em Alta Floresta (ALF), Cáceres (CAS), Campo Verde (CAV), Cuiabá (CBA), Cotriguaçu (COT), Guarantã do Norte (GTN), Juara (JUA), Juína (JUI), Rondonópolis (RON), Sinop (SIN), Sorriso (SRO) e Tangará da Serra (TGA) no estado de Mato Grosso, Brasil. 32

FIGURA 16 - Densidade da distribuição da umidade relativa do ar diária, mensal e anual medida por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. A linha vertical preta representa a média..... 33

FIGURA 17 - Diagrama de Taylor da umidade relativa do ar diária, mensal e anual dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r)..... 34

FIGURA 18 - Diagrama de Taylor da umidade relativa do ar dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r)..... 36

FIGURA 19 - Diagrama de Taylor da umidade relativa do ar dos climas Am e Aw dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r)..... 37

FIGURA 20 - Série temporal do déficit de pressão de vapor mensal observado por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para as estações instaladas em Alta Floresta (ALF), Cáceres (CAS), Campo Verde (CAV), Cuiabá (CBA), Cotriguaçu (COT), Guarantã do Norte (GTN), Juara (JUA), Juína (JUI), Rondonópolis (RON), Sinop (SIN), Sorriso (SRO) e Tangará da Serra (TGA) no estado de Mato Grosso, Brasil. 39

FIGURA 21 - Densidade da distribuição do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual medido por estações automáticas de superfície e estimado a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. A linha vertical preta representa a média..... 40

FIGURA 22 - Diagrama de Taylor do déficit de pressão de vapor diária, mensal e anual dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r). 41

FIGURA 23 - Diagrama de Taylor do déficit de pressão de vapor dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r). 43

FIGURA 24 - Diagrama de Taylor do déficit de pressão de vapor dos climas Am e Aw dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r). 44

FIGURA 25 - Concordância de Bland-Altman da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55, NCEP/NCAR, GLDAS e MERRA-2 em Mato Grosso, Brasil. 71

FIGURA 26 - Concordância de Bland-Altman da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 72

FIGURA 27 - Concordância de Bland-Altman do Déficit de Pressão de Vapor diário, mensal e anual estimado a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Descrição das estações meteorológicas automáticas e disponibilidade dos dados utilizados para validar as estimativas dos produtos ERA-5, GLDAS, JRA-55, MERRA-2 e NCEP/NCAR no estado de Mato Grosso, Brasil..... 19

TABELA 2 – Resolução espacial, escala temporal e site de obtenção dos dados dos produtos utilizados para validar as estimativas de Temperatura do ar (Ta), Umidade Relativa (UR) e Déficit de pressão de Vapor (DPV) para o estado de Mato Grosso, Brasil. 20

TABELA 3 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 26

TABELA 4 – Média das diferenças dos resíduos, limite inferior, limite superior e proporção de Bland-Altman das estimativas de temperatura do ar diária, mensal e anual estimados a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 27

TABELA 5 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar para os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estimados pelos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil..... 29

TABELA 6 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar para os climas Am e Aw estimados pelos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.30

TABELA 7 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da

umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 34

TABELA 8 – Média das diferenças dos resíduos, limite inferior, limite superior e proporção de Bland-Altman das estimativas da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimados a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil..... 35

TABELA 9 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar para os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. ... 36

TABELA 10 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar para os climas Am e Aw estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil..... 38

TABELA 11 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 41

TABELA 12 – Média, limite inferior, limite superior e proporção de Bland-Altman das estimativas de déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimados a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 42

TABELA 13 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor para os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. ... 43

TABELA 14 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin do déficit

de pressão de vapor para os climas Am e Aw estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 45

TABELA 15 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (IC) de temperatura do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 59

TABELA 16 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (IC) de umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 59

TABELA 17 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (IC) do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 59

TABELA 18 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto GLDAS para o estado de Mato Grosso, Brasil..... 60

TABELA 19 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto MERRA-2 para o estado de Mato Grosso, Brasil. 61

TABELA 20 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto ERA-5 para o estado de Mato Grosso, Brasil..... 62

TABELA 21 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott

(d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 63

TABELA 22 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto JRA-55 para o estado de Mato Grosso, Brasil..... 64

TABELA 23 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; %), erro médio absoluto (MAE; %), raiz do erro quadrático médio (RMSE; %), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto ERA-5 para o estado de Mato Grosso, Brasil. 65

TABELA 24 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; %), erro médio absoluto (MAE; %), raiz do erro quadrático médio (RMSE; %), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 66

TABELA 25 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; %), erro médio absoluto (MAE; %), raiz do erro quadrático médio (RMSE; %), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto JRA-55 para o estado de Mato Grosso, Brasil. 67

TABELA 26 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; kPa), erro médio absoluto (MAE; kPa), raiz do erro quadrático médio (RMSE; kPa), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelo produto ERA-5 para o estado de Mato Grosso, Brasil. 68

TABELA 27 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; kPa), erro médio absoluto (MAE; kPa), raiz do erro quadrático médio (RMSE; kPa), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelo produto NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. 69

TABELA 28 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; kPa), erro médio absoluto (MAE; kPa), raiz do erro quadrático médio (RMSE; kPa), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelo produto JRA-55 para o estado de Mato Grosso, Brasil. 70

LISTA DE SÍMBOLOS

ALF	Estação automática no município de Alta Floresta
Am	Clima tropical úmido - Köppen
Aw	Clima quente e úmido - Köppen
CAS	Estação automática no município de Cáceres
CAV	Estação automática no município de Campo Verde
CBA	Estação automática no município de Cuiabá
CDO	<i>Climate Data Operators</i>
COT	Estação automática no município de Cotriguaçu
d	Índice de concordância de Willmott
d_i	Diferença entre os postos de cada par de observações
e_a	Pressão de vapor do ar
ERA-5	<i>ECMWF Reanalysis 5th Generation</i>
e_s	Pressão de vapor saturada
GLDAS	<i>Global Land Data Assimilation System</i>
GrADS	<i>Grid Analysis and Display System</i>
GTN	Estação automática no município de Guarantã do Norte
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JUA	Estação automática no município de Juara
JUI	Estação automática no município de Juína
JRA-55	<i>Japanese 55-year Reanalysis Project</i>
LSM	<i>Land Simulation Model</i>
MAE	Erro médio absoluto
MERRA-2	<i>Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2</i>
n	Tamanho da amostra
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCEP	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
O_i	i-ésimo valor observado
P_i	i-ésimo valor estimado
P_M	Média dos valores estimados
r	Coefficiente de correlação de Spearman
UR	Umidade relativa
RMSE	Raiz do erro quadrático médio
RON	Estação automática no município de Rondonópolis
SIN	Estação automática no município de Sinop
SRO	Estação automática no município de Sorriso
T_a	Temperatura do ar
TGA	Estação automática no município de Tangará da Serra
DPV	Déficit de pressão de vapor
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
ρ_c	Coefficiente de concordância de Lin

RESUMO

LOTUFO NETO, N. **Validação dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor estimados por reanálise no estado de Mato Grosso**. Cuiabá, 2021, 96f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

As variáveis climáticas influenciam em diferentes setores da sociedade, mas existem limitações quanto ao acesso desses dados em Mato Grosso. Assim, os dados de reanálises surgem como uma alternativa, no entanto, é necessário avaliar quais as diferenças com as observações. O objetivo deste estudo foi avaliar e validar os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor estimados pelos produtos ERA-5, GLDAS, JRA-55, MERRA-2 e NCEP/NCAR em relação aos dados medidos em estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Mato Grosso. As estimativas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor foram avaliadas em escalas diárias, mensais e anuais. As estimativas foram avaliadas através do índice de correlação de Spearman, coeficiente de Lin, índice d de Willmott, Erro Médio Quadrático da Raiz, Erro Médio Absoluto e Bland Altman. O produto ERA-5 apresentou o melhor desempenho em escala diária mensal e anual quando comparado aos demais produtos de reanálises. Por outro lado, as estimativas diárias, mensal e anuais do NCEP/NCAR apresentaram as maiores diferenças com os dados medidos nas estações meteorológicas automáticas de superfície. Enfim, os cinco produtos de reanálises apresentaram estimativas de temperatura do ar, umidade relativa e déficit de pressão de vapor com altos valores de correlação, Lin e concordância, assim como, baixos valores de erros em escala diária, mensal e anual.

Palavras-chave: Modelo de Performance; América do Sul; Análises Estatísticas.

ABSTRACT

LOTUFO NETO, N. **Data validation of air temperature, relative air humidity and vapour pressure deficit estimated by reanalysis in the state of Mato Grosso.** Cuiabá, 2021, 96f. Dissertation (Master's Degree in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

The variables influence climate change in different sectors of society, however, there are limitations regarding access to data given in Mato Grosso. Thus, the reanalysis data appear as an alternative, however, it is necessary to assess what are the differences with the tools. The objective of the study was to evaluate and validate the air temperature, relative humidity and vapor pressure deficit data estimated by the products ERA-5, GLDAS, JRA-55, MERRA-2 and NCEP / NCAR in relation to the measured data on automatic surface weather stations in the state of Mato Grosso. The nomenclature of air temperature, relative humidity and vapor pressure deficit were evaluated on daily, monthly and annual scales. The indicators were evaluated using the Spearman correlation index, Lin coefficient, Willmott index, Root mean square error, Mean absolute error and Bland Altman. The ERA-5 product has the best performance on a daily monthly and annual scale when compared to the other reanalysis products. On the other hand, the NCEP/NCAR assigned, monthly and yearly sources dissipate the greatest differences with the data measured in the surface automatic meteorological stations. Finally, the five resonance reanalysis products for air temperature, relative humidity and vapor pressure deficit with high correlation values, Lin and concordance, as well as low error values on a daily, monthly and annual scale.

Keywords: Model Performance; South America; Statistical Analysis.

1. INTRODUÇÃO

Mato Grosso possui o terceiro maior território entre os estados brasileiros, a qual abrange os biomas da floresta amazônica, Cerrado e o Pantanal (IBGE, 2019). Essa grande extensão contribui para a complexa variabilidade climática da região, sendo o clima no Norte definido como tropical úmido ou sub-úmido (Am), enquanto a parte central e o Pantanal Mato-Grossense apresentam clima tropical com inverno seco (Aw) (ALVARES et al., 2013). Além disso, esses ecossistemas apresentam distintas formas de relevo e fisionomia que resultam em diversas particularidades climáticas (BIUDES et al., 2015). Dessa forma, o conhecimento preciso da distribuição de variáveis climáticas e suas mudanças com o tempo é indispensável para a descrição e compreensão dos processos climáticos globais.

No entanto, a distribuição das estações meteorológicas em Mato Grosso não abrange todo o estado, as quais apresentam limitações quanto ao acesso aos dados devido questões metodológicas, técnicas e geográficas (PEDREIRA JUNIOR et al., 2021). Embora a obtenção de dados em locais onde não possuem estação meteorológica pode ser realizada por diversos métodos, dentre os quais podemos citar os produtos de reanálise (URBAN et al., 2021). Em geral, os dados de reanálise são produzidos a partir da assimilação de dados meteorológicos medidos em estações meteorológicas (convencionais ou automáticas), imagens de satélite, imagens de radar, radiossondagens, aviões e navios (MOREIRA et al., 2015).

O método de reanálise atmosférica processa uma grande quantidade e diversidade de observações, onde utiliza leis físicas nos modelos de previsão do tempo (SHERIDAN et al., 2020). Por esse motivo, a série temporal do estado atmosférico pode ser reconstruída efetivamente (SILVA et al., 2019). As estimativas provenientes de reanálise são confiáveis e de alta qualidade podendo ser utilizados como alternativa para o monitoramento do tempo e do clima em nível global (UKHUREBOR et al., 2020). Os produtos de reanálise são amplamente utilizados em pesquisas e serviços climáticos, inclusive para monitorar e comparar as condições climáticas atuais com as do passado, identificando as causas das variações e mudanças climáticas e preparando previsões climáticas (PARKER et al., 2016). Além disso, as informações derivadas de reanálises estão sendo utilizadas cada vez mais em aplicações comerciais e de negócios em setores como energia e agricultura. As vantagens de se utilizar esses produtos é

que esses dados podem ser obtidos de forma gratuita, são temporalmente completos, disponíveis para diversas variáveis atmosféricas, produzidos em uma grade regular em muitos níveis verticais, podem ter resolução espacial de escala extremamente fina e compreender várias décadas (PARKER, 2016). Por outro lado, algumas desvantagens podem ocorrer nesses produtos, como uma resolução espacial muito mais grosseira ($\geq 0.5^\circ$), inconsistências por conta de alterações nos sistemas de observações, assimilação e qualidade dos dados, problemas no modelo em representar a topografia e dificuldade em descrever a dinâmica da atmosfera (BECK et al., 2017).

Nesse contexto, a avaliação e validação dos dados obtidos por reanálise e sua comparação aos dados medidos em estação meteorológica de superfície é crucial para tirar conclusões apropriadas sobre os produtos sob investigação (MOREIRA et al., 2017). Assim, todas essas facetas padronizam e aprimoram amplamente as análises espaço-temporais e, portanto, para que esses conjuntos de dados sejam utilizados em pesquisas sobre variabilidade climática na região (SHERIDAN et al., 2020).

1.1.Objetivo geral

Avaliar e validar os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor estimados pelos produtos ERA-5, GLDAS, JRA-55, MERRA-2 e NCEP/NCAR em relação aos dados medidos em estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Mato Grosso.

1.2.Objetivos específicos

- i. Avaliar os erros e incertezas produzidas pelos produtos de reanálise ao estimar a temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor em relação aos biomas (Amazônia, Cerrado e Pantanal), clima (Am e Aw) e escalas de tempo (diária, mensal e anual);
- ii. Verificar a correlação e a concordância entre os produtos de reanálise e os valores observados da temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor em relação aos biomas (Amazônia, Cerrado e Pantanal), clima (Am e Aw) e escalas de tempo (diária, mensal e anual).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.PRODUTOS DE REANÁLISE

As reanálises estão entre os conjuntos de dados mais utilizados no estudo do tempo e do clima. Elas fornecem informações instantâneas das condições climáticas em intervalos regulares, durante longos períodos de tempo. São produzidos por meio da assimilação de dados, que é um processo que depende tanto de observações quanto de previsões baseadas em modelos matemáticos e geofísicos (PARKER, 2016).

A reanálise *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS) é um projeto desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em parceria com o *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) onde visa gerar campos ideais de estados e fluxos da superfície terrestre, a partir de produtos de dados observacionais baseados em satélite e superfície, usando técnicas avançadas de modelagem da superfície terrestre e de assimilação de dados (RODELL, HOUSER, *et al.*, 2004). O GLDAS disponibiliza um grande conjunto de variáveis dentre elas a temperatura do ar (Figura 1), evapotranspiração, albedo, entre outras. Por exemplo, podem ser extraídas informações globais (Figura 1A) e regionais (Figura 1B) para realização de diversas análises e inferências (Figura 1C). O GLDAS possui a seguinte rotina operacional:

- Modelagem do solo, em que o desenvolvimento do produto se inicia de forma modular, e isso facilita o acoplamento de *Land Simulation Models* (LSM) diferentes;
- Observação da superfície, em que são utilizados dados dos sensores orbitais *TM-Landsat*, *AVHRR*, *MODIS*, *ASTER*, *SSM/I*, *TRMM-TMI*, *AMSR*, *GRACE* e *TOPEX-Poseidon*;
- Assimilação de dados de superfície, onde diversos dados coletados em superfície são combinados, fornecendo ajustes aos LSMs e assim, melhorando as estimativas do estado natural do ambiente;
- Calibração e validação, onde variáveis independentes da reprodução são comparadas com os produtos, permitindo assim avaliação e, se necessário, a realização de correções, retirando ou acrescentando novos parâmetros no modelo (HOUSER, RODELL, *et al.*, 2001).

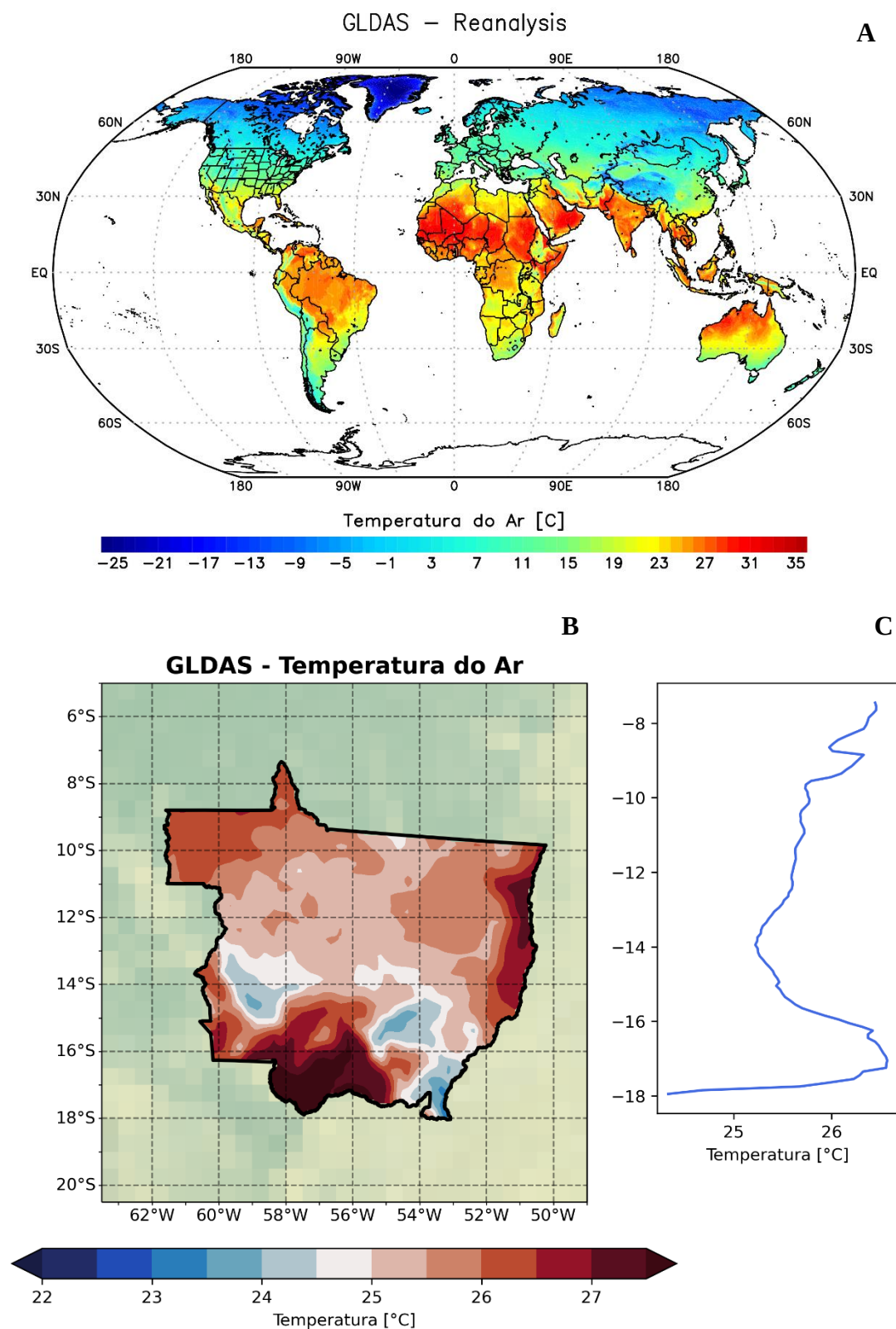


FIGURA 1– Temperatura do ar global média (A), temperatura média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da temperatura média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo GLDAS em 2020.

FONTE: Os autores.

A *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2* (MERRA-2) é uma reanálise atmosférica de satélites (1980 até o presente), produzida pelo grupo de modelagem numérica e de assimilação de dados da NASA e segue o projeto o projeto que deu início, a reanálise MERRA (RIENECKER et al., 2011). Os avanços no sistema de assimilação de dados e a dificuldade de introduzir novas observações no sistema da reanálise MERRA foram os principais motivos que levaram o grupo a produzir uma nova reanálise. As principais melhorias contidas na reanálise MERRA-2, em relação ao MERRA, são:

- Atualizações no sistema de assimilação de dados (modelo numérico e esquema de análise;
- Inclusão de novos dados, dessa forma atualizando sistema;
- Alterações no modelo atmosférico e no método de análise, para conservar a massa atmosférica de ar seco e garantir que a fonte líquida de água da precipitação e evaporação superficial sejam iguais à mudança na água atmosférica total;
- Inclusão da assimilação de dados de aerossóis no sistema (ausente nas reanálises anteriores);
- Melhoria na hidrologia da superfície terrestre (utilizando uma precipitação corrigida, ao invés da precipitação gerada pelo modelo).

A reanálise MERRA-2 foi produzida com a versão 5.12.4 do sistema de assimilação de dados atmosféricos *Goddard Earth Observing System* (GEOS-5.12.4). Os componentes chaves do sistema são o modelo atmosférico GEOS-5 (REINECKER et al. 2008; MOLOD et al. 2015) e o sistema de análise *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI) (KLEIST et al. 2009). A análise é feita com a mesma resolução espacial do modelo atmosférico usando um modelo tridimensional do algoritmo variacional (3D-Var) baseado no GSI com um ciclo de atualização de 6 h (BLOOM et al., 1996). A resolução da reanálise é $0.5^\circ \times 0.625^\circ$ em latitude e longitude, respectivamente, e 72 níveis verticais da superfície até 0,01hPa. Os produtos fornecidos pela reanálise MERRA-2, assim como em outras reanálises, são parâmetros meteorológicos como temperatura do ar (Figura 2), precipitação, índice de área foliar,

entre outras. Por exemplo, podem ser extraídas informações globais (Figura 2A) e regionais (Figura 2B) para realização de diversas análises e inferências (Figura 2C).

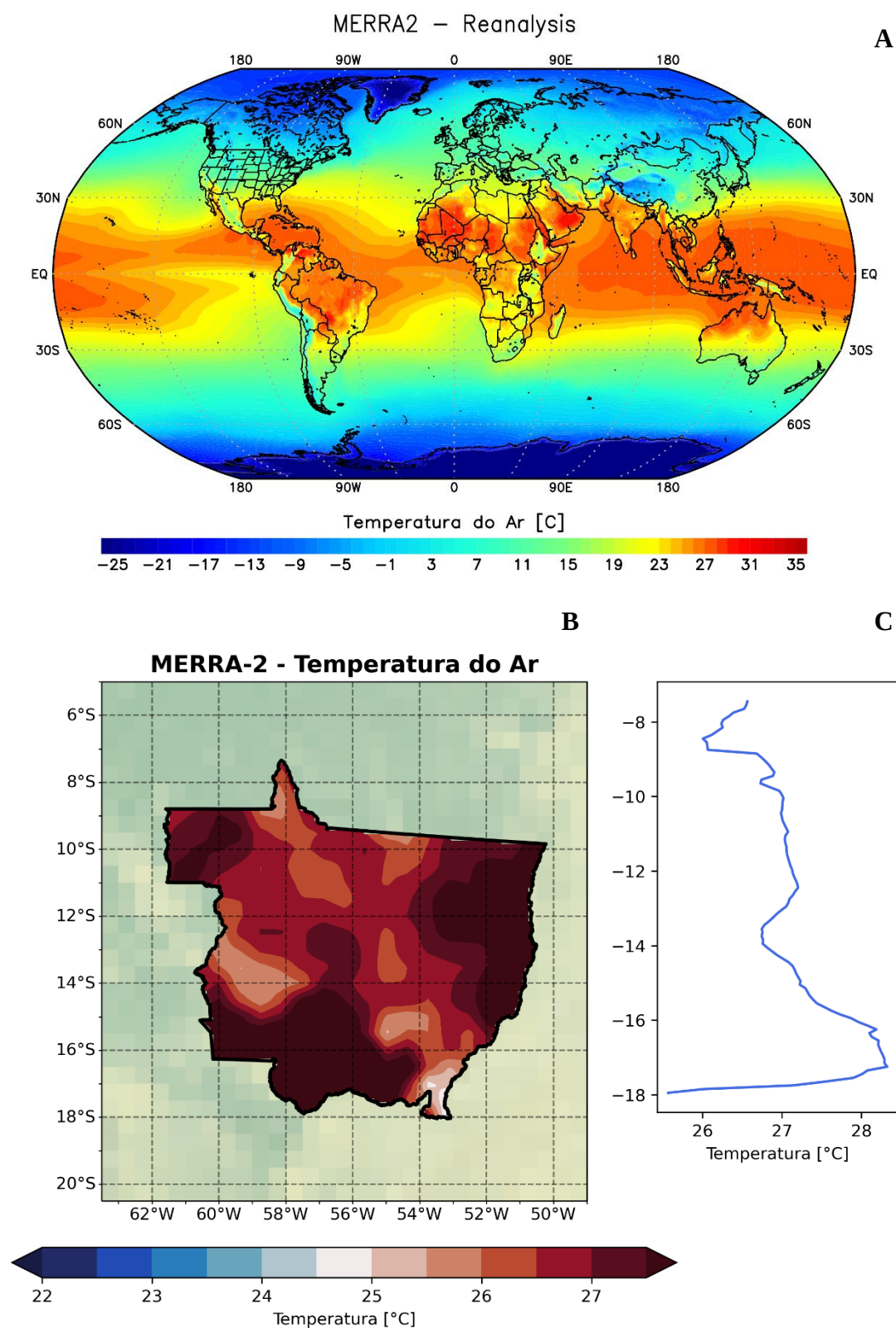
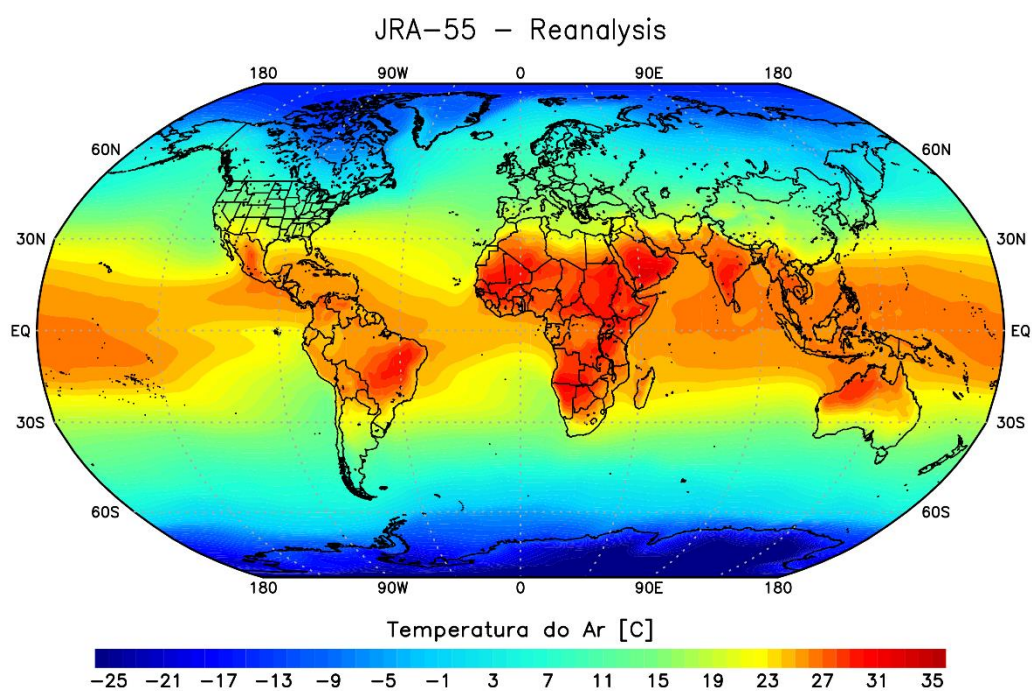


FIGURA 2 – Temperatura do ar global média (A), temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da temperatura do ar média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo MERRA-2 em 2020.

FONTE: Os autores.

A *Japanese Reanalysis 55-years* (JRA-55) foi produzida em 2011, pela *Japan Meteorological Agency* (JMA) (EBITA et al., 2009). O JRA-55 estende-se por 55 anos, de 1958 a 2012, e irá ser continuado em tempo real como o Sistema de Assimilação de Dados Climáticos JMA (JCDAS). O JRA-55 usa um modelo espectral integrado em um TL319 (~ 55 km) resolução horizontal com 60 níveis verticais de até 0,1 hPa em coordenadas de pressão sigma híbrida. É o primeiro a aplicar a análise variacional quadridimensional (4D-Var) a este período (KOBAYASHI et al. 2015) que busca a condição inicial que melhor ajusta a previsão às observações dentro de um intervalo de assimilação de 6h, ao invés de uma única vez. A reanálise contém um novo esquema de radiação, correção de polarização variacional para radiâncias de satélite, atualização sobre processos físicos onde as equações prognósticas são resolvidas em uma forma semi-Lagrangiana em vez de Euleriana (EBITA et al., 2011). Essas atualizações reduzem os preconceitos do modelo em relação a reanálise anterior da JMA, melhora a consistência dinâmica dos campos de análise, e avança no tratamento das radiâncias de satélite. Da mesma forma que o ERA-Interim, a temperatura do ar a 2 metros é diretamente assimilada de observações sinóticas de estações (EBITA et al., 2011). O JRA-55 disponibiliza um grande conjunto de variáveis, dentre elas a temperatura do ar (Figura 3), umidade relativa (Figura 4), temperatura do solo, fluxo de calor sensível, fluxo de calor latente, entre outras. Por exemplo, podem ser extraídas a temperatura do ar global (Figura 3A), umidade relativa do ar global (Figura 4A), temperatura do ar regional (Figura 3B) e umidade relativa do ar regional (Figura 4B) para realização de diversas análises e inferências (Figura 3C) e (Figura 4C).

A



B

C

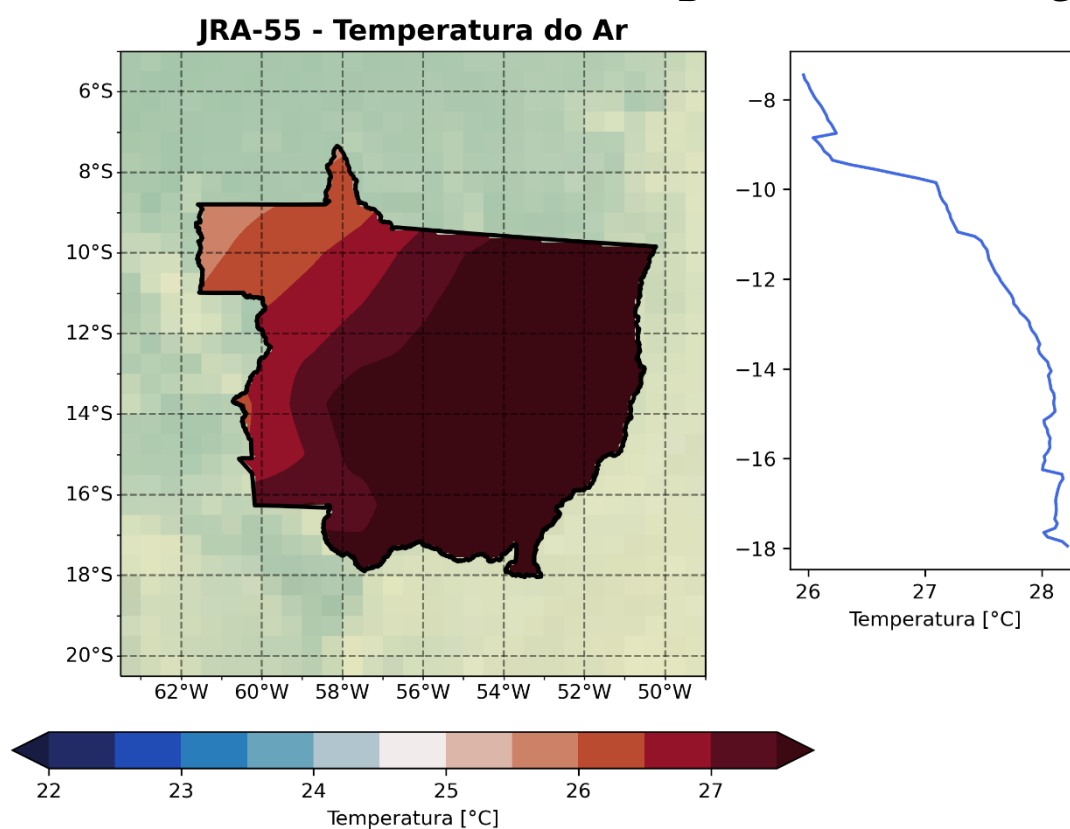


FIGURA 3 - Temperatura do ar global média (A), temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da temperatura do ar média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo JRA-55 em 2019.

FONTE: Os autores.

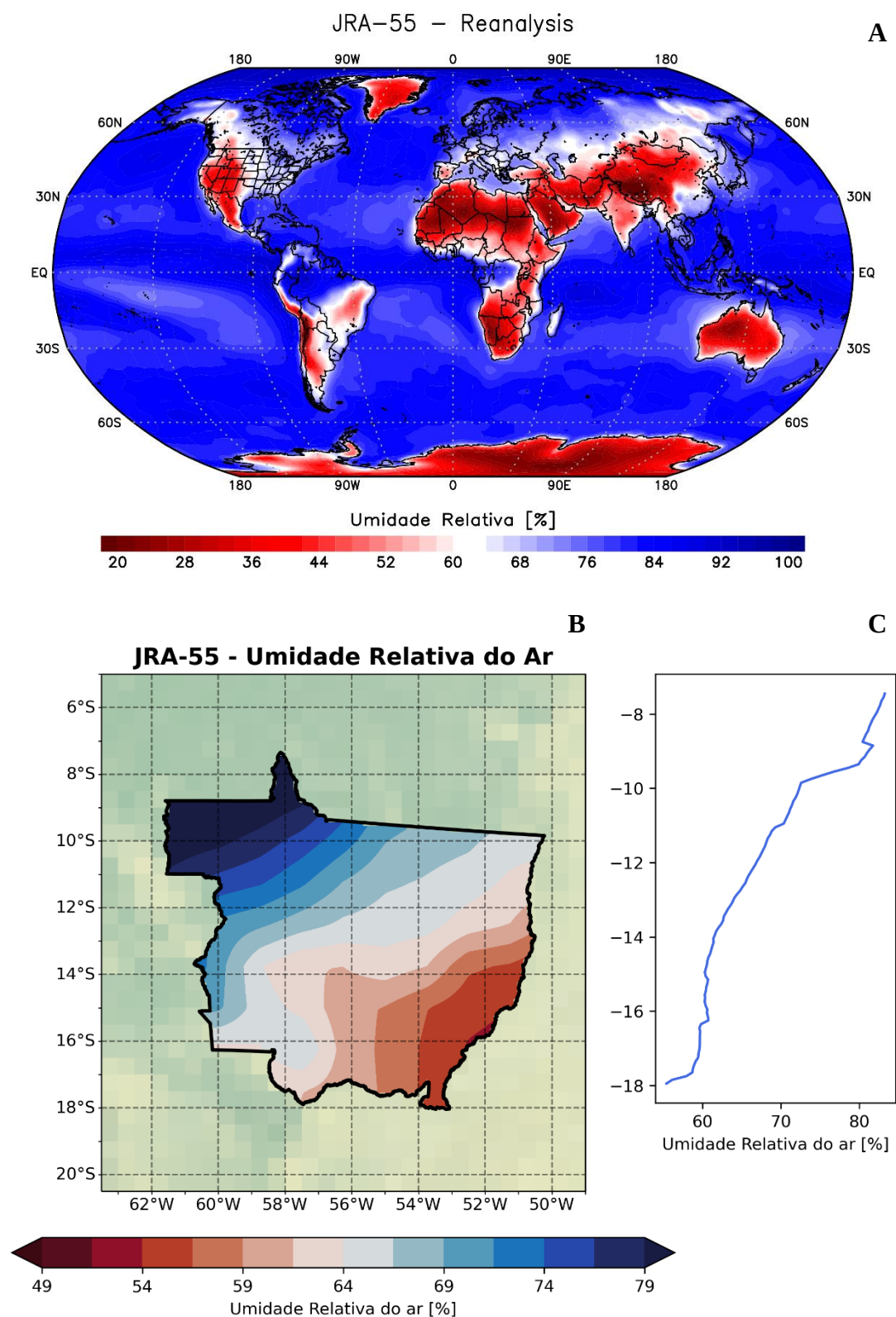


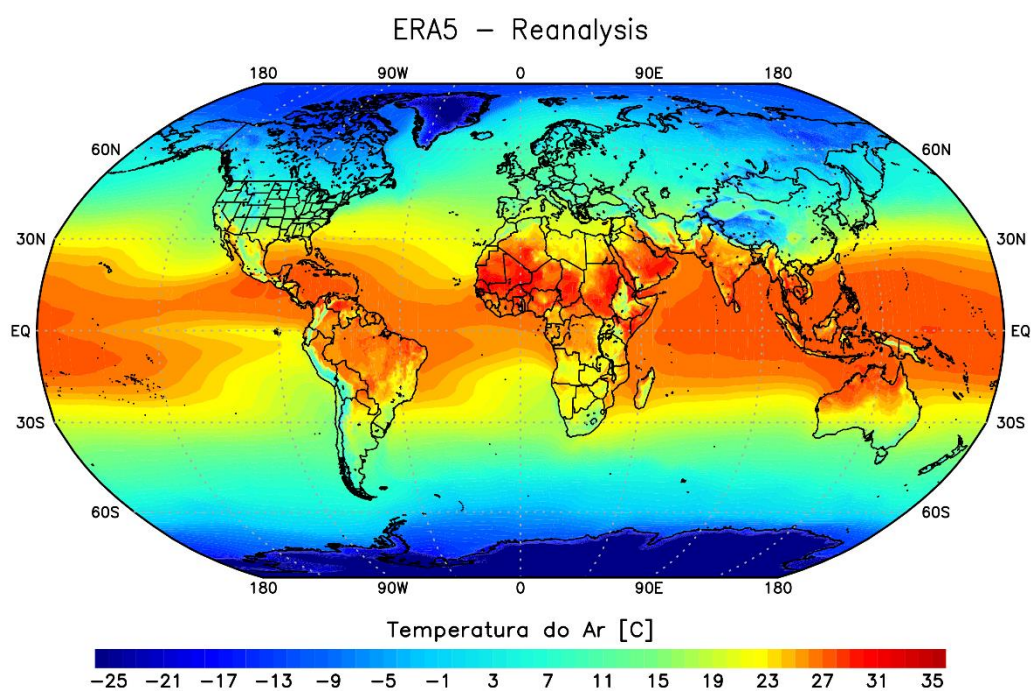
FIGURA 4 - Umidade relativa do ar global média (A), Umidade relativa do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Umidade relativa do ar média de Mato Grosso (C) a 2 metros da superfície estimada pelo JRA-55 em 2019.

FONTE: Os autores.

O ERA-5 é uma reanálise atmosférica de quinta geração do clima global, cobrindo o período de janeiro de 1950 até o presente. O ERA-5 é produzido pelo *Copernicus Climate Change Service* da *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Foi produzido usando a assimilação de dados 4D-Var em CY41R2 do Sistema Integrado de Previsão (IFS) da ECMWF, com 137 níveis de sigma/pressão vertical, de 0,01hPa a 1000hPa (HERSBACH et al., 2016). Os dados estão disponíveis nesses níveis e também são interpolados para 37 níveis de pressão, 16 potenciais de temperatura e 1 potencial de vorticidade. As melhorias no ERA5, em relação ao seu antecessor ERA-Interim, incluem uma resolução espacial de 30 km ao invés de 80 km, 1 hora de resolução, uso de HadISST.2, registros de dados climáticos ECMWF reprocessados e implementação de transferência radiativa RTTOV11. Ajustes de variação não foram aplicadas apenas a dados de satélites, mas também a observações de aeronaves, pressão de superfície e perfis de radiossonda (HERSBACH et al., 2016). O ERA-5 disponibiliza um grande conjunto de variáveis, dentre elas a temperatura do ar (Figura 5), umidade relativa (Figura 6), precipitação, concentração de gelo, entre outras. Por exemplo, podem ser extraídas a temperatura do ar global (Figura 5A), umidade relativa do ar global (Figura 6A), temperatura do ar regional (Figura 5B) e umidade relativa do ar regional (Figura 6B) para realização de diversas análises e inferências (Figura 5C) e (Figura 6C).

Geralmente, os dados estão disponíveis em uma escala horária e mensal e consistem em análises e previsões curtas (18 horas), inicializadas duas vezes por dia a partir de análises às 06 e 18 UTC (HERSBACH et al., 2020).

A



B

C

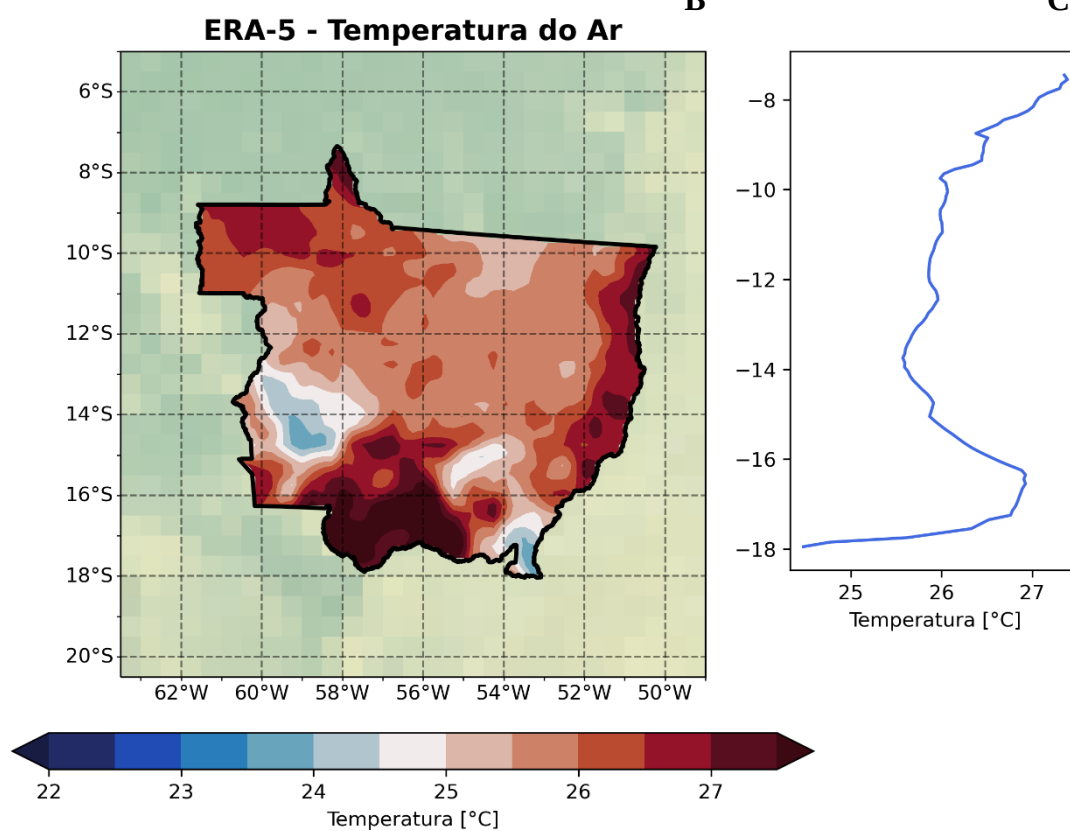


FIGURA 5 - Temperatura do ar global média (A), Temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Temperatura do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 1000hPa de pressão pelo ERA-5 em 2020.

FONTE: Os autores.

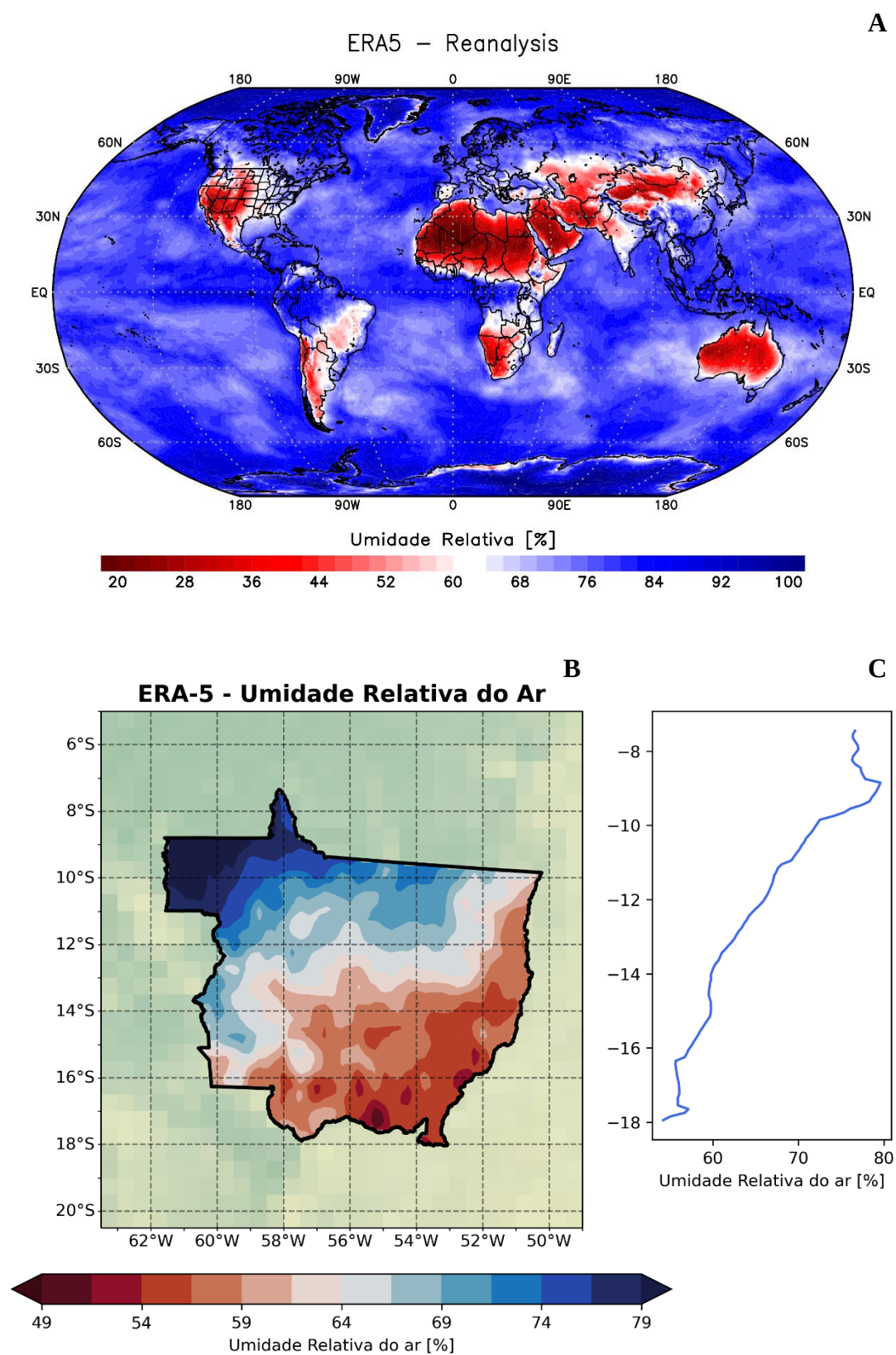


FIGURA 6 - Umidade relativa do ar global média (A), umidade relativa do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da umidade relativa do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 1000hPa de pressão pelo ERA-5 em 2020.

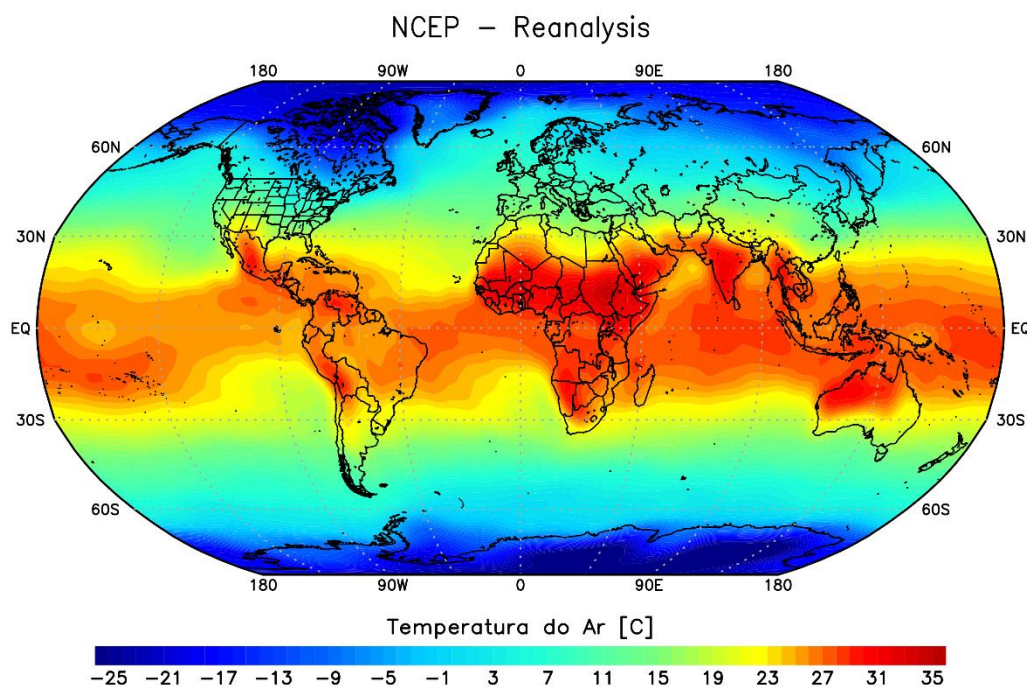
FONTE: Os autores.

O Projeto de reanálise do NCEP/NCAR é um projeto conjunto desenvolvido em 1991, entre o *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). O objetivo deste esforço entre esses dois grandes centros de pesquisa é produzir novas análises atmosféricas usando dados históricos (1948 até o presente) e também produzir análises do estado atmosférico atual. O modelo global espectral é rodado usando a resolução espectral T62 (209 km) e 28 níveis verticais (KALNAY et al., 1996). Um melhor esquema de diagnóstico de nuvens foi implantado nos últimos anos, resultando em uma melhoria na predição de radiação de ondas longas (PINTO et al., 2010). O NCEP/NCAR disponibiliza um grande conjunto de variáveis, dentre elas a temperatura do ar (Figura 7), umidade relativa (Figura 8), precipitação, concentração de gelo, entre outras. Por exemplo, podem ser extraídas a temperatura do ar global (Figura 7A), umidade relativa do ar global (Figura 8A), temperatura do ar regional (Figura 7B) e umidade relativa do ar regional (Figura 8B) para realização de diversas análises e inferências (Figura 7C) e (Figura 8C).

A seguir, uma breve descrição do NCEP / NCAR:

- Cobertura Temporal: 4 vezes ao dia, valores diários e mensais para 01/01/1948 até o presente, médias mensais de longo prazo derivadas de dados para os anos de 1981 a 2010 e os valores são instantâneos no momento indicado nos arquivos;
- Cobertura Espacial: Grades globais de 2,5°x 2,5° (144x73) 0,0E a 357,5E e 90,0N a 90,0S;
- Níveis: 17 Níveis de pressão (mb): 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 e 10.

A



B

C

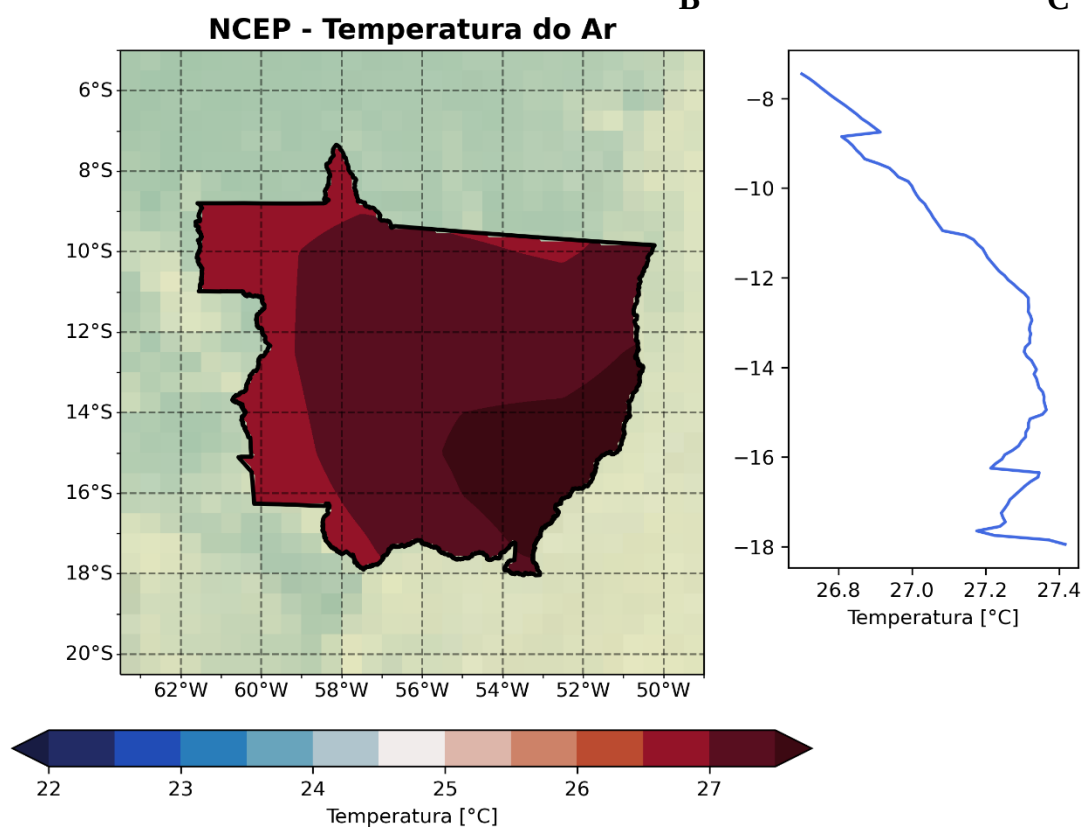
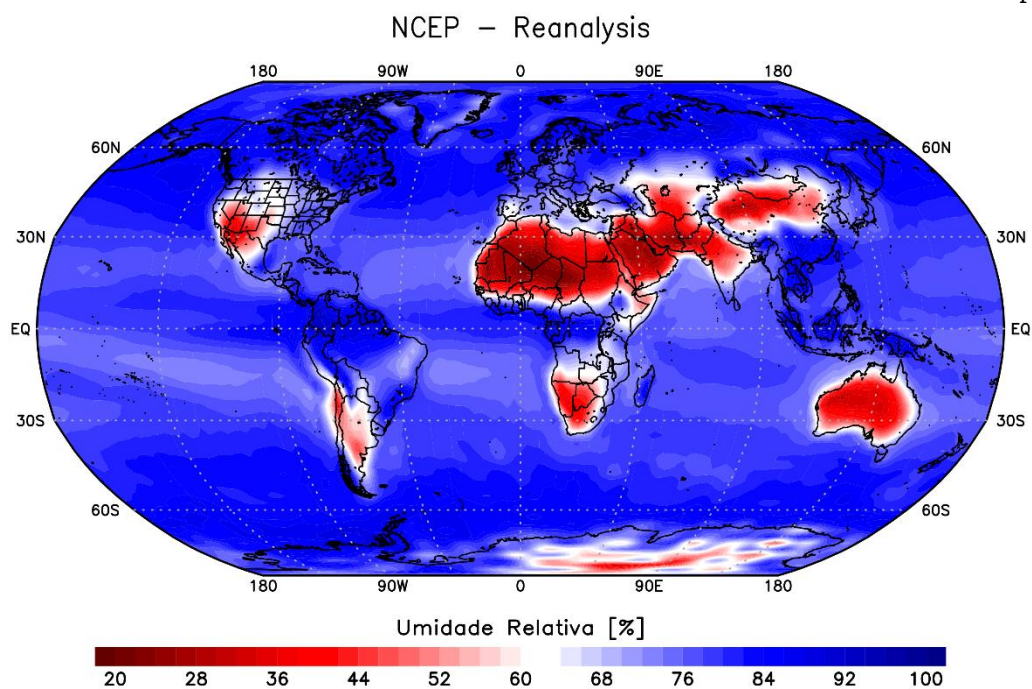


FIGURA 7 - Temperatura do ar global média (A), Temperatura do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Temperatura do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 2 metros da superfície pelo NCEP/NCAR em 2020.

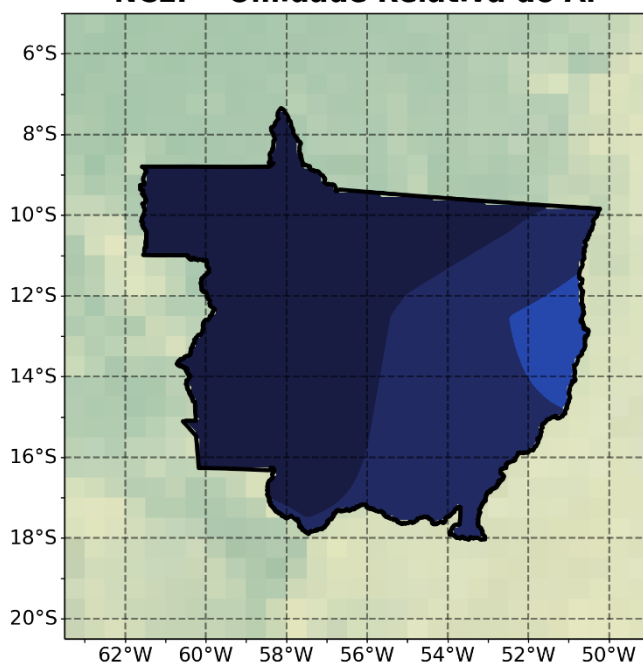
FONTE: Os autores.

A



B

NCEP - Umidade Relativa do Ar



C

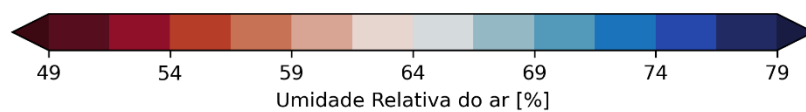
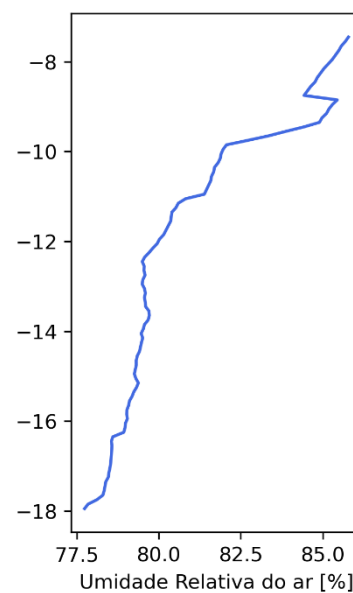


FIGURA 8 - Umidade relativa do ar global média (A), Umidade relativa do ar média da região de Mato Grosso (B) e perfil latitudinal da Umidade relativa do ar média de Mato Grosso (C) estimada a 2 metros da superfície pelo NCEP/NCAR em 2020.

FONTE: Os autores.

2.2.VALIDAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS DE REANÁLISE

A validação de dados provenientes de produtos de reanálise ocorre em todas regiões do mundo, existem validações em ambientes terrestres (CHEN et al., 2020), regiões frias (LINDSAY et al., 2014), regiões desérticas (ZHOU e WANG, 2016) e em oceanos (HOBBS et al., 2020). A validação de dados é um requisito essencial para garantir a confiabilidade e a qualidade dos dados estimados via modelagem (FOIDL et al., 2019).

No Brasil, existem alguns estudos validando e utilizando dados de variáveis climáticas obtidas de produtos de reanálise. Pedreira Junior et al. (2021) avaliou dados de precipitação dos produtos de reanálise e sensoriamento remoto (TRMM, GPM, GLDAS, MERRA e GPCP) para o estado de Mato Grosso e verificou que os produtos derivados de satélites apresentaram melhores desempenhos ao estimar a precipitação. Alves et al. (2021) utilizou dados da reanálise CFSR para avaliar se com a utilização de dados meteorológicos de reanálise é possível calibrar o modelo hidrológico SWAT e, posteriormente, utilizá-lo como ferramenta de simulação hidrológica e de planejamento agroambiental. Aparecido et al. (2019) utilizou dados da temperatura média do ar e de precipitação da reanálise ERA-Interim para estudo de deficiência hídrica no estado do Paraná, Brasil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.ÁREA DE ESTUDO

Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste do Brasil (06°00' S e 19°45' S e 50°06' W e 62°45' W) (IBGE, 2019). O território de Mato Grosso ocupa uma área de aproximadamente 903.357,908 km², distribuídos em 141 municípios, os quais se encontram em três biomas, o Cerrado (40%), o Pantanal (10%) e a Floresta Amazônica (50%) (Figura 9) (IBGE, 2019). Mato Grosso possui uma população estimada em 3.035.122 de habitantes e densidade populacional de 3,36 habitantes/km².

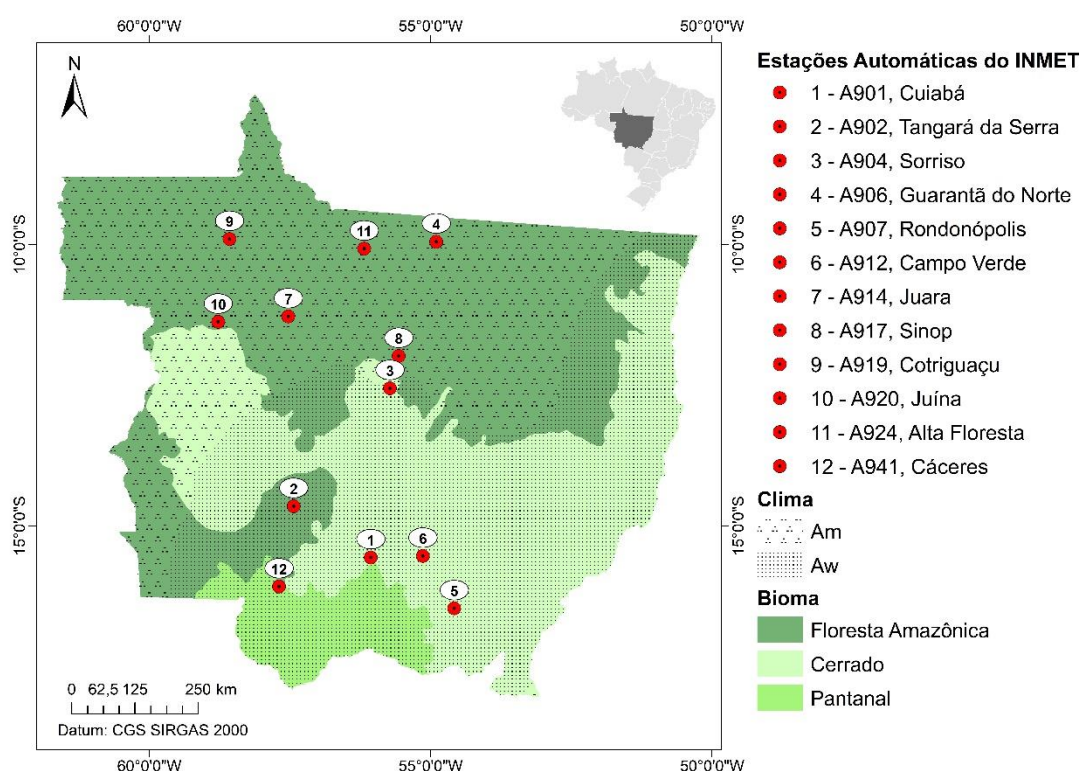


FIGURA 9 - Distribuição espacial das estações meteorológicas automáticas, classificação climática e de biomas no estado de Mato Grosso, Brasil.

Mato Grosso apresenta duas classificações climáticas de acordo com Köppen (Figura 9). A região Norte do estado é caracterizada como clima monçônico (Am), que corresponde à clima tropical úmido ou sub-úmido com precipitação que se aproxima de 3.000 mm ano⁻¹, e a sudoeste, onde a precipitação anual é de 2.000 mm ano⁻¹ (BIUDES et al., 2015). As regiões Central e o Pantanal Mato-Grossense, mais ao sul, apresentam clima tropical de savana (Aw), com um inverno seco e precipitação anual de 1.400 mm ano⁻¹ (Pantanal) atravessando a parte central do estado até a região dos

Parecis, onde as chuvas totais anuais variam de 1.800 a 2.300 mm ano⁻¹ (ALVARES et al., 2013; BIUDES et al., 2015) (Figura 9).

3.2.MEDIDAS MICROMETEOROLÓGICAS

Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar medidos de 2002 a 2019 foram obtidos de 12 estações meteorológicas automáticas que pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Essas estações meteorológicas automáticas de superfície foram selecionadas utilizando o critério populacional, onde foram amostradas seis estações nos municípios mais populosos do clima Am e seis estações nos municípios mais populosos do clima Aw. As estações estão instaladas em Cuiabá (CBA), Tangará da Serra (TGA), Sorriso (SRO), Guarantã do Norte (GTN), Rondonópolis (RON), Campo Verde (CAV), Juara (JUA), Sinop (SIN), Cotriguaçu (COT), Juína (JUI), Alta Floresta (ALF) e Cáceres (CAS) (Tabela 1).

TABELA 1 – Descrição das estações meteorológicas automáticas e disponibilidade dos dados utilizados para validar as estimativas dos produtos ERA-5, GLDAS, JRA-55, MERRA-2 e NCEP/NCAR no estado de Mato Grosso, Brasil.

Estação	Código (INMET)	Clima	Bioma	Disponibilidade de dados (Anos)																
				2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CBA	A901	Aw	Cerrado																	
TGA	A902	Aw	Amazônia																	
SRO	A904	Aw	Cerrado																	
GTN	A906	Am	Amazônia																	
RON	A907	Aw	Cerrado																	
CAV	A912	Aw	Cerrado																	
JUA	A914	Am	Amazônia																	
SIN	A917	Am	Amazônia																	
COT	A919	Am	Amazônia																	
JUI	A920	Am	Amazônia																	
ALF	A924	Am	Amazônia																	
CAS	A941	Aw	Pantanal																	

3.3.DADOS DE REANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR E DA UMIDADE RELATIVA DO AR

Foram validadas estimativas dos produtos European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF's – ERA-5), National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis 1 e Japanese 55-year Reanalysis Project (JRA-55), Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA-2) e o Global Land Data Assimilation System (GLDAS) (Tabela 2).

TABELA 2 – Resolução espacial, escala temporal e site de obtenção dos dados dos produtos utilizados para validar as estimativas de Temperatura do ar (T_a), Umidade Relativa (UR) e Déficit de pressão de Vapor (DPV) para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Produto	Variável	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Site dos dados
MERRA-2	T_a	$0.5^\circ \times 0.625^\circ$	Diária/Mensal/Anual	giovanni.gsfc.nasa.gov
GLDAS	T_a	0.25°	Diária/Mensal/Anual	giovanni.gsfc.nasa.gov
ERA-5	T_a / UR / DPV	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$	Diária/Mensal/Anual	cds.climate.copernicus.eu
NCEP/NCAR	T_a / UR / DPV	$2.5^\circ \times 2.5^\circ$	Diária/Mensal/Anual	psl.noaa.gov
JRA-55	T_a / UR / DPV	$0.5^\circ \times 0.625^\circ$	Diária/Mensal/Anual	jra.kishou.go.jp

3.4.CÁLCULO DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR

As estimativas de temperatura do ar e umidade relativa das estações meteorológicas do INMET e dos produtos (ERA-55, NCEP/NCAR e JRA-55) foram usadas para calcular o déficit de pressão de vapor (Equação 1) (MACHADO et al., 2016).

$$DPV = e_s - e_a \quad (1)$$

$$e_s = 0.611 \left[\exp \left(17.27 \times \frac{T_a}{T_a + 237.3} \right) \right] \quad (2)$$

$$e_a = \frac{(UR \times e_s)}{100} \quad (3)$$

Em que, DPV é o Déficit de Pressão de Vapor (kPa), e_s é a saturação de pressão de vapor, e_a é a pressão atual de vapor (kPa), T_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$), UR é a umidade relativa (%).

3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As estimativas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor foram analisadas nas escalas diárias, mensais e anuais e em relação ao clima (A_m e A_w) e ao bioma (Floresta amazônica, Cerrado e Pantanal). As estimativas foram desconsideradas quando ocorreram falhas ou dados faltantes no registro das medidas nas estações meteorológicas automáticas de superfície.

O grau de relação entre os valores medidos e estimados foram calculados pelo índice de correlação de Spearman r (SPEARMAN, 1904). Este índice indica a intensidade de relação entre dois conjuntos de dados, o qual varia de -1 até 1. Valores próximos de -1 indicam alta correlação negativa, enquanto valores próximos de 1 indicam alta correlação positiva e valores próximos a zero indicam ausência de correlação (SPEARMAN, 1904; CHEN et al., 2019) (Equação 4).

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n} \quad (4)$$

Em que, d_i é a diferença entre os postos de cada par de observações e n o tamanho da amostra.

A concordância entre as estimativas e os valores medidos, foram avaliadas pelo índice “ d ” proposto por Willmott et al. (1985) (Equação 5). Este índice varia de 0 a 1, representando não concordância e concordância perfeita, respectivamente (MACHADO et al., 2015; PEDREIRA JUNIOR et al., 2021).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (5)$$

Em que, P_i é o valor estimado da variável (na escala de tempo diária, mensal ou anual), i representa um numerador para o número de observações de 1 a n (dias, meses ou anos). O_i é o valor da variável medida, e O é a média da variável medida.

A análise de quanto os produtos erram nas estimativas baseou-se nos valores de $RMSE$ (Root Mean Squared Error), o qual se espera valores próximos a zero (MACHADO et al., 2015; PEDREIRA JUNIOR et al., 2021) (Equação 6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

O cálculo do erro entre os valores medidos e estimados foi realizado pelo MAE (Mean Absolut Error), em que todas as diferenças individuais têm peso igual e são esperados valores próximos a zero (PAVÃO et al., 2018) (Equação 7).

$$MAE = \frac{\sum |P_i - O_i|}{n} \quad (7)$$

Para avaliar quão bem as estimativas estão em conformidade com os dados medidos (padrão ouro) utilizou-se a concordância de Lin (ρ_c) (Equação 8). Este índice varia de -1 e 1, em que 1 corresponde a alta concordância positiva (MARTELLI FILHO et al., 2005; FANTIN et al., 2018).

$$\rho_c = \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{2\sigma_x\sigma_y + (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\mu_x - \mu_y)^2} \quad (8)$$

Em que, ρ é o coeficiente de correlação de Pearson, σ_x e σ_y correspondem às variâncias da primeira e segunda séries de medidas e μ_x e μ_y são as médias para as duas séries.

Para avaliar a concordância entre os dados medidos e estimados também se utilizou o método de Bland e Altman (ALTMAN & BLAND, 1983). Esse método consiste na visualização gráfica ou numérica, a partir da dispersão entre a diferença e a média dos dados medidos e estimados, e também por meio de percentuais dentro dos limites de concordância. Dessa forma, é possível identificar o viés (o quanto as diferenças se afastam do valor zero), o erro (a dispersão dos pontos das diferenças ao redor da média), além de outliers e tendências (HIRAKATA & CAMEY, 2009).

Os softwares e linguagens de programação utilizados para esse estudo foram o *Climate Data Operators* (CDO) para combinação dos arquivos .grib e .nc, Python para extração dos dados climáticos conforme indicação das coordenadas geográficas das estações, R para gerar as análises, tabelas e gráficos e o *Grid Analysis and Display System* (GrADS) para gerar os mapas.

4. RESULTADOS

4.1. TEMPERATURA DO AR

A série temporal mensal dos dados de temperatura do ar apresenta um comportamento sazonal conforme esperado, em se tratando de séries climatológicas, sem aparente indicação de tendências, para todas as estações do estudo (Figura 10).

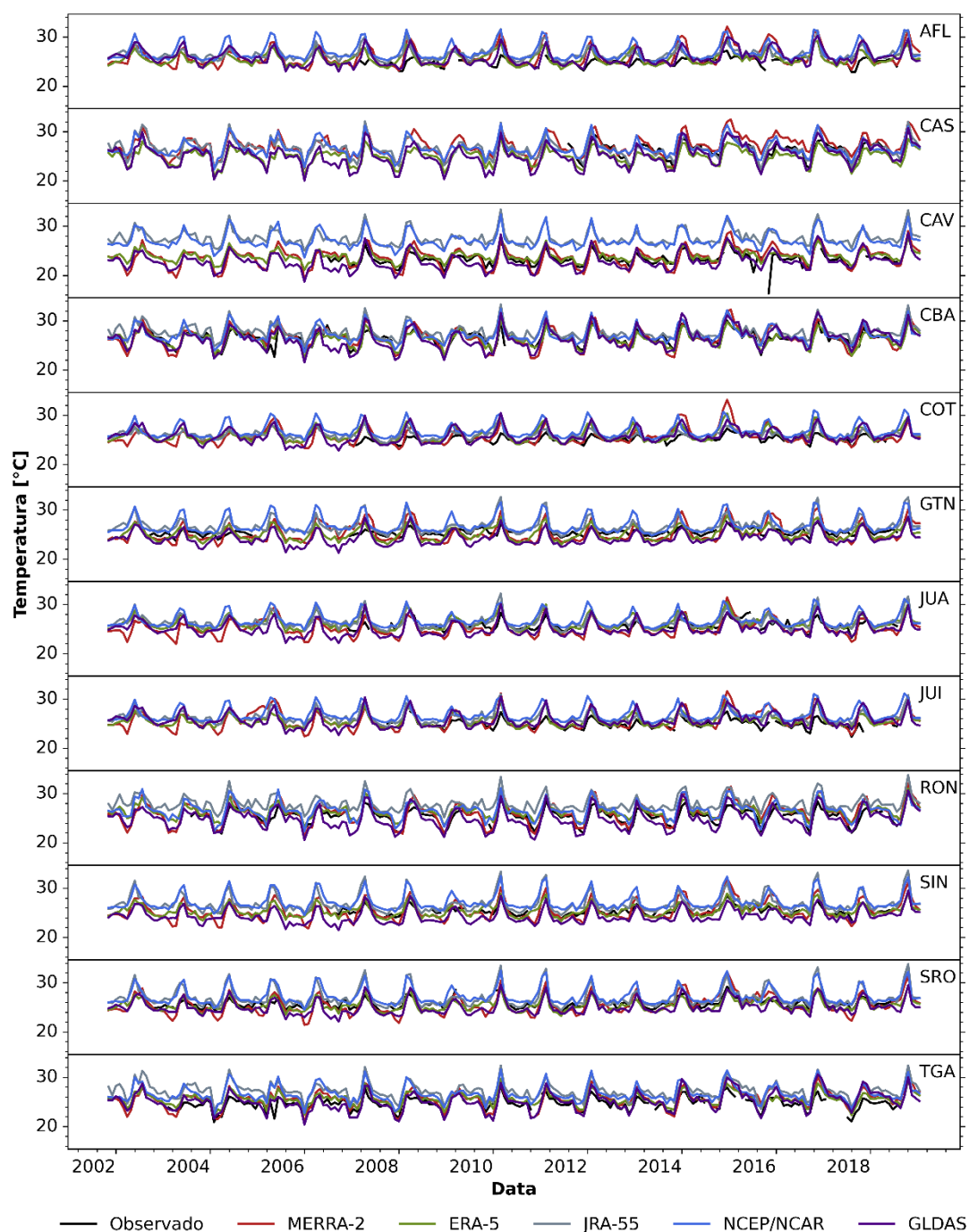


FIGURA 10 - Série temporal temperatura do ar mensal observada por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para as estações instaladas em Alta Floresta (ALF), Cáceres (CAS), Campo Verde (CAV), Cuiabá (CBA), Cotriguaçu (COT), Guarantã do Norte (GTN), Juara (JUA), Juína (JUI), Rondonópolis (RON), Sinop (SIN), Sorriso (SRO) e Tangará da Serra (TGA) no estado de Mato Grosso, Brasil.

O conjunto dos dados diários apresenta distribuição com sobreposição de valores embora tenham médias distintas, tanto dos valores medidos quanto dos produtos de reanálise, onde a maior diferença na distribuição é do produto NCEP/NCAR (Figura 11). Em relação a distribuição dos dados mensal, se verifica que o GLDAS e o JRA-55 possuem distribuições semelhantes ao medido. Para os dados anuais, todas os produtos, exceto o NCEP/NCAR apresentam uma distribuição bimodal ou multimodal, se assemelhando mais aos dados medidos (Figura 11).

A temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo GLDAS subestimou os valores medidos (Tabela 3). A temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo MERRA-2 e ERA-5 superestimaram os valores medidos em 1% (Tabela 3). A temperatura do ar diária estimada pelo NCEP/NCAR subestimou os valores medidos em 3%, no entanto, em escala mensal e anual superestimaram os valores medidos em 6% (Tabela 3). A temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo JRA-55 superestimou os valores medidos em 6% (Tabela 3).

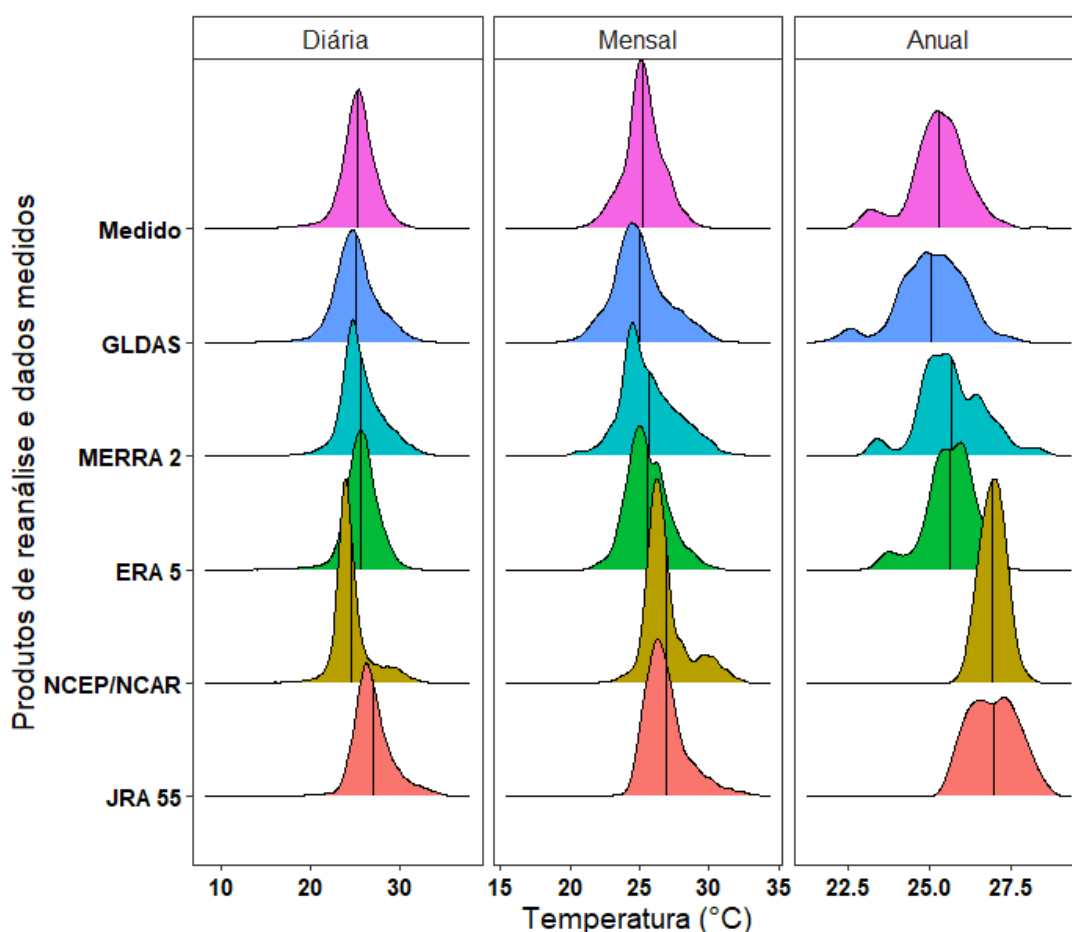


FIGURA 11 - Densidade da distribuição da temperatura do ar diária, mensal e anual medida por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. A linha vertical preta representa a média.

A temperatura do ar diária estimada pelo ERA-5 apresentou menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 12), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 3) que os demais produtos. A temperatura do ar diária estimada pelo JRA-55 teve maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 12), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 3) que os demais produtos (Tabela 3).

A temperatura do ar mensal estimada pelo ERA-5 apresentou menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 12), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 3) que os demais produtos. A temperatura do ar mensal estimada pelo JRA-55 e NCEP/NCAR tiveram maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 12), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 3) que os demais produtos.

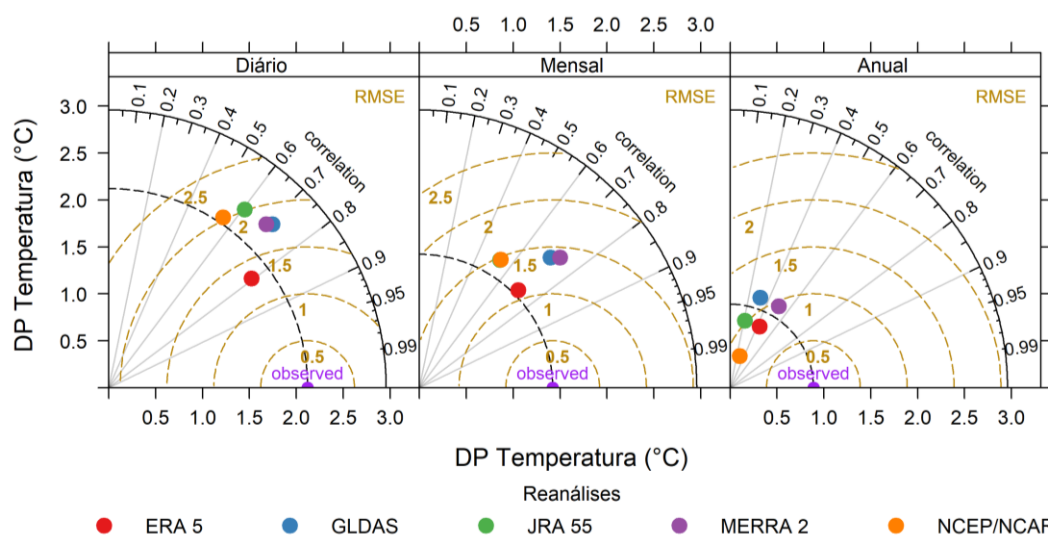


FIGURA 12 - Diagrama de Taylor da temperatura do ar diária, mensal e anual dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

A temperatura do ar anual estimada pelo ERA-5 e MERRA-2, apresentaram menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 12), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 3) que os demais produtos, respectivamente. A temperatura do ar anual estimada pelo JRA-55 teve maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 12), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 3) que os demais produtos.

TABELA 3 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Willmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Escala	Produto	Média $\pm$ IC (°C)	MAE	d	Lin
Diária	Medido	25.3 $\pm$ 0.0	-	-	-
	ERA-5	25.6 $\pm$ 0.0	0.9	0.92	0.84
	GLDAS	25.0 $\pm$ 0.0	1.3	0.87	0.75
	JRA-55	26.9 $\pm$ 0.0	1.9	0.73	0.54
	MERRA-2	25.7 $\pm$ 0.0	1.3	0.85	0.72
	NCEP/NCAR	24.5 $\pm$ 0.0	1.6	0.77	0.6
Mensal	Medido	25.3 $\pm$ 0.1	-	-	-
	ERA-5	25.6 $\pm$ 0.1	0.8	0.84	0.72
	GLDAS	25.1 $\pm$ 0.1	1.1	0.83	0.70
	JRA-55	26.9 $\pm$ 0.1	1.7	0.60	0.34
	MERRA-2	25.7 $\pm$ 0.1	1.1	0.82	0.69

	NCEP/NCAR	26.9 ± 0.1	1.7	0.60	0.35
	Medido	25.3 ± 0.1	-	-	-
	ERA-5	25.6 ± 0.1	0.7	0.75	0.57
Anual	GLDAS	25.1 ± 0.2	0.8	0.75	0.55
	JRA-55	26.9 ± 0.1	1.7	0.41	0.05
	MERRA-2	25.7 ± 0.2	0.7	0.77	0.59
	NCEP/NCAR	26.9 ± 0.1	1.7	0.41	0.04

As estimativas de temperatura do ar ficaram dentro dos limites estabelecidos para a concordância de Bland-Altman em escala diária, mensal e anual para todos os produtos analisados (Tabela 4). As estimativas diárias de temperatura do ar do JRA-55 apresentaram a maior concordância de Bland-Altman, enquanto o NCEP/NCAR as menores. Por outro lado, as estimativas mensais do GLDAS e NCEP/NCAR apresentaram as maiores concordâncias, enquanto o ERA-5 as menores. As estimativas anuais do GLDAS apresentaram a maior concordância, no entanto, o produto JRA-55 a menor concordância (Tabela 4).

TABELA 4 – Média das diferenças dos resíduos, limite inferior, limite superior e proporção de Bland-Altman das estimativas de temperatura do ar diária, mensal e anual estimados a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Escala	Produto	Média	Limite Inferior	Limite Superior	Proporção (%)
Diária	ERA-5	-0.4	-2.5	1.8	95.0
	GLDAS	0.2	-2.9	3.4	95.0
	JRA-55	-1.6	-5.1	1.9	95.2
	MERRA-2	-0.4	-3.6	2.9	94.8
	NCEP/NCAR	0.7	-2.9	4.4	94.6
Mensal	ERA-5	-0.3	-2.4	1.8	94.4
	GLDAS	0.2	-2.3	2.8	95.3
	JRA-55	-1.6	-4.5	1.2	95.0
	MERRA-2	-0.4	-3.0	2.3	94.5
	NCEP/NCAR	-1.6	-4.4	1.2	95.3
Anual	ERA-5	-0.3	-1.7	1.1	95.5
	GLDAS	0.2	-1.5	2.0	97.7
	JRA-55	-1.7	-3.7	0.4	92.1
	MERRA-2	-0.4	-2.0	1.2	94.9
	NCEP/NCAR	-1.7	-3.4	0.1	90.4

A temperatura estimada pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 13), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 5) ao estimar a temperatura do ar para o bioma Amazônia. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 13), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 5) ao estimar a temperatura para o bioma Amazônia foram do NCEP/NCAR. Para o bioma Cerrado, o produto ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 13), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 5) ao estimar a temperatura do ar. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 13), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 5) ao estimar a temperatura para o bioma Cerrado foram do JRA-55.

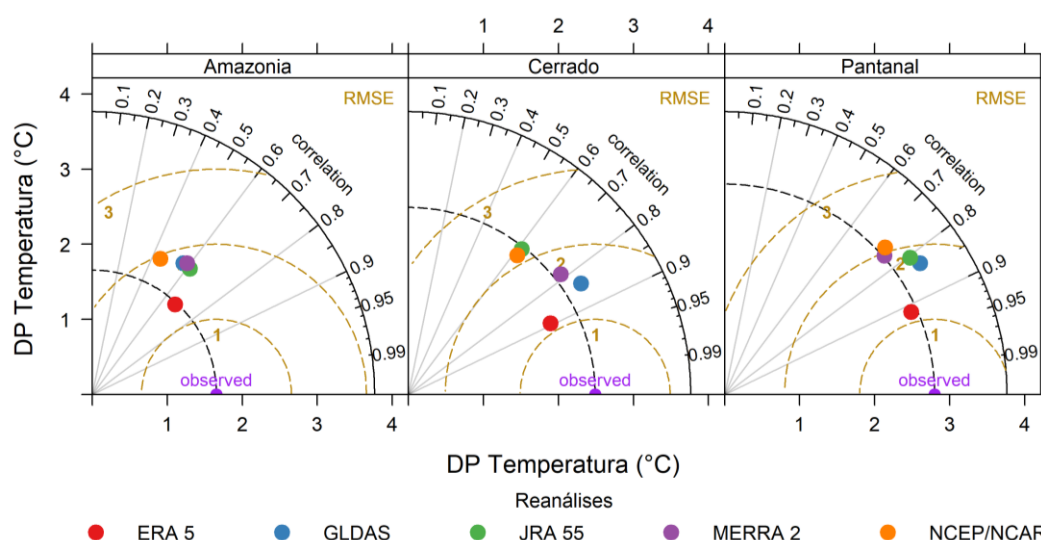


FIGURA 13 - Diagrama de Taylor da temperatura do ar dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

A temperatura estimada pelo JRA-55 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 13), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 5) ao estimar a temperatura do ar para o bioma Pantanal. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 13), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 5) ao estimar a temperatura para o bioma Pantanal foram do MERRA-2.

TABELA 5 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar para os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estimados pelos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Bioma	Produto	Média $\pm$ IC (°C)	MAE	d	Lin
Amazônia	Medido	25.3 $\pm$ 0.1	-	-	-
	ERA-5	25.7 $\pm$ 0.1	0.9	0.70	0.49
	GLDAS	25.2 $\pm$ 0.1	1.1	0.65	0.45
	JRA-55	26.4 $\pm$ 0.1	1.2	0.61	0.39
	MERRA-2	25.6 $\pm$ 0.1	1.1	0.68	0.49
	NCEP/NCAR	26.9 $\pm$ 0.1	1.6	0.49	0.23
Cerrado	Medido	25.2 $\pm$ 0.1	-	-	-
	ERA-5	25.5 $\pm$ 0.1	0.7	0.91	0.84
	GLDAS	24.9 $\pm$ 0.2	1.0	0.89	0.80
	JRA-55	27.4 $\pm$ 0.1	2.2	0.58	0.31
	MERRA-2	25.6 $\pm$ 0.1	1.0	0.88	0.79
	NCEP/NCAR	26.9 $\pm$ 0.1	1.8	0.65	0.41
Pantanal	Medido	26.2 $\pm$ 0.4	-	-	-
	ERA 5	24.9 $\pm$ 0.3	1.3	0.85	0.72
	GLDAS	25.4 $\pm$ 0.5	1.2	0.87	0.77
	JRA 55	26.4 $\pm$ 0.4	0.7	0.93	0.86
	MERRA 2	27.5 $\pm$ 0.4	1.5	0.76	0.60
	NCEP/NCAR	26.7 $\pm$ 0.3	1.1	0.77	0.61

A temperatura estimada pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 14), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 6) ao estimar a temperatura do ar para o clima Am. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 14), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 6) ao estimar a temperatura para o clima Am foram do NCEP/NCAR.

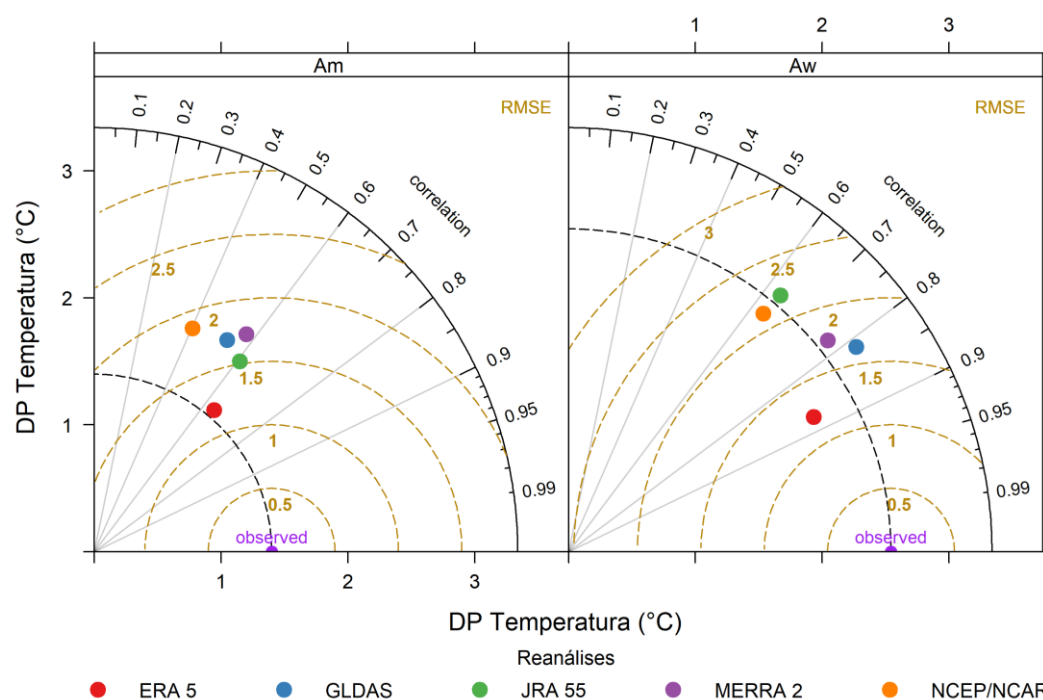


FIGURA 14 - Diagrama de Taylor da temperatura do ar dos climas Am e Aw dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

Para o clima Aw, o produto ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 14), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 6) ao estimar a temperatura do ar. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 14), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 6) ao estimar a temperatura para o clima Aw foram do JRA- 55.

TABELA 6 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar para os climas Am e Aw estimados pelos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Clima	Produto	Média $\pm$ IC (°C)	MAE	d	Lin
Am	Medido	25.3 $\pm$ 0.1	-	-	-
	ERA-5	25.7 $\pm$ 0.1	0.9	0.70	0.49
	GLDAS	25.2 $\pm$ 0.1	1.1	0.65	0.45
	JRA-55	26.4 $\pm$ 0.1	1.2	0.61	0.39
	MERRA-2	25.6 $\pm$ 0.1	1.1	0.68	0.49
	NCEP/NCAR	26.9 $\pm$ 0.1	1.6	0.49	0.23
Aw	Medido	25.3 $\pm$ 0.1	-	-	-

ERA-5	25.5 ± 0.1	0.8	0.90	0.82
GLDAS	24.9 ± 0.1	1.0	0.89	0.80
JRA-55	27.4 ± 0.1	2.1	0.59	0.32
MERRA-2	25.7 ± 0.1	1.0	0.88	0.78
NCEP/NCAR	26.9 ± 0.1	1.8	0.66	0.42

4.2.UMIDADE RELATIVA DO AR

A série temporal mensal dos dados de temperatura do ar apresenta um comportamento sazonal, sem aparente indicação de tendências, para todas as estações do estudo e isso tem relação direta com os períodos seco e chuvoso de cada município onde estão instaladas (Figura 15).

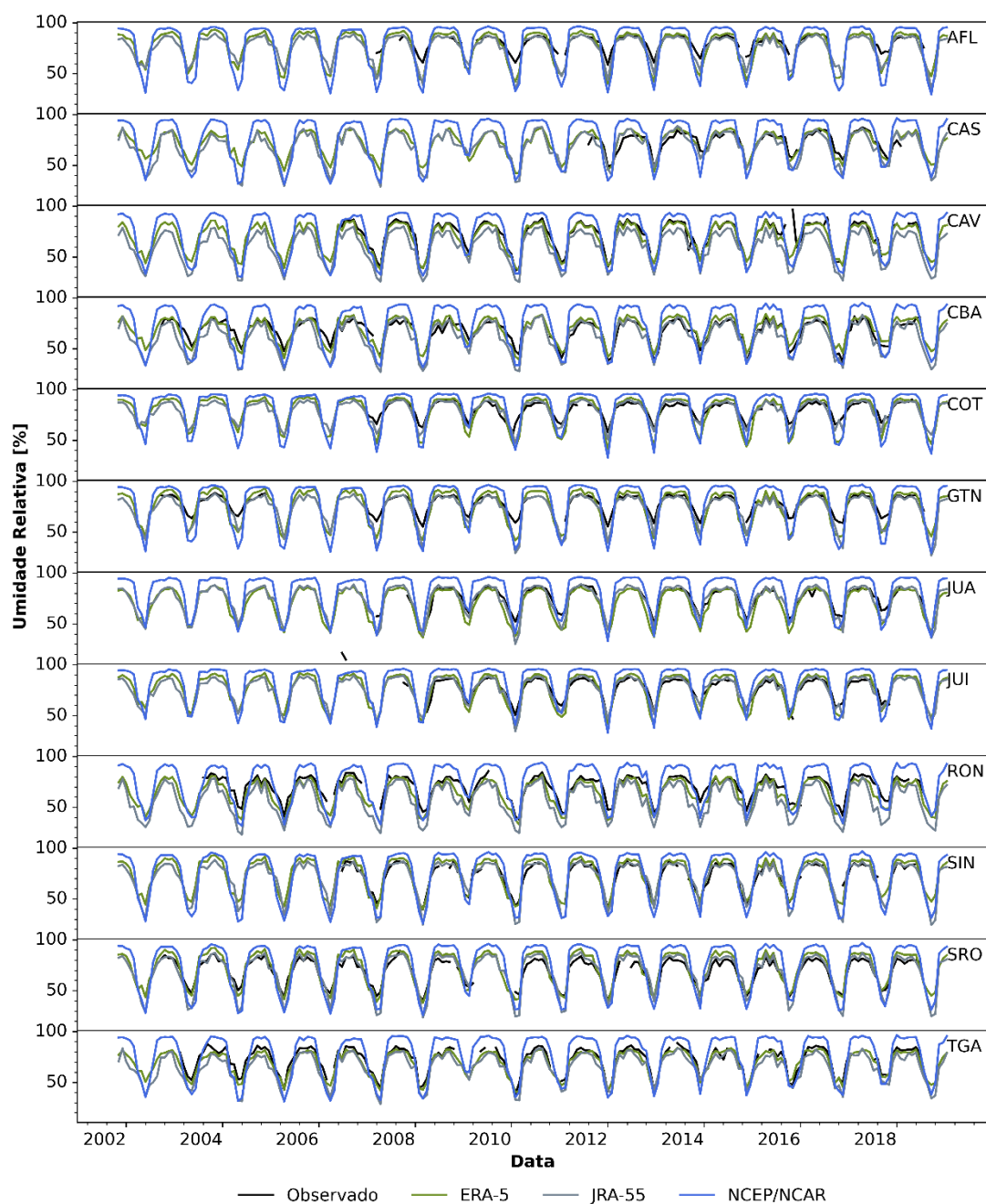


FIGURA 15 - Série temporal da umidade relativa do ar mensal observada por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para as estações instaladas em Alta Floresta (ALF), Cáceres (CAS), Campo Verde (CAV), Cuiabá (CBA), Cotriguaçu (COT), Guarantã do Norte (GTN), Juara (JUA), Juína (JUI), Rondonópolis (RON), Sinop (SIN), Sorriso (SRO) e Tangará da Serra (TGA) no estado de Mato Grosso, Brasil.

O conjunto dos dados diário, mensal e anual apresentam distribuição com uma inclinação à esquerda e com sobreposição de valores embora tenham médias distintas, tanto dos valores medidos quanto dos produtos de reanálise, onde a maior diferença na distribuição é do produto NCEP/NCAR para a escala diária e mensal (Figura 16).

A umidade relativa do ar diária estimada pelo ERA-5 subestimou os valores medidos em aproximadamente 2%. A umidade relativa do ar mensal e anual estimada pelo ERA-5 não apresentou diferença significativa com os valores medidos. A umidade relativa do ar diária e mensal estimada pelo NCEP/NCAR superestimou os valores medidos em 6%, no entanto, em escala anual superestimou os valores medidos em 5% (Tabela 7). A temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo JRA-55 subestimou os valores medidos em 6% (Tabela 7).

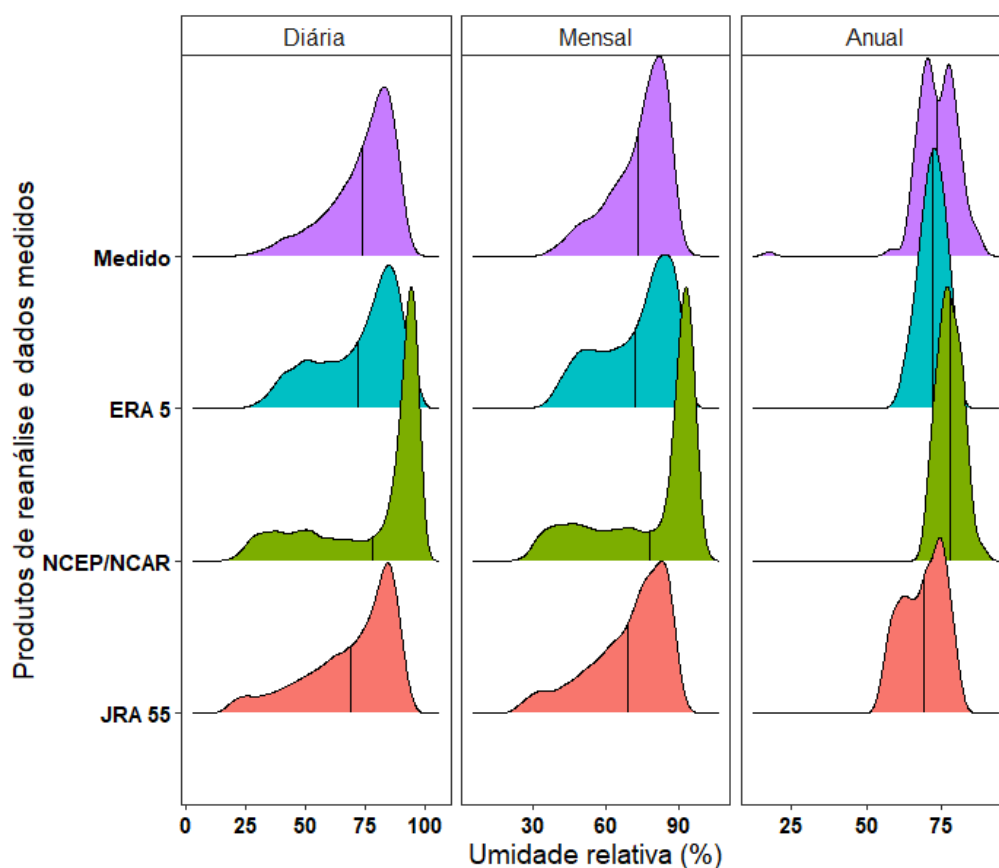


FIGURA 16 - Densidade da distribuição da umidade relativa do ar diária, mensal e anual medida por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. A linha vertical preta representa a média.

A umidade relativa do ar diária estimada pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 17), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 7). No entanto, a umidade relativa do ar diária estimada pelo NCEP/NCAR teve o maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 17), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 7) que os demais produtos.

A umidade relativa do ar mensal estimada pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 17), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 7) que os demais produtos. Por outro lado, a umidade relativa do ar mensal estimada pelo NCEP/NCAR teve o maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 17), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 7).

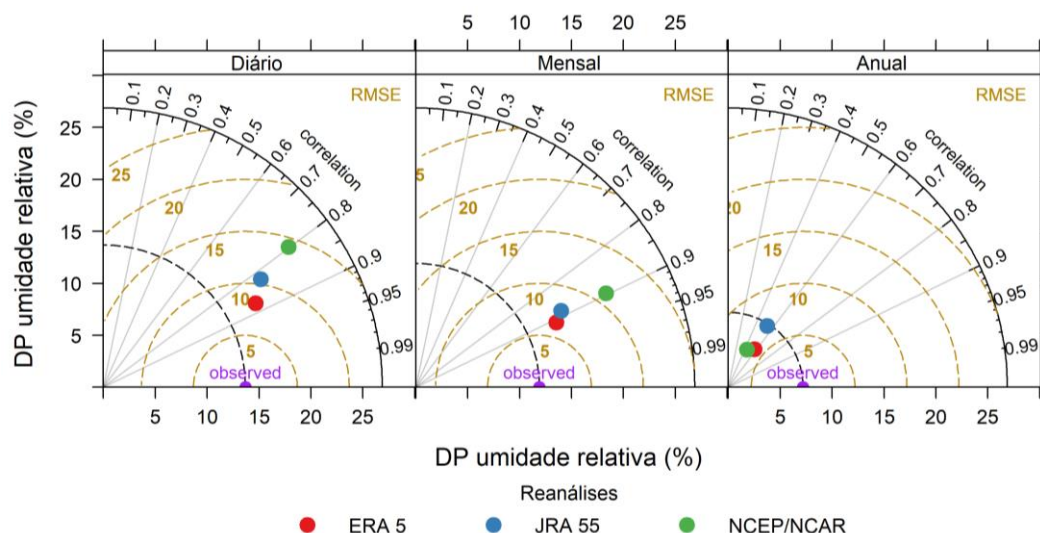


FIGURA 17 - Diagrama de Taylor da umidade relativa do ar diária, mensal e anual dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranjas representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

A umidade relativa do ar anual estimada pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 17), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 7) que os demais produtos. A umidade relativa do ar anual estimada pelo JRA-55 apresentou o maior RMSE (Figura 17) e MAE (Tabela 7), enquanto o produto NCEP/NCAR apresentou os menores valores de correlação de Spearman (Figura 17), coeficientes de Willmott, e Lin (Tabela 7).

TABELA 7 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Willmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Escala	Produto	Média $\pm$ IC ($^{\circ}$ C)	MAE	d	Lin
Diária	Medido	73.6 $\pm$ 0.1	-	-	-
	ERA-5	72.2 $\pm$ 0.2	6.1	0.93	0.86

	JRA-55	69.1 ± 0.2	7.9	0.89	0.79
	NCEP/NCAR	78.16 ± 0.2	12.1	0.84	0.72
Mensal	Medido	73.6 ± 0.6	-	-	-
	ERA-5	72.4 ± 0.7	5.1	0.93	0.87
	JRA-55	69.3 ± 0.7	6.2	0.90	0.81
	NCEP/NCAR	78.4 ± 1.0	11.0	0.85	0.73
Anual	Medido	73.9 ± 1.1	-	-	-
	ERA-5	72.1 ± 0.7	4.6	0.60	0.39
	JRA-55	69.0 ± 1.0	6.5	0.55	0.32
	NCEP/NCAR	77.9 ± 0.6	5.7	0.50	0.22

As estimativas de umidade relativa do ar ficaram dentro dos limites estabelecidos para a concordância de Bland-Altman em escala diária, mensal e anual de todos os produtos analisados (Tabela 8). As estimativas diárias de umidade relativa do ar apresentaram maior concordância para o produto JRA-55, enquanto o NCEP/NCAR as menores. Por outro lado, em escala mensal e anual os produtos ERA-5 e JRA-55 foram os produtos com maiores percentuais de concordância, enquanto o NCEP/NCAR foi o menor (Tabela 8).

TABELA 8 – Média das diferenças dos resíduos, limite inferior, limite superior e proporção de Bland-Altman das estimativas da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimados a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Escala	Produto	Média	Limite Inferior	Limite Superior	Proporção (%)
Diária	ERA-5	1.4	-14.0	16.8	94.5
	JRA-55	4.5	-14.4	23.3	94.7
	NCEP/NCAR	-4.6	-30.6	21.4	94.2
Mensal	ERA-5	1.2	-12.3	14.6	95.9
	JRA-55	4.2	-10.8	19.3	95.2
	NCEP/NCAR	-4.9	-27.4	17.7	94.8
Anual	ERA-5	1.8	-11.1	14.6	97.7
	JRA-55	4.9	-10.5	20.2	97.7
	NCEP/NCAR	-4.0	-17.8	9.8	97.2

A umidade relativa estimada pelo JRA-55 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 18), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 9) ao estimar a umidade relativa do ar para o bioma Amazônia. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 18), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela

9) ao estimar a temperatura para o bioma Amazônia foram do NCEP/NCAR (Tabela 9). Para o bioma Cerrado, o produto ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 18), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 9) ao estimar a umidade relativa do ar. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 18), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 9) ao estimar a temperatura para o bioma Cerrado foram do NCEP/NCAR.

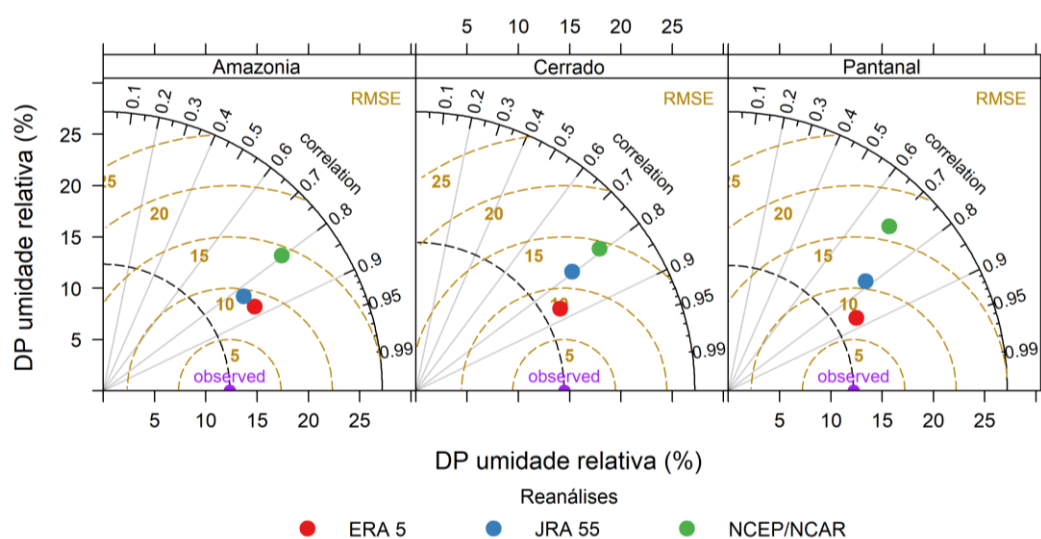


FIGURA 18 - Diagrama de Taylor da umidade relativa do ar dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

A umidade relativa estimada pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 18), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 9) ao estimar a umidade relativa do ar para o bioma Pantanal. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 18), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 9) ao estimar a umidade relativa para o bioma Pantanal foram do NCEP/NCAR.

TABELA 9 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Willmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar para os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Bioma	Produto	Média $\pm$ IC (%)	MAE	d	Lin
Amazônia	Medido	77.3 $\pm$ 0.7	-	-	-
	ERA-5	75.7 $\pm$ 1.1	5.9	0.90	0.81

	JRA-55	75.4 ± 0.9	4.3	0.91	0.83
	NCEP/NCAR	81.3 ± 1.4	11.0	0.82	0.69
Cerrado	Medido	70.3 ± 0.8	-	-	-
	ERA-5	69.3 ± 0.9	4.5	0.95	0.90
	JRA-55	63.7 ± 1.1	8.0	0.87	0.77
	NCEP/NCAR	75.8 ± 1.4	10.9	0.86	0.76
Pantanal	Medido	72.9 ± 2.2	-	-	-
	ERA-5	73.6 ± 2.6	3.7	0.95	0.91
	JRA-55	70.9 ± 2.8	5.5	0.91	0.82
	NCEP/NCAR	78.6 ± 4.4	12.6	0.78	0.63

A umidade relativa estimada pelo ERA-5 e JRA-55 apresentaram o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 19), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 10) ao estimar a umidade relativa do ar para o clima Am. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 19), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 10) ao estimar a umidade relativa para o clima Am foram do NCEP/NCAR.

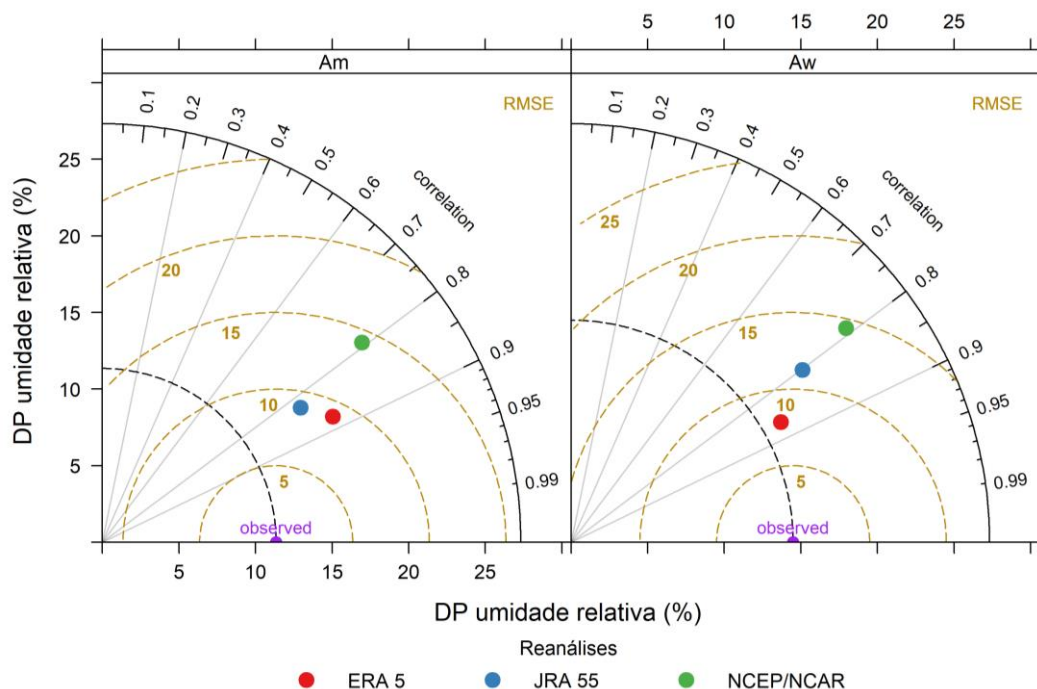


FIGURA 19 - Diagrama de Taylor da umidade relativa do ar dos climas Am e Aw dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranjas representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

Para o clima Aw, o produto ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 19), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 10) ao estimar a umidade relativa do ar. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 19), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 10) ao estimar a umidade relativa para o clima Aw foram do NCEP/NCAR.

TABELA 10 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar para os climas Am e Aw estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Clima	Produto	Média $\pm$ IC (%)	MAE	d	Lin
Am	Medido	77.3 $\pm$ 0.7	-	-	-
	ERA-5	75.7 $\pm$ 1.1	5.9	0.90	0.81
	JRA-55	75.4 $\pm$ 0.9	4.3	0.91	0.83
	NCEP/NCAR	81.3 $\pm$ 1.4	11.0	0.82	0.69
Aw	Medido	70.5 $\pm$ 0.8	-	-	-
	ERA-5	69.6 $\pm$ 0.9	4.5	0.95	0.90
	JRA-55	64.3 $\pm$ 1.0	7.8	0.87	0.77
	NCEP/NCAR	76.0 $\pm$ 1.3	11.1	0.86	0.75

4.3.DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR

A série temporal mensal dos dados de déficit de pressão de vapor apresentam um comportamento sazonal conforme esperado, em se tratando de séries climatológicas, sem aparente indicação de tendências, para todas as estações do estudo (Figura 20).

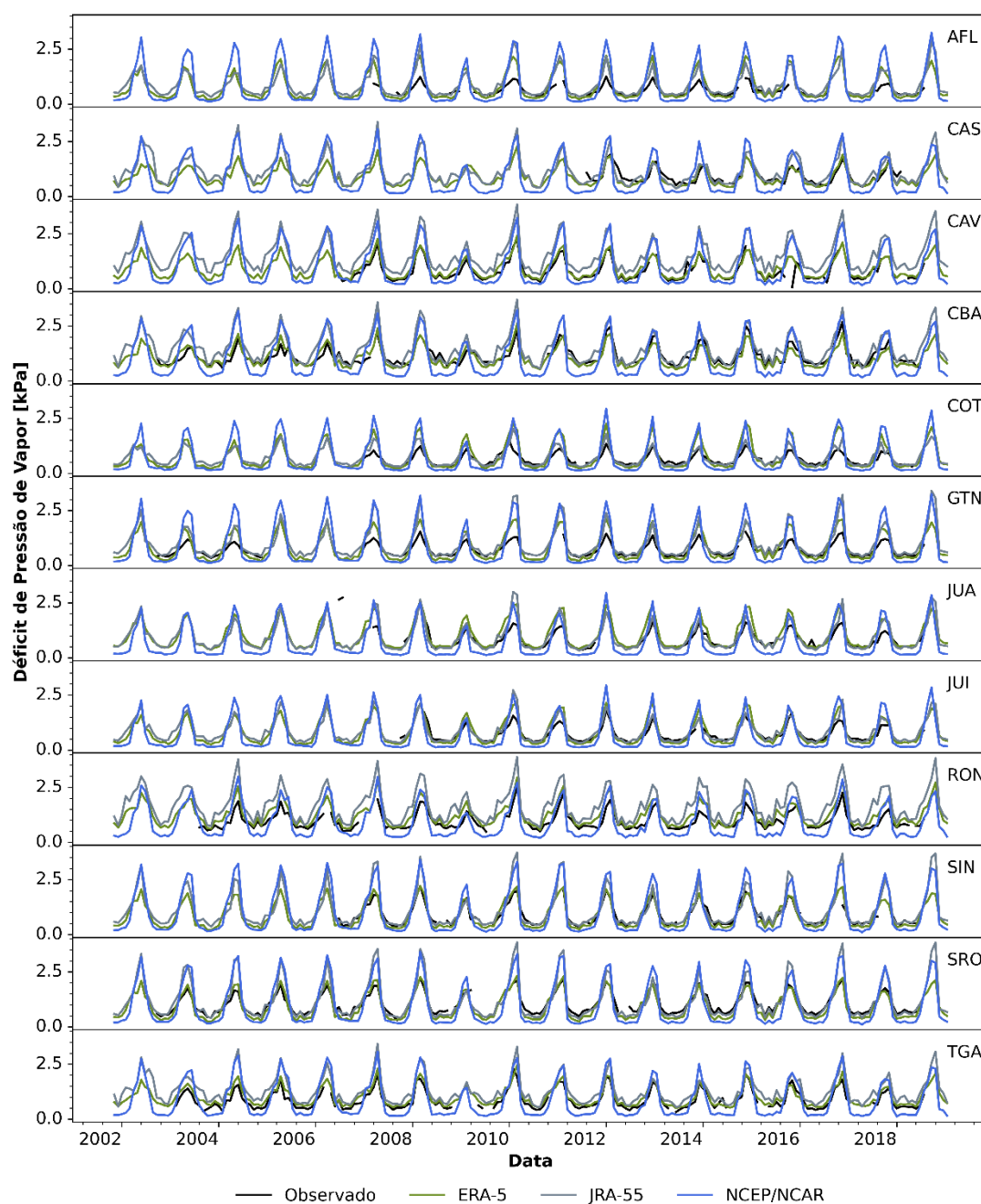


FIGURA 20 - Série temporal do déficit de pressão de vapor mensal observado por estações automáticas de superfície e estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para as estações instaladas em Alta Floresta (ALF), Cáceres (CAS), Campo Verde (CAV), Cuiabá (CBA), Cotriguaçu (COT), Guarantã do Norte (GTN), Juara (JUA), Juína (JUI), Rondonópolis (RON), Sinop (SIN), Sorriso (SRO) e Tangará da Serra (TGA) no estado de Mato Grosso, Brasil.

O conjunto dos dados diário, mensal e anual apresentam distribuição com uma inclinação à direita e com sobreposição de valores embora tenham médias distintas, tanto dos valores medidos quanto dos produtos de reanálise, onde a maior diferença na distribuição é do produto NCEP/NCAR para a escala diária e mensal (Figura 21).

O déficit de pressão de vapor diário estimado pelo ERA-5 superestimou os valores medidos em aproximadamente 6% (Tabela 11). O déficit de pressão de vapor mensal e anual estimado pelo ERA-5 superestimou os valores medidos em 8% e 9%, respectivamente (Tabela 11). O déficit de pressão de vapor diário estimado pelo NCEP/NCAR subestimou os valores medidos em 14%, no entanto, as estimativas mensais e anuais do NCEP/NCAR não diferiram significativamente dos valores medidos (Tabela 11). O déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimados pelo JRA-55 superestimou os valores medidos em aproximadamente 24% (Tabela 11).

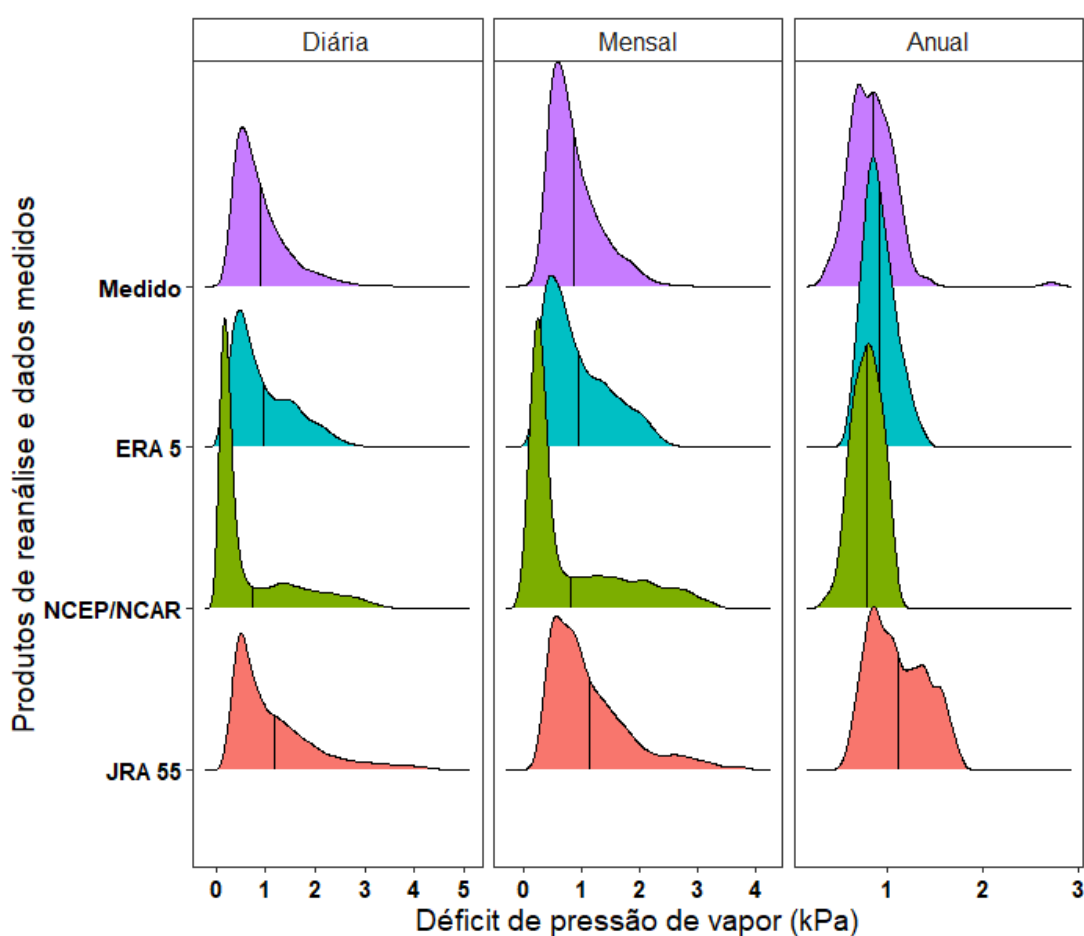


FIGURA 21 - Densidade da distribuição do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual medido por estações automáticas de superfície e estimado a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. A linha vertical preta representa a média.

O déficit de pressão de vapor diário estimado pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 22), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 11). No entanto, o déficit de pressão de vapor diário estimado pelo NCEP/NCAR e o JRA-55 apresentaram o maior

RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 22), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 11) respectivamente.

O déficit de pressão de vapor mensal estimado pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 22), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 11). Por outro lado, o NCEP/NCAR apresentou os maior RMSE (Figura 22) e MAE (Tabela 11), menor coeficiente de Lin e o JRA-55 apresentou o menor coeficiente de Willmott (Tabela 11) e correlação de Spearman (Figura 22).

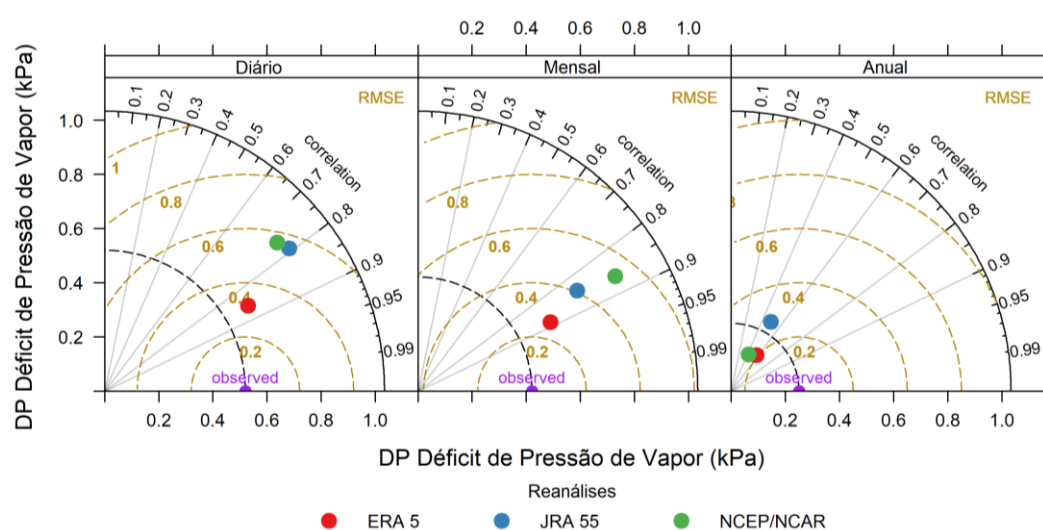


FIGURA 22 - Diagrama de Taylor do déficit de pressão de vapor diária, mensal e anual dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

O déficit de pressão de vapor anual estimado pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 22), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 11). No entanto, o déficit de pressão de vapor anual estimado pelo JRA-55 apresentou o maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 22), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 11).

TABELA 11 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Escala	Produto	Média $\pm$ IC (kPa)	MAE	d	Lin
--------	---------	----------------------	-----	-----	-----

Diária	Medido	0.9 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	0.9 ± 0.0	0.2	0.91	0.84
	JRA-55	1.2 ± 0.0	0.4	0.81	0.68
	NCEP/NCAR	0.7 ± 0.0	0.5	0.82	0.69
Mensal	Medido	0.9 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	0.9 ± 0.0	0.2	0.90	0.82
	JRA-55	1.1 ± 0.0	0.3	0.81	0.68
	NCEP/NCAR	0.8 ± 0.0	0.4	0.81	0.67
Anual	Medido	0.8 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	0.9 ± 0.0	0.2	0.60	0.39
	JRA-55	1.1 ± 0.0	0.3	0.48	0.24
	NCEP/NCAR	0.8 ± 0.0	0.2	0.52	0.27

As estimativas do déficit de pressão de vapor ficaram dentro dos limites estabelecidos para a concordância de Bland-Altman em escala diária, mensal e anual para todos os produtos analisados (Tabela 12). As estimativas diárias de déficit de pressão de vapor do ERA-5 e JRA-55 apresentaram as maiores concordâncias de Bland-Altman, enquanto o NCEP/NCAR as menores. As estimativas mensais do ERA-5 apresentaram as maiores concordâncias, enquanto o JRA-55 as menores. As estimativas anuais do ERA-5 e NCEP/NCAR apresentaram as maiores concordâncias, no entanto, o produto JRA-55 a menor concordância (Tabela 12).

TABELA 12 – Média, limite inferior, limite superior e proporção de Bland-Altman das estimativas de déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimados a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Escala	Produto	Média	Limite Inferior	Limite Superior	Proporção (%)
Diária	ERA-5	-0.1	-0.7	0.6	94.1
	JRA-55	-0.3	-1.3	0.7	94.1
	NCEP/NCAR	0.1	-0.9	1.2	93.7
Mensal	ERA-5	-0.1	-0.6	0.5	94.6
	JRA-55	-0.3	-1.1	0.5	93.7
	NCEP/NCAR	0.0	-1.0	1.1	94.1
Anual	ERA-5	-0.1	-0.5	0.4	98.3
	JRA-55	-0.3	-0.9	0.3	97.2
	NCEP/NCAR	0.1	-0.4	0.5	98.3

O déficit de pressão de vapor estimado pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 23), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 13) ao estimar o déficit de pressão

de vapor para o bioma Amazônia. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 23), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 13) ao estimar o déficit de pressão de vapor para o bioma Amazônia foram do NCEP/NCAR. Para o bioma Cerrado, o produto ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 23), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 13) ao estimar o déficit de pressão de vapor. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 23), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 13) ao estimar o déficit de pressão de vapor para o bioma Cerrado foram do JRA-55.

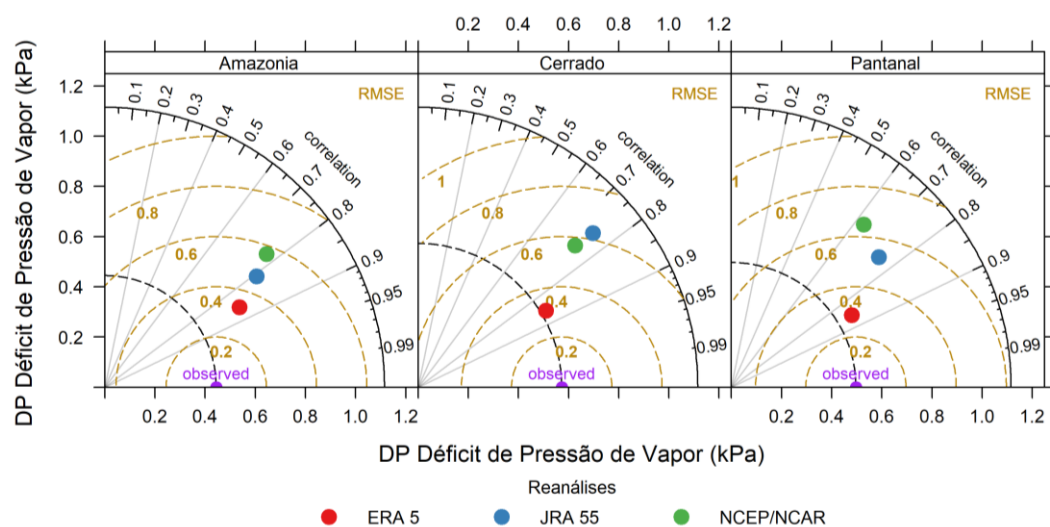


FIGURA 23 - Diagrama de Taylor do déficit de pressão de vapor dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranja representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

O déficit de pressão de vapor estimado pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 23), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 13) ao estimar o déficit de pressão de vapor do ar para o bioma Pantanal. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 23), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 13) ao estimar o déficit de pressão de vapor para o bioma Pantanal foram do NCEP/NCAR.

TABELA 13 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor para

os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Bioma	Produto	Média $\pm$ IC (kPa)	MAE	d	Lin
Amazônia	Medido	0.7 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	0.8 ± 0.0	0.2	0.86	0.75
	JRA-55	0.9 ± 0.0	0.2	0.84	0.72
	NCEP/NCAR	0.7 ± 0.1	0.4	0.76	0.61
Cerrado	Medido	1.0 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	1.0 ± 0.0	0.2	0.94	0.88
	JRA-55	1.4 ± 0.1	0.4	0.77	0.62
	NCEP/NCAR	0.9 ± 0.1	0.4	0.84	0.72
Pantanal	Medido	0.9 ± 0.1	-	-	-
	ERA-5	0.8 ± 0.1	0.2	0.93	0.87
	JRA-55	1.0 ± 0.1	0.2	0.87	0.77
	NCEP/NCAR	0.8 ± 0.2	0.5	0.74	0.56

O déficit de pressão de vapor estimado pelo ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 24), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 14) ao estimar o déficit de pressão de vapor para o clima Am. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 24), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 14) ao estimar o déficit de pressão de vapor para o clima Am foram do NCEP/NCAR (Tabela 14).

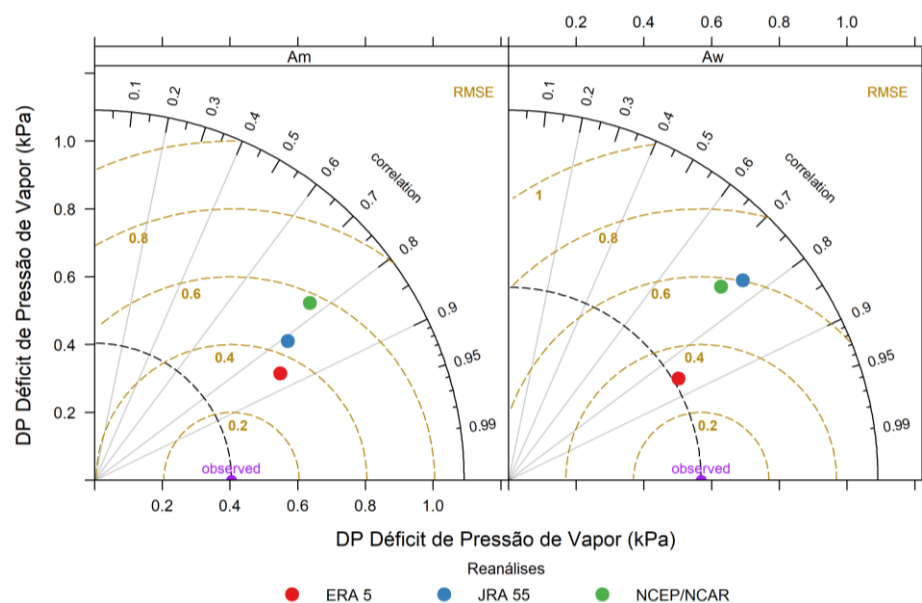


FIGURA 24 - Diagrama de Taylor do déficit de pressão de vapor dos climas Am e Aw dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil. Linhas tracejadas semicirculares laranjas representam a raiz do erro quadrático médio (RMSE), eixo x e y representam valores do desvio

padrão (DP) e linhas cinza partindo da coordenada (0,0) representam o coeficiente de correlação de Spearman (r).

Para o clima Aw, o produto ERA-5 apresentou o menor RMSE e maior coeficiente de correlação de Spearman (Figura 24), menor MAE, maior coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 14) ao estimar a o déficit de pressão de vapor. O maior RMSE e menor coeficiente de correlação de Spearman (Figura 24), maior MAE, menor coeficiente de Willmott e coeficiente de Lin (Tabela 14) ao estimar a o déficit de pressão de vapor para o clima Aw foram do JRA-55.

TABELA 14 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI), erro médio absoluto (MAE), índice de concordância de Wilmott (d) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor para os climas Am e Aw estimados pelos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Clima	Produto	Média $\pm$ IC (kPa)	MAE	d	Lin
Am	Medido	0.7 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	0.8 ± 0.0	0.2	0.86	0.75
	JRA-55	0.9 ± 0.0	0.2	0.84	0.72
	NCEP/NCAR	0.7 ± 0.1	0.4	0.76	0.61
Aw	Medido	1.0 ± 0.0	-	-	-
	ERA-5	1.0 ± 0.0	0.2	0.94	0.88
	JRA-55	1.3 ± 0.1	0.4	0.78	0.62
	NCEP/NCAR	0.9 ± 0.1	0.5	0.83	0.71

5. DISCUSSÃO

Todos os cinco produtos de reanálise foram capazes de fornecer estimativas fortemente correlacionadas com os dados medidos pelas estações meteorológicas de superfície, embora diferenças sutis tenham sido observadas. Deve-se notar que a identificação do produto adequado em estimar a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e o déficit de pressão de vapor pode variar de acordo com o local de estudo, no entanto, os resultados mostraram que as estimativas do ERA-5 são mais confiáveis em relação aos outros produtos analisados.

As estimativas dos produtos de reanálise de temperatura do ar tiveram melhor desempenho no bioma Pantanal e Cerrado, enquanto as estimativas de umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor tiveram melhor desempenho em todos os biomas. Essas variáveis são dependentes de uma interação complexa de vários processos, como fluxos radioativos e precipitação, não considerados nesse estudo. No entanto, suas influências sobre a umidade do solo e a vegetação tem efeitos óbvios na temperatura do ar, umidade relativa do ar, e consequentemente, no déficit de pressão de vapor, em razão do equilíbrio térmico da superfície ser muito afetado pelo albedo da superfície (HU et al., 2017).

No Platô Tibetano entre 2008 e 2017, ao avaliar a temperatura do ar diária, foram verificadas correlações entre 0,85 e 0,99 dos produtos GLDAS, ERA-5 e NCEP em relação a valores medidos. O RMSE (3,5) do GLDAS e do ERA-5 foram parecidos e o NCEP provou ser o pior entre eles com RMSE próximo de 4,5 (LIU et al., 2021). No presente estudo, as correlações da temperatura diária variaram de 0,6 a 0,8, sendo o ERA-5 o produto com menor RMSE (1,2), seguido do GLDAS (1,6) e o NCEP/NCAR (2,0). Ainda sobre o Platô Tibetano entre 1979 e 2018, O MERRA e o JRA-55 apresentaram menor RMSE (2,74) para a temperatura do ar anual em relação ao NCEP (4,27) e o ERA interim (2,87) (YAN et al., 2020). Na península Antártica (2010), o MERRA obteve o menor RMSE (1,44), seguido por ERA interim (1,78), JRA-55 (1,91) e NCEP/NCAR (2,11) (NYGÅRD et al., 2016). No mar de Amundsen na Antártida nos meses de fevereiro e março de 2014, verificou-se os seguintes valores de RMSE para temperatura do para o ERA interim (1,42) e JRA-55 (1,88) (JONES et al., 2016). Também verificaram para a humidade relativa valores de RMSE para o ERA interim (12,47) e JRA-55 (16,07) (JONES et al., 2016).

As diferenças entre as estimativas dos produtos de reanálise estão relacionadas ao tipo e quantidade de observações assimiladas em cada reanálise. Além disso, modelos de parametrização física implicam em diferentes respostas associados as reanálises (WANG & ZENG, 2012). Desta maneira, a terra pode ser tomada como um modelo de superfície (LSM) em que cada reanálise apresenta modelos diferentes em sua composição. Estes LSMs apresentam diferenças em suas composições a partir de dados de variáveis do sistema climático como precipitação, escoamento superficial, evaporação e conteúdo de água no solo, assim como radiação, fluxos de calor sensível e latente que retroalimentam o sistema de reanálise, podendo proporcionar diferenças entre as estimativas (WANG & ZENG, 2012)

Os resultados quantitativos apresentados neste estudo em relação aos valores do centro de grade (pixel) dos modelos de reanálise com as medidas pontuais podem ser afetados pela incerteza atribuída e a representatividade da medição. Além disso, o uso incorreto dos instrumentos aliado ao mau funcionamento são fatores que implicam em erros nas medições e coleta de dados (WANG & ZANG, 2012).

As estimativas de temperatura do ar dos modelos de reanálise são geralmente mais precisas em escala global e regional com baixos valores de viés e RMSE. Embora, as estimativas do GLDAS de temperatura do ar na América do Sul e África apresentem baixos valores, estes resultados estão provavelmente associados a baixa densidade de estações meteorológicas nestes locais (JI et al., 2015).

O ERA-5 é preferível, em relação aos outros produtos deste estudo, por ser capaz de fornecer informações mais detalhadas devido à sua resolução espacial mais precisa (LIU et al., 2021). O melhor desempenho desse produto ocorreu nos locais de menor altitude, onde a reanálise reproduziu dados mais realistas do que nas demais áreas. Além disso, os resultados obtidos indicaram que, no caso em que os dados medidos não estão disponíveis para o estado de Mato Grosso, as estimativas provenientes do ERA-5 são recomendadas com base no presente estudo. Em contrapartida, as estimativas do NCEP/NCAR apresentaram os menores valores de correlação, Willmott e maiores erros em relação aos outros produtos. Isso ocorreu devido as estações micrometeorológicas realizarem medidas pontuais, enquanto o NCEP/NCAR possui a pior resolução espacial entre os produtos avaliados, e

geralmente isso faz com que ignore as informações mais detalhadas da superfície e por isso falha em capturar dados mais pontuais (PEDREIRA JUNIOR et al., 2021).

No geral, os erros cometidos nas estimativas dos produtos de reanálises estão relacionados aos seus parâmetros de entrada (ZHOU & DU, 2016). Além disso, as diferenças entre o método utilizado para calcular a média de reanálise e dos dados medidos em estação meteorológica, bem como as diferenças no método de assimilação e os níveis verticais podem também introduzir erros na análise desses resultados (HU et al., 2019). Dessa forma, os bons resultados obtidos estão relacionados com a qualidade dos produtos de reanálise relativos à temperatura e umidade relativa do ar (MARTINS et al., 2015).

6. CONCLUSÃO

Todos os cinco produtos de reanálise (GLDAS, MERRA-2, ERA-5, NCEP/NCAR e JRA-55) em geral, apresentaram estimativas fortemente correlacionadas com os dados medidos em estações meteorológicas de superfícies em escala diária, mensal e anual. Porém, o ERA-5 apresentou o melhor desempenho quando comparados aos demais produtos de reanálise desse estudo, pelo fato de apresentar uma assimilação de dados mais complexa e principalmente pela melhor resolução espacial. As estimativas do NCEP/NCAR apresentaram as maiores diferenças com os dados medidos nas estações meteorológicas automáticas de superfície do INMET principalmente pela resolução espacial mais grosseira.

Esse estudo permitiu avaliar e validar os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor estimados por diversos produtos de reanálise em relação aos dados medidos em estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Mato Grosso. Espera-se que estes resultados auxiliem pesquisas que demandem este tipo de informação. Enfim, para estudos futuros é importante fazer a validação em outras regiões do Brasil, envolver uma gama mais ampla de variáveis e estações analisadas, bem como, novos produtos de reanálise e incluir uma série temporal maior.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, L. J. G. ET AL. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica em áreas de floresta e de pastagem no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26, 2011. 215-224.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements Rome: FAO. 330 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALTMAN, D. G.; BLAND, J. M. Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies. *The Statistician*, 32, 1983. 307-317.
- APARECIDO, L. E. D. O., ROLIM, G. D. S., MORAES, J. R. D. S. C. D., TORSONI, G. B., MENESES, K. C. D., & COSTA, C. T. S. (2019). Acurácia da Reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua Aplicação na Estimativa da Deficiência Hídrica no Estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(4), 515-528.
- ALVARES, C. A; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. M; SPAROVEK, G. 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, n. 6, 711–728.
- ALVES, J. C. B., MARTINS, L. L., MARTINS, W. A., DE MORAES, J. F. L., & BLAIN, G. C. (2021). Uso de dados meteorológicos de reanálise para a simulação da vazão na bacia hidrográfica do ribeirão do pinhal, limeira/sp. *Caminhos de Geografia*, 22(80), 234-252.
- AMJAD, M., YILMAZ, M. T., YUCEL, I., & YILMAZ, K. K. (2020). Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography. *Journal of Hydrology*, 584, 124707.
- AYOADE, J.O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332p, 1v.
- BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; ARAÚJO, D. V. A.; TIEPPO, R. C.; FENNER, W. 2019. Effects of the ENSO on the Variability of Precipitation and Air Temperature in Agricultural Regions of Mato Grosso State. *Journal of Agricultural Science*; 11 (9). doi:10.5539/jas.v11n9p91.

BECK, H. E., VAN DIJK, A. I., LEVIZZANI, V., SCHELLEKENS, J., MIRALLES, D. G., MARTENS, B., & ROO, A. D. (2017). MSWEP: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979–2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), 589-615.

BIUDES, M.S.; VOURLITIS, G.L.; MACHADO, N.G.; DE ARRUDA, P.H.Z.; NEVES, G.A.R.; DE ALMEIDA LOBO, F.; NEALE, C.M.U.; DE SOUZA NOGUEIRA, J. Patterns of Energy Exchange for Tropical Ecosystems across a Climate Gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 2015, 202, 112–124.

BLOOM, S. C., TAKACS, L. L., DA SILVA, A. M., & LEDVINA, D. (1996). Data assimilation using incremental analysis updates. *Monthly Weather Review*, 124(6), 1256-1271.

CANALES, F. A., JADWISZCZAK, P., JURASZ, J., WDOWIKOWSKI, M., CIAPAŁA, B., & KAŻMIERCZAK, B. (2020). The impact of long-term changes in air temperature on renewable energy in Poland. *Science of the Total Environment*, 729, 138965.

CARVALHO, E.K.M.A; DANTAS, R.T; DE CARVALHO, J.R.M. Análise da influência entre as variáveis meteorológicas e doenças respiratórias na cidade de Campina Grande, PB. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.18, 2016

CHEN, K., WOLF, K., BREITNER, S., GASPARRINI, A., STAFOGGIA, M., SAMOLI, E., ... & UF & HEALTH Study Group. (2018). Modificações do efeito bidirecional da poluição do ar e da temperatura do ar na mortalidade natural e cardiovascular total em oito áreas urbanas europeias. *Environment International*, 116, 186-196.

CHEN, N., LI, R., ZHANG, X., YANG, C., WANG, X., ZENG, L., ... & NIYOGI, D. (2020). Drought propagation in Northern China Plain: A comparative analysis of GLDAS and MERRA-2 datasets. *Journal of Hydrology*, 588, 125026.

CHEN, S., GAN, T. Y., TAN, X., SHAO, D., & ZHU, J. (2019). Assessment of CFSR, ERA-Interim, JRA-55, MERRA-2, NCEP-2 reanalysis data for drought analysis over China. *Climate dynamics*, 53(1), 737-757.

DE SOUZA, A., DOS SANTOS, C.M., IHADDADENE, R. et al. Analysis of extreme monthly and annual air temperatures variability using regression model in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Model. Earth Syst. Environ.* (2021). <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01096-6>.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. (Irrigation and Drainage Paper, 24). 2nd ed. Rome: FAO. 179 p.

EBITA, A., KOBAYASHI, S., OTA, Y., MORIYA, M., KUMABE, R., ONOGI, K., ... & ISHIMIZU, T. (2011). The Japanese 55-year reanalysis “JRA-55”: an interim report. *Sola*, 7, 149-152.

FANTIN, L. H., BRAGA, K., CANTERI, M. G., DIAS, A. R., & BORGES, E. P. (2018). Development and validation of diagrammatic scale to assess target spot severity in cotton. *Australasian Plant Pathology*, 47(5), 491-497.

FOIDL, H., & FELDERER, M. (2019, August). Risk-based data validation in machine learning-based software systems. In *proceedings of the 3rd ACM SIGSOFT international workshop on machine learning techniques for software quality evaluation* (pp. 13-18).

FRANCO, F. Configuração urbana e sua Interferência no microclima local: estudo de caso no bairro do Porto em Cuiabá-MT. Cuiabá. 137p. Tese (Doutorado) Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente)-Universidade de Mato Grosso, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

HERSBACH, H. (2016, December). The ERA5 Atmospheric Reanalysis. In AGU fall meeting abstracts (Vol. 2016, pp. NG33D-01).

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A., MUÑOZ-SABATER, J., ... & THÉPAUT, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.

HIRAKATA, V. N., & CAMEY, S. A. (2009). Análise de concordância entre métodos de Bland-Altman. *Clinical & Biomedical Research*, 29(3).

HOBBS, W. R., KLEKOCIUK, A. R., & PAN, Y. (2020). Validation of reanalysis Southern Ocean atmosphere trends using sea ice data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(23), 14757-14768.

HOUSER, P. R., RODELL, M., JAMBOR, U., GOTTSCHALCK, J., COSGROVE, B., RADAKOVICH, J., ... & MENG, C. J. (2001). The global land data assimilation system. *GEWEX News*, 11(2), 11-13.

HU, G.; ZHAO, L.; WU, X.; LI, R.; WU, T.; SU, Y. HAO, J. Evaluation of reanalysis air temperature products in permafrost regions on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Theor Appl Climatol* 138, 1457–1470 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02888-8>.

HU, G.; ZHAO, L.; WU, X.; WU, T.; LI, R.; XIE, C.; XIAO, Y.; PANG, Q.; LIU, G.; HAO, J.; SHI, J.; QIAO, Y. (2017). A mathematical investigation of the air-ground temperature relationship in permafrost regions on the Tibetan plateau. *Geoderma* 306:244–251.

HUANG, M., PIAO, S., CIAIS, P., PEÑUELAS, J., WANG, X., KEENAN, T. F., ... & JANSSENS, I. A. (2019). Air temperature optima of vegetation productivity across global biomes. *Nature ecology & evolution*, 3(5), 772-779.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>. (accessed 25 September 2019).

JENSEN, M.W.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. et al. Evapotranspiration and irrigation water requirements. 1990. (ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices,70). New York: American Society of Civil Engineers, 329 p.

JI, L., SENAY, G. B., & VERDIN, J. P. (2015). Evaluation of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Air Temperature Data Products, *Journal of Hydrometeorology*, 16(6), 2463-2480. Retrieved May 12, 2021, from https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/16/6/jhm-d-14-0230_1.xml

KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., ... & JOSEPH, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3), 437-472.

KLEIST, D. T., PARRISH, D. F., DERBER, J. C., TREADON, R., WU, W. S., & LORD, S. (2009). Introduction of the GSI into the NCEP global data assimilation system. *Weather and Forecasting*, 24(6), 1691-1705.

KOBAYASHI, S., OTA, Y., HARADA, Y., EBITA, A., MORIYA, M., ONODA, H., ... & TAKAHASHI, K. (2015). The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 93(1), 5-48.

KOSTER, R. D., MCCARTY, W., COY, L., GELARO, R., HUANG, A., MERKOVA, D., ... & WARGAN, K. (2016). MERRA-2 input observations: Summary and assessment.

KRAMER, P.J. & BOYER, Water relations of plants and soils. New York.Ed. MacGraw-Hill, 1995. 482 p

LACERDA, C.F. Relações solo-água-plantas em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco, dez 2007.

LARCHER, W. (2001). *Ökophysiologie der Pflanzen: Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt* ((6. Aufl.)). Ulmer.

LI, M., YAO, J., GUAN, J., & ZHENG, J. (2021). Observed changes in vapor pressure deficit suggest a systematic drying of the atmosphere in Xinjiang of China. *Atmospheric Research*, 248, 105199.

LINDSAY, R., WENSNAHAN, M., SCHWEIGER, A., & ZHANG, J. (2014). Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic. *Journal of Climate*, 27(7), 2588-2606.

LIU, L., GU, H., XIE, J., & XU, Y. P. (2021). How well do the ERA-Interim, ERA-5, GLDAS-2.1 and NCEP-R2 reanalysis datasets represent daily air temperature over the Tibetan Plateau?. *International Journal of Climatology*, 41(2), 1484-1505.

LYRA, G. B.; SANTOS, M. J. S., SOUZA, J. L. S., LYRA, G. B., SANTOS, M. A. 2006. Espacialização da temperatura do ar anual no estado de Alagoas com diferentes

modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. *Ciência Florestal*, v. 15, n. 1/2, p. 45-53.

MACHADO, N. G., SANCHES, L., SILVA, L. B., NOVAIS, J. W. Z., AQUINO, A. M., BIUDES, M. S., PINTO-JUNIOR, O.B. & NOGUEIRA, J. S. (2015). Soil nutrients and vegetation structure in a neotropical seasonal wetland. *Applied ecology and environmental research*, 13(1), 289-305.

MACHADO, N.G., BIUDES, M.S., QUERINO, C.A.S., DANELICHEN, V.H.M., VELASQUE, M.C.S, 2015. Seasonal and interannual pattern of meteorological variables in Cuiabá, Mato Grosso State. Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*. 33, 1-12. <http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v33i3.949>.

MARTELLI FILHO, J. A., MALTAGLIATI, L. Á., TREVISAN, F., & GIL, C. T. L. D. A. (2005). Novo método estatístico para análise da reprodutibilidade. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 10(5), 122-129.

MARTINS, D. S., PAREDES, P., CADIMA, J., PIRES, C. A., & PEREIRA, L. S. (2015). Cálculo da evapotranspiração de referência usando dados climáticos de reanálise. *Predictabilidade Sazonal de Secas*, 57.

MEDEIROS, R. M.; KOZMHINSKY, M; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. 2018. Temperatura média do ar e suas flutuações no Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.2, n.1. 081-093.

MOLOD, A., TAKACS, L., SUAREZ, M., & BACMEISTER, J. (2015). Development of the GEOS-5 atmospheric general circulation model: Evolution from MERRA to MERRA2. *Geoscientific Model Development*, 8(5), 1339-1356.

MOREIRA, A., FONTANA, D. C., KUPLICH, T. M., & CARDOSO, M. A. (2017). Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(6).

MOREIRA, P. S. P., DALLACORT, R., DOS SANTOS GALVANIN, E. A., NEVES, R. J., DE CARVALHO, M. A. C., & BARBIERI, J. D. (2015). Ciclo diário de variáveis meteorológicas nos biomas do estado de Mato Grosso (meteorological

variables daily cycle in Mato Grosso state biomes). *Revista Brasileira de Climatologia*, 17.

NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2016. How to Access TRMM & GPM Precipitation Data. <http://pmm.nasa.gov/data-access>. (accessed 21 August 2019).

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. *AGRONOMICA CERES*. 1981. Citado na página 6.

OSBORN, T. J., JONES, P. D., LISTER, D. H., MORICE, C. P., SIMPSON, I. R., WINN, J. P., ... & HARRIS, I. C. (2021). Land Surface Air Temperature Variations Across the Globe Updated to 2019: The CRUTEM5 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(2), e2019JD032352.

PARKER, W. S. (2016). Reanalyses and Observations: What's the Difference?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(9), 1565-1572. Retrieved May 12, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/97/9/bams-d-14-00226.1.xml>

PAVÃO, V. M., BIUDES, M. S., QUERINO, C. A. S., MACHADO, N. G., PAVÃO, L. L., & DA SILVA, P. C. B. (2018). Surface solar radiation in a tropical area estimated from different models. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; VOURLITIS, G. L.; GELI, H. M. E.; SANTOS, L. O. F.; QUERINO, C. A. S.; IVO, I. O.; NETO, N. L. Assessment of Remote Sensing and Re-Analysis Estimates of Regional Precipitation over Mato Grosso, Brazil. *Water* 2021, 13, 333. <https://doi.org/10.3390/w13030333>.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações*. Guaíba: Agropecuária, 478p. 2002.

PINTO, L. I. C., COSTA, M. H., DINIZ, L. M. F., SEDIYAMA, G. C., & PRUSKI, F. F. (2010). Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(4), 469-478.

R Core Team (2020). R; A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REICHLE, Rolf H. Data assimilation methods in the Earth sciences. *Advances in water resources*, v. 31, n. 11, p. 1411-1418, 2008.

RIENECKER, M. M., SUAREZ, M. J., TODLING, R., BACMEISTER, J., TAKACS, L., LIU, H. C., ... & NIELSEN, J. E. (2008). The GEOS-5 Data Assimilation System: Documentation of Versions 5.0. 1, 5.1. 0, and 5.2. 0.

RIENECKER, M. M., SUAREZ, M. J., GELARO, R., TODLING, R., BACMEISTER, J., LIU, E., ... & WOOLLEN, J. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of climate*, 24(14), 3624-3648.

RODELL, M., HOUSER, P. R., JAMBOR, U. E. A., GOTTSCHALCK, J., MITCHELL, K., MENG, C. J., ... & TOLL, D. (2004). The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), 381-394.

SADLER, E. J.; EVANS, D. E. 1989. Vapor pressure deficit calculations and their effect on the equation combination equation. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 49, n. 1, p.55-80.

SALISBURY, F.B. & C.W. ROSS. *Plant Physiology*. 4^a edição, California. Ed.Wadsworth publishing, 1992. 682 p.

SHERIDAN, S. C., LEE, C. C., & SMITH, E. T. (2020). A comparison between station observations and reanalysis data in the identification of extreme temperature events. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL088120. <https://doi.org/10.1029/2020GL088120>.

SCHOPFHAUSER, M., ASCH, F., & MSC, S. M. (2020). Bachelor Thesis. Influence of salt stress and vapour pressure deficit on the transpiration of Sweet potato varieties. Universität Hohenheim. Institute of agricultural sciences in the tropics (Hans-Ruthenberg-Institute).

SILVA, E., CAMPELO JÚNIOR, J., LOBO, F., & AMORIM, R. (2019). Homogeneity Evaluation of Historical Rainfall and Temperature Series in Mato Grosso. *Journal of Experimental Agriculture International*, 35(3), 1-7. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v35i330205>.

SIMMONS, A. J., WILLETT, K. M., JONES, P. D., THORNE, P. W., & DEE, D. P. (2010). Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D1).

SPEARMAN, C. (1904). " General Intelligence" Objectively Determined and Measured.

SPEARMAN, C. E. The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*, v. 15, p. 72-101, 1904.

TETZNER, D.; THOMAS, E.; ALLEN, C. A Validation of ERA5 Reanalysis Data in the Southern Antarctic Peninsula—Ellsworth Land Region, and Its Implications for Ice Core Studies. *Geosciences* 2019, 9, 289. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070289>

UKHUREBOR, K. E., AZI, S. O., AIGBE, U. O., ONYANCHA, R. B., EMEGHA, J. O. (2020). Analyzing the uncertainties between reanalysis meteorological data and ground measured meteorological data, *Measurement*, v. 165, p. 108110. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108110>.

URBAN, A., DI NAPOLI, C., CLOKE, H. L., KYSELÝ, J., PAPPENBERGER, F., SERA, F., ... & GASPARRINI, A. (2021). Evaluation of the ERA5 reanalysis-based Universal Thermal Climate Index on mortality data in Europe. *Environmental research*, 111227.

VAREJÃO-SILVA, M. Meteorologia e climatologia. Versão digital, v. 2, p. 463, 2006. Citado na página 6.

VIEIRA, E.L; SOUZA, G.S; SANTOS, A.R; SANTOS SILVA, J. Manual de Fisiologia Vegetal. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p

WANG, A., AND ZENG, X. (2012), Evaluation of multireanalysis products with in situ observations over the Tibetan Plateau, *J. Geophys. Res.*, 117, D05102, doi:10.1029/2011JD016553.

WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIS, R.E., FEDDEMA, J.J., KLINK, K.M., LEGATES, D.R., O'DONNELL, J., ROWE, C.M., 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*. 90, 8995-9005. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>.

ZHANG, S., CHENG, Y., FANG, Z., HUAN, C., & LIN, Z. (2017). Otimização da temperatura do ar em ambientes com ventilação estrato para conforto térmico e economia de energia. *Energia Aplicada*, 204, 420-431.

ZHOU, C., & WANG, K. (2016). Land surface temperature over global deserts: Means, variability, and trends. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(24), 14-344.

ZHOU, L.; DU, Z. (2016). Regional differences in the surface energy budget over China: an evaluation of a selection of CMIP5 models. *Theor Appl Climatol* 124(1–2):241–266.

8. ANEXO

TABELA 15 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (IC) de temperatura do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos GLDAS, MERRA-2, ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Produtos	Média $\pm$ IC (°C dia⁻¹)	Média $\pm$ IC (°C mês⁻¹)	Média $\pm$ IC (°C ano⁻¹)
Medido	25.26 $\pm$ 0.02	25.29 $\pm$ 0.07	25.27 $\pm$ 0.13
GLDAS	25.03 $\pm$ 0.02	25.06 $\pm$ 0.09	25.06 $\pm$ 0.15
MERRA-2	25.65 $\pm$ 0.02	25.67 $\pm$ 0.10	25.67 $\pm$ 0.15
ERA-5	25.64 $\pm$ 0.02	25.57 $\pm$ 0.07	25.60 $\pm$ 0.11
NCEP/NCAR	24.52 $\pm$ 0.02	26.89 $\pm$ 0.08	26.93 $\pm$ 0.05
JRA-55	26.90 $\pm$ 0.02	26.91 $\pm$ 0.08	26.94 $\pm$ 0.11

TABELA 16 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (IC) de umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Produtos	Média $\pm$ IC (% dia⁻¹)	Média $\pm$ IC (% mês⁻¹)	Média $\pm$ IC (% ano⁻¹)
Medido	73.57 $\pm$ 0.13	73.58 $\pm$ 0.56	73.89 $\pm$ 1.06
ERA-5	72.17 $\pm$ 0.15	72.42 $\pm$ 0.7	72.12 $\pm$ 0.66
NCEP/NCAR	78.16 $\pm$ 0.2	78.44 $\pm$ 0.96	77.92 $\pm$ 0.6
JRA-55	69.12 $\pm$ 0.17	69.34 $\pm$ 0.74	69.03 $\pm$ 1.03

TABELA 17 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (IC) do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Produtos	Média $\pm$ IC (kPa dia⁻¹)	Média $\pm$ IC (kPa mês⁻¹)	Média $\pm$ IC (kPa ano⁻¹)
Medido	0.88 $\pm$ 0.00	0.86 $\pm$ 0.02	0.84 $\pm$ 0.04
ERA-5	0.94 $\pm$ 0.01	0.93 $\pm$ 0.03	0.92 $\pm$ 0.02
NCEP/NCAR	0.73 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.04	0.79 $\pm$ 0.02
JRA-55	1.17 $\pm$ 0.01	1.13 $\pm$ 0.03	1.11 $\pm$ 0.04

TABELA 18 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto GLDAS para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measured	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	24.9 $\pm$ 0.0	25.8 $\pm$ 0.1	1.2	1.7	0.7	0.7	0.5
	CAS	26.1 $\pm$ 0.1	25.4 $\pm$ 0.1	1.4	1.6	0.9	0.8	0.9
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	22.7 $\pm$ 0.1	1.1	1.4	0.9	0.8	0.8
	CBA	26.5 $\pm$ 0.1	26.3 $\pm$ 0.1	1.3	1.6	0.9	0.8	0.8
	COT	25.1 $\pm$ 0.0	26.0 $\pm$ 0.1	1.3	1.7	0.7	0.7	0.5
	GTN	25.5 $\pm$ 0.0	24.3 $\pm$ 0.1	1.5	1.8	0.7	0.6	0.5
	JUA	25.7 $\pm$ 0.1	25.1 $\pm$ 0.1	1.2	1.5	0.8	0.7	0.7
	JUI	24.8 $\pm$ 0.1	25.7 $\pm$ 0.1	1.2	1.6	0.8	0.7	0.6
	RON	25.4 $\pm$ 0.1	24.8 $\pm$ 0.1	1.3	1.6	0.9	0.8	0.8
	SIN	25.4 $\pm$ 0.1	24.3 $\pm$ 0.1	1.4	1.7	0.8	0.7	0.6
	SRO	25.8 $\pm$ 0.1	25.1 $\pm$ 0.1	1.2	1.5	0.8	0.8	0.7
	TGA	24.7 $\pm$ 0.1	25.1 $\pm$ 0.1	1.2	1.7	0.9	0.8	0.8
Monthly	ALF	24.9 $\pm$ 0.1	25.9 $\pm$ 0.3	1.1	1.6	0.6	0.8	0.4
	CAS	26.2 $\pm$ 0.4	25.4 $\pm$ 0.5	1.2	1.4	0.9	0.8	0.8
	CAV	23.3 $\pm$ 0.2	22.8 $\pm$ 0.3	1.0	1.3	0.8	0.8	0.7
	CBA	26.5 $\pm$ 0.2	26.3 $\pm$ 0.3	1.0	1.3	0.9	0.7	0.7
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	26.0 $\pm$ 0.3	1.0	1.3	0.7	0.8	0.5
	GTN	25.5 $\pm$ 0.1	24.3 $\pm$ 0.2	1.3	1.5	0.6	0.7	0.4
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	25.1 $\pm$ 0.3	1.1	1.3	0.8	0.8	0.6
	JUI	24.9 $\pm$ 0.2	25.8 $\pm$ 0.3	1.1	1.4	0.7	0.8	0.5
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	24.8 $\pm$ 0.3	1.1	1.2	0.9	0.9	0.8
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	24.3 $\pm$ 0.2	1.2	1.4	0.7	0.8	0.6
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	25.1 $\pm$ 0.2	0.9	1.1	0.8	0.8	0.7
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	25.0 $\pm$ 0.3	0.9	1.3	0.8	0.8	0.7
Annual	ALF	24.9 $\pm$ 0.2	25.8 $\pm$ 0.3	0.9	1.0	0.4	0.8	0.2
	CAS	26.3 $\pm$ 0.4	25.6 $\pm$ 0.5	0.7	0.9	0.6	0.6	0.5
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	22.9 $\pm$ 0.3	0.6	0.7	0.4	0.4	0.2
	CBA	26.6 $\pm$ 0.3	26.3 $\pm$ 0.3	0.6	0.7	0.6	0.4	0.3
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	25.9 $\pm$ 0.2	0.8	0.8	0.4	0.8	0.2
	GTN	25.5 $\pm$ 0.2	24.3 $\pm$ 0.2	1.1	1.2	0.3	0.3	0.0
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	25.1 $\pm$ 0.2	0.6	0.7	0.4	0.6	0.2
	JUI	24.8 $\pm$ 0.2	25.7 $\pm$ 0.2	1.0	1.0	0.4	0.4	0.1
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	24.8 $\pm$ 0.2	0.7	0.8	0.4	0.1	0.0
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	24.3 $\pm$ 0.2	1.1	1.2	0.3	0.3	0.1
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	25.1 $\pm$ 0.2	0.7	0.8	0.4	0.5	0.2
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	25.1 $\pm$ 0.3	0.7	0.9	0.4	0.1	0.1

TABELA 19 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto MERRA-2 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measured	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	24.9 $\pm$ 0.0	25.9 $\pm$ 0.1	1.4	2.1	0.6	0.5	0.4
	CAS	26.1 $\pm$ 0.1	27.4 $\pm$ 0.1	1.7	2.1	0.9	0.8	0.7
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	23.7 $\pm$ 0.1	1.3	1.6	0.9	0.7	0.7
	CBA	26.5 $\pm$ 0.1	26.5 $\pm$ 0.1	1.2	1.7	0.9	0.8	0.8
	COT	25.1 $\pm$ 0.0	25.9 $\pm$ 0.1	1.2	1.7	0.7	0.7	0.5
	GTN	25.5 $\pm$ 0.0	25.3 $\pm$ 0.1	1.4	1.7	0.7	0.6	0.5
	JUA	25.7 $\pm$ 0.1	25.3 $\pm$ 0.1	1.2	1.5	0.8	0.7	0.7
	JUI	24.8 $\pm$ 0.1	25.6 $\pm$ 0.1	1.2	1.7	0.8	0.7	0.6
	RON	25.4 $\pm$ 0.1	26.1 $\pm$ 0.1	1.2	1.6	0.9	0.8	0.8
	SIN	25.4 $\pm$ 0.1	25.6 $\pm$ 0.1	1.2	1.6	0.8	0.7	0.7
	SRO	25.8 $\pm$ 0.1	25.5 $\pm$ 0.1	1.2	1.6	0.8	0.7	0.7
	TGA	24.7 $\pm$ 0.1	25.6 $\pm$ 0.1	1.4	1.8	0.9	0.7	0.8
Monthly	ALF	24.9 $\pm$ 0.1	26.0 $\pm$ 0.4	1.3	2.1	0.5	0.6	0.3
	CAS	26.2 $\pm$ 0.4	27.5 $\pm$ 0.4	1.5	1.8	0.8	0.8	0.6
	CAV	23.3 $\pm$ 0.2	23.7 $\pm$ 0.3	1.1	1.4	0.8	0.8	0.6
	CBA	26.5 $\pm$ 0.2	26.5 $\pm$ 0.3	0.9	1.2	0.9	0.8	0.8
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	25.9 $\pm$ 0.3	0.9	1.5	0.7	0.8	0.5
	GTN	25.5 $\pm$ 0.1	25.3 $\pm$ 0.3	1.2	1.4	0.7	0.7	0.5
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	25.3 $\pm$ 0.3	1.1	1.2	0.8	0.8	0.6
	JUI	24.9 $\pm$ 0.2	25.7 $\pm$ 0.3	1.0	1.5	0.7	0.7	0.5
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	26.2 $\pm$ 0.3	0.9	1.2	0.9	0.9	0.8
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	25.6 $\pm$ 0.3	0.9	1.2	0.8	0.8	0.7
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	25.5 $\pm$ 0.3	1.0	1.2	0.8	0.8	0.7
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	25.5 $\pm$ 0.3	1.1	1.4	0.8	0.8	0.7
Annual	ALF	24.9 $\pm$ 0.2	26.1 $\pm$ 0.3	1.2	1.3	0.3	0.8	0.1
	CAS	26.3 $\pm$ 0.4	27.6 $\pm$ 0.6	1.3	1.4	0.5	0.4	0.2
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	23.8 $\pm$ 0.3	0.6	0.8	0.4	0.4	0.2
	CBA	26.6 $\pm$ 0.3	26.5 $\pm$ 0.3	0.6	0.7	0.5	0.2	0.2
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	25.8 $\pm$ 0.4	0.7	0.9	0.5	0.8	0.3
	GTN	25.5 $\pm$ 0.2	25.3 $\pm$ 0.3	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	25.3 $\pm$ 0.3	0.5	0.5	0.7	0.8	0.5
	JUI	24.8 $\pm$ 0.2	25.6 $\pm$ 0.3	0.9	1.0	0.4	0.7	0.2
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	26.1 $\pm$ 0.3	0.8	1.0	0.3	0.1	0.1
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	25.5 $\pm$ 0.4	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	25.5 $\pm$ 0.4	0.6	0.7	0.6	0.7	0.4
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	25.6 $\pm$ 0.3	1.0	1.1	0.3	0.1	0.1

TABELA 20 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto ERA-5 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measured	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	24.9 $\pm$ 0.0	25.8 $\pm$ 0.0	1.1	1.5	0.6	0.5	0.4
	CAS	26.1 $\pm$ 0.1	25.7 $\pm$ 0.1	0.7	0.9	1.0	0.9	1.0
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	24.1 $\pm$ 0.1	1.0	1.2	0.9	0.8	0.8
	CBA	26.5 $\pm$ 0.1	26.2 $\pm$ 0.1	0.7	0.9	1.0	0.9	0.9
	COT	25.1 $\pm$ 0.0	26.1 $\pm$ 0.0	1.2	1.5	0.7	0.7	0.5
	GTN	25.5 $\pm$ 0.0	25.0 $\pm$ 0.0	0.9	1.1	0.8	0.7	0.6
	JUA	25.7 $\pm$ 0.1	26.2 $\pm$ 0.1	0.9	1.1	0.9	0.8	0.8
	JUI	24.8 $\pm$ 0.1	25.6 $\pm$ 0.1	0.9	1.2	0.8	0.8	0.7
	RON	25.4 $\pm$ 0.1	26.1 $\pm$ 0.1	0.9	1.1	0.9	0.9	0.9
	SIN	25.4 $\pm$ 0.1	25.5 $\pm$ 0.1	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8
	SRO	25.8 $\pm$ 0.1	25.5 $\pm$ 0.0	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
	TGA	24.7 $\pm$ 0.1	25.7 $\pm$ 0.1	1.2	1.4	0.9	0.9	0.9
Monthly	ALF	24.9 $\pm$ 0.1	25.7 $\pm$ 0.2	1.1	1.5	0.5	0.3	0.2
	CAS	26.2 $\pm$ 0.4	24.9 $\pm$ 0.3	1.3	1.4	0.9	0.9	0.7
	CAV	23.3 $\pm$ 0.2	23.9 $\pm$ 0.2	0.7	1.0	0.8	0.9	0.7
	CBA	26.5 $\pm$ 0.2	26.3 $\pm$ 0.2	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	26.1 $\pm$ 0.2	1.1	1.5	0.6	0.5	0.3
	GTN	25.5 $\pm$ 0.1	25.1 $\pm$ 0.2	1.0	1.1	0.7	0.6	0.5
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	26.3 $\pm$ 0.3	0.9	1.2	0.7	0.6	0.6
	JUI	24.9 $\pm$ 0.2	25.6 $\pm$ 0.2	0.9	1.2	0.7	0.6	0.5
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	26.3 $\pm$ 0.2	1.0	1.1	0.9	0.9	0.8
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	25.4 $\pm$ 0.2	0.5	0.6	0.9	0.8	0.9
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	25.4 $\pm$ 0.2	0.6	0.7	0.9	0.8	0.8
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	25.5 $\pm$ 0.2	0.9	1.0	0.9	0.9	0.7
Annual	ALF	24.9 $\pm$ 0.2	25.7 $\pm$ 0.2	0.8	0.8	0.4	0.9	0.2
	CAS	26.3 $\pm$ 0.4	25.0 $\pm$ 0.3	1.3	1.3	0.5	0.8	0.2
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	23.9 $\pm$ 0.2	0.6	0.7	0.4	0.5	0.1
	CBA	26.6 $\pm$ 0.3	26.3 $\pm$ 0.2	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	26.1 $\pm$ 0.2	1.0	1.0	0.3	0.5	0.1
	GTN	25.5 $\pm$ 0.2	25.2 $\pm$ 0.2	0.4	0.4	0.6	0.5	0.4
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	26.3 $\pm$ 0.2	0.6	0.7	0.5	0.7	0.2
	JUI	24.8 $\pm$ 0.2	25.6 $\pm$ 0.2	0.9	0.9	0.4	0.5	0.1
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	26.4 $\pm$ 0.2	0.9	1.0	0.4	0.4	0.1
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	25.4 $\pm$ 0.2	0.3	0.4	0.7	0.4	0.4
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	25.4 $\pm$ 0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.4
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	25.5 $\pm$ 0.1	0.9	0.9	0.5	0.6	0.2

TABELA 21 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measured	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	24.9 $\pm$ 0.0	24.8 $\pm$ 0.1	1.4	1.8	0.4	0.2	0.1
	CAS	26.1 $\pm$ 0.1	24.9 $\pm$ 0.1	1.8	2.1	0.9	0.7	0.8
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	24.1 $\pm$ 0.1	1.3	1.7	0.8	0.7	0.7
	CBA	26.5 $\pm$ 0.1	25.1 $\pm$ 0.1	1.9	2.3	0.8	0.7	0.7
	COT	25.1 $\pm$ 0.0	24.9 $\pm$ 0.1	1.4	1.7	0.6	0.5	0.4
	GTN	25.5 $\pm$ 0.0	24.9 $\pm$ 0.1	1.9	2.2	0.6	0.4	0.3
	JUA	25.7 $\pm$ 0.1	24.8 $\pm$ 0.1	1.6	1.9	0.7	0.5	0.4
	JUI	24.8 $\pm$ 0.1	24.7 $\pm$ 0.1	1.2	1.6	0.7	0.5	0.5
	RON	25.4 $\pm$ 0.1	24.1 $\pm$ 0.1	1.8	2.2	0.8	0.7	0.6
	SIN	25.4 $\pm$ 0.1	24.3 $\pm$ 0.1	1.7	2.0	0.7	0.6	0.5
	SRO	25.8 $\pm$ 0.1	24.3 $\pm$ 0.1	2.0	2.3	0.7	0.6	0.5
	TGA	24.7 $\pm$ 0.1	24.7 $\pm$ 0.1	1.3	1.7	0.9	0.7	0.8
Monthly	ALF	24.9 $\pm$ 0.1	26.8 $\pm$ 0.3	1.9	2.5	0.4	0.3	0.1
	CAS	26.2 $\pm$ 0.4	26.7 $\pm$ 0.3	1.1	1.5	0.8	0.7	0.6
	CAV	23.3 $\pm$ 0.2	27.0 $\pm$ 0.3	3.8	3.9	0.4	0.8	0.2
	CBA	26.5 $\pm$ 0.2	27.1 $\pm$ 0.2	1.1	1.5	0.8	0.7	0.6
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	26.8 $\pm$ 0.2	1.7	2.2	0.4	0.4	0.2
	GTN	25.5 $\pm$ 0.1	26.8 $\pm$ 0.3	1.4	1.9	0.5	0.5	0.3
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	26.8 $\pm$ 0.2	1.2	1.7	0.6	0.5	0.3
	JUI	24.9 $\pm$ 0.2	26.8 $\pm$ 0.2	1.9	2.3	0.5	0.4	0.2
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	26.6 $\pm$ 0.3	1.2	1.4	0.8	0.9	0.7
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	27.2 $\pm$ 0.3	1.8	2.0	0.6	0.8	0.4
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	27.2 $\pm$ 0.3	1.5	1.9	0.7	0.7	0.5
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	26.7 $\pm$ 0.3	2.0	2.2	0.6	0.8	0.4
Annual	ALF	24.9 $\pm$ 0.2	26.9 $\pm$ 0.2	2.0	2.1	0.2	0.5	0.0
	CAS	26.3 $\pm$ 0.4	26.7 $\pm$ 0.2	0.6	0.6	0.7	0.8	0.4
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	27.1 $\pm$ 0.2	3.9	3.9	0.1	0.8	0.0
	CBA	26.6 $\pm$ 0.3	27.1 $\pm$ 0.1	0.7	0.7	0.5	0.6	0.2
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	26.8 $\pm$ 0.1	1.8	1.8	0.2	0.1	0.0
	GTN	25.5 $\pm$ 0.2	26.9 $\pm$ 0.1	1.5	1.5	0.3	0.5	0.0
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	26.9 $\pm$ 0.1	1.2	1.3	0.3	0.5	0.0
	JUI	24.8 $\pm$ 0.2	26.9 $\pm$ 0.1	2.1	2.1	0.2	0.3	0.0
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	26.5 $\pm$ 0.1	1.1	1.2	0.4	0.6	0.1
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	27.3 $\pm$ 0.1	1.8	1.9	0.3	0.2	0.0
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	27.3 $\pm$ 0.1	1.5	1.5	0.3	0.5	0.1
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	26.6 $\pm$ 0.1	2.0	2.0	0.3	0.4	0.0

TABELA 22 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; °C), erro médio absoluto (MAE; °C), raiz do erro quadrático médio (RMSE; °C), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto JRA-55 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measured	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	24.9 $\pm$ 0.0	26.5 $\pm$ 0.1	1.7	2.2	0.5	0.4	0.3
	CAS	26.1 $\pm$ 0.1	26.4 $\pm$ 0.1	1.2	1.5	0.9	0.8	0.9
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	27.4 $\pm$ 0.1	4.1	4.3	0.5	0.8	0.3
	CBA	26.5 $\pm$ 0.1	27.7 $\pm$ 0.1	1.6	2.0	0.9	0.8	0.8
	COT	25.1 $\pm$ 0.0	26.0 $\pm$ 0.1	1.2	1.5	0.7	0.6	0.5
	GTN	25.5 $\pm$ 0.0	26.7 $\pm$ 0.1	1.4	2.0	0.6	0.6	0.4
	JUA	25.7 $\pm$ 0.1	26.3 $\pm$ 0.1	1.1	1.5	0.8	0.7	0.7
	JUI	24.8 $\pm$ 0.1	26.0 $\pm$ 0.1	1.4	1.8	0.7	0.7	0.6
	RON	25.4 $\pm$ 0.1	27.9 $\pm$ 0.1	2.6	3.1	0.7	0.6	0.5
	SIN	25.4 $\pm$ 0.1	26.8 $\pm$ 0.1	1.6	2.1	0.7	0.7	0.6
	SRO	25.8 $\pm$ 0.1	27.0 $\pm$ 0.1	1.4	2.0	0.8	0.7	0.6
	TGA	24.7 $\pm$ 0.1	27.2 $\pm$ 0.1	2.6	2.9	0.8	0.8	0.6
Monthly	ALF	24.9 $\pm$ 0.1	26.5 $\pm$ 0.2	1.6	2.0	0.4	0.4	0.1
	CAS	26.2 $\pm$ 0.4	26.4 $\pm$ 0.4	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
	CAV	23.3 $\pm$ 0.2	27.4 $\pm$ 0.2	4.2	4.3	0.4	0.7	0.1
	CBA	26.5 $\pm$ 0.2	27.8 $\pm$ 0.2	1.3	1.7	0.7	0.7	0.5
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	25.9 $\pm$ 0.2	0.9	1.1	0.6	0.6	0.4
	GTN	25.5 $\pm$ 0.1	26.7 $\pm$ 0.2	1.2	1.6	0.6	0.7	0.4
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	26.3 $\pm$ 0.2	0.8	1.2	0.7	0.7	0.6
	JUI	24.9 $\pm$ 0.2	26.1 $\pm$ 0.2	1.2	1.5	0.6	0.7	0.4
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	27.9 $\pm$ 0.2	2.5	2.8	0.6	0.6	0.3
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	26.8 $\pm$ 0.3	1.4	1.8	0.7	0.9	0.5
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	27.0 $\pm$ 0.3	1.2	1.7	0.7	0.8	0.5
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	27.2 $\pm$ 0.2	2.5	2.6	0.6	0.9	0.3
Annual	ALF	24.9 $\pm$ 0.2	26.5 $\pm$ 0.2	1.6	1.6	0.2	0.7	0.0
	CAS	26.3 $\pm$ 0.4	26.5 $\pm$ 0.4	0.3	0.4	0.9	0.7	0.8
	CAV	23.3 $\pm$ 0.1	27.6 $\pm$ 0.2	4.3	4.3	0.1	0.7	0.0
	CBA	26.6 $\pm$ 0.3	27.8 $\pm$ 0.2	1.2	1.3	0.4	0.3	0.1
	COT	25.1 $\pm$ 0.1	26.0 $\pm$ 0.2	0.9	0.9	0.3	0.2	0.1
	GTN	25.5 $\pm$ 0.2	26.7 $\pm$ 0.2	1.3	1.4	0.3	0.4	0.1
	JUA	25.7 $\pm$ 0.2	26.4 $\pm$ 0.2	0.7	0.8	0.4	0.5	0.2
	JUI	24.8 $\pm$ 0.2	26.1 $\pm$ 0.2	1.4	1.4	0.3	0.3	0.0
	RON	25.4 $\pm$ 0.2	27.9 $\pm$ 0.2	2.5	2.6	0.2	0.5	0.0
	SIN	25.4 $\pm$ 0.2	26.9 $\pm$ 0.3	1.4	1.5	0.3	0.1	0.0
	SRO	25.8 $\pm$ 0.2	27.0 $\pm$ 0.2	1.2	1.3	0.3	0.2	0.1
	TGA	24.7 $\pm$ 0.2	27.2 $\pm$ 0.2	2.5	2.6	0.2	0.2	0.0

TABELA 23 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; %), erro médio absoluto (MAE; %), raiz do erro quadrático médio (RMSE; %), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto ERA-5 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measure d	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	80.5 $\pm$ 0.3	77.2 $\pm$ 0.6	7.0	9.8	0.8	0.9	0.7
	CAS	73.2 $\pm$ 0.5	72.3 $\pm$ 0.6	5.2	6.5	0.9	0.9	0.9
	CAV	72.7 $\pm$ 0.5	70.2 $\pm$ 0.5	4.5	5.9	1.0	0.9	0.9
	CBA	67.8 $\pm$ 0.4	69.2 $\pm$ 0.4	5.2	6.5	0.9	0.9	0.9
	COT	79.9 $\pm$ 0.3	77.4 $\pm$ 0.6	7.6	10.1	0.9	0.9	0.7
	GTN	78.2 $\pm$ 0.3	75.1 $\pm$ 0.5	7.6	9.9	0.9	0.9	0.8
	JUA	75.5 $\pm$ 0.4	70.0 $\pm$ 0.6	7.1	9.6	0.9	0.9	0.8
	JUI	77.2 $\pm$ 0.4	77.6 $\pm$ 0.6	6.0	7.4	0.9	0.9	0.9
	RON	70.3 $\pm$ 0.4	65.4 $\pm$ 0.4	6.4	8.3	0.9	0.9	0.9
	SIN	72.4 $\pm$ 0.5	74.4 $\pm$ 0.6	5.2	6.3	1.0	0.9	0.9
	SRO	69.0 $\pm$ 0.4	73.2 $\pm$ 0.5	6.4	7.6	0.9	0.9	0.9
	TGA	71.8 $\pm$ 0.5	68.8 $\pm$ 0.4	4.6	5.9	1.0	0.9	0.9
Monthly	ALF	80.3 $\pm$ 1.3	77.1 $\pm$ 2.7	6.5	9.1	0.8	0.9	0.7
	CAS	72.9 $\pm$ 2.2	73.6 $\pm$ 2.6	3.7	4.6	1.0	0.9	0.9
	CAV	72.6 $\pm$ 2.3	70.5 $\pm$ 2.2	3.2	5.5	1.0	0.9	0.9
	CBA	67.9 $\pm$ 1.5	69.4 $\pm$ 1.7	4.6	5.4	0.9	0.9	0.9
	COT	80.1 $\pm$ 1.4	78.3 $\pm$ 2.5	6.1	8.3	0.9	0.9	0.8
	GTN	78.3 $\pm$ 1.3	76.1 $\pm$ 2.5	6.5	8.1	0.9	1.0	0.8
	JUA	74.4 $\pm$ 2.2	70.3 $\pm$ 2.7	6.8	11.6	0.8	0.9	0.7
	JUI	77.0 $\pm$ 1.8	77.2 $\pm$ 2.6	5.1	5.9	0.9	1.0	0.9
	RON	70.2 $\pm$ 1.7	64.7 $\pm$ 2.0	5.8	7.2	0.9	0.9	0.9
	SIN	73.1 $\pm$ 2.3	75.1 $\pm$ 2.7	4.2	4.9	1.0	1.0	0.9
	SRO	69.1 $\pm$ 1.8	72.6 $\pm$ 2.4	5.3	6.0	1.0	1.0	0.9
	TGA	72.2 $\pm$ 1.9	69.3 $\pm$ 1.8	3.5	4.2	1.0	1.0	0.9
Annual	ALF	80.2 $\pm$ 2.3	76.6 $\pm$ 0.9	4.9	5.7	0.5	0.1	0.0
	CAS	73.1 $\pm$ 2.3	73.8 $\pm$ 0.9	1.6	2.5	0.6	0.6	0.4
	CAV	74.1 $\pm$ 2.5	69.3 $\pm$ 1.0	4.8	6.2	0.6	0.7	0.2
	CBA	68.2 $\pm$ 1.7	68.9 $\pm$ 1.0	4.2	4.6	0.2	-0.3	-0.2
	COT	80.2 $\pm$ 1.6	78.6 $\pm$ 0.9	2.5	3.6	0.4	0.2	0.1
	GTN	79.1 $\pm$ 1.6	75.6 $\pm$ 0.9	3.6	4.9	0.5	0.4	0.1
	JUA	70.8 $\pm$ 8.5	70.6 $\pm$ 0.9	8.8	15.6	0.1	0.2	0.0
	JUI	78.2 $\pm$ 1.9	76.4 $\pm$ 1.0	2.8	4.2	0.4	0.2	0.1
	RON	70.7 $\pm$ 2.2	64.1 $\pm$ 0.9	6.9	7.8	0.5	0.3	0.1
	SIN	73.5 $\pm$ 3.2	73.9 $\pm$ 1.0	5.3	6.0	0.3	0.1	0.1
	SRO	69.9 $\pm$ 1.9	72.3 $\pm$ 0.8	4.4	5.0	0.3	0.3	0.0
	TGA	72.1 $\pm$ 2.0	69.5 $\pm$ 1.0	4.0	5.0	0.4	-0.1	0.1

TABELA 24 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; %), erro médio absoluto (MAE; %), raiz do erro quadrático médio (RMSE; %), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measure d	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	80.5 $\pm$ 0.3	81.0 $\pm$ 0.8	12.4	15.0	0.7	0.8	0.6
	CAS	73.2 $\pm$ 0.5	77.9 $\pm$ 1.0	14.2	16.1	0.8	0.7	0.6
	CAV	72.7 $\pm$ 0.5	77.6 $\pm$ 0.7	9.3	11.4	0.9	0.8	0.8
	CBA	67.8 $\pm$ 0.4	74.6 $\pm$ 0.7	14.4	16.4	0.8	0.7	0.7
	COT	79.9 $\pm$ 0.3	81.8 $\pm$ 0.7	11.5	13.8	0.8	0.8	0.6
	GTN	78.2 $\pm$ 0.3	79.8 $\pm$ 0.7	12.6	14.7	0.8	0.8	0.7
	JUA	75.5 $\pm$ 0.4	82.8 $\pm$ 0.7	11.9	13.6	0.8	0.8	0.7
	JUI	77.2 $\pm$ 0.4	83.4 $\pm$ 0.7	11.2	12.5	0.8	0.8	0.7
	RON	70.3 $\pm$ 0.4	76.2 $\pm$ 0.6	11.8	13.5	0.9	0.8	0.7
	SIN	72.4 $\pm$ 0.5	76.8 $\pm$ 0.8	11.1	12.7	0.9	0.9	0.8
	SRO	69.0 $\pm$ 0.4	75.2 $\pm$ 0.7	13.3	14.9	0.9	0.8	0.7
	TGA	71.8 $\pm$ 0.5	75.5 $\pm$ 0.7	11.1	13.0	0.9	0.8	0.8
Monthly	ALF	80.3 $\pm$ 1.3	80.7 $\pm$ 3.7	11.7	13.8	0.8	0.9	0.6
	CAS	72.9 $\pm$ 2.2	78.6 $\pm$ 4.4	12.6	13.9	0.8	0.8	0.6
	CAV	72.6 $\pm$ 2.3	77.1 $\pm$ 3.3	8.6	10.4	0.9	0.9	0.8
	CBA	67.9 $\pm$ 1.5	74.8 $\pm$ 3.0	13.0	14.3	0.8	0.9	0.7
	COT	80.1 $\pm$ 1.4	82.7 $\pm$ 3.0	10.0	11.3	0.8	0.9	0.7
	GTN	78.3 $\pm$ 1.3	80.0 $\pm$ 3.2	11.7	13.0	0.8	0.9	0.7
	JUA	74.4 $\pm$ 2.2	82.8 $\pm$ 3.1	11.8	14.9	0.8	0.9	0.6
	JUI	77.0 $\pm$ 1.8	84.2 $\pm$ 3.0	10.3	11.1	0.8	0.9	0.7
	RON	70.2 $\pm$ 1.7	75.9 $\pm$ 2.8	10.2	11.3	0.9	0.9	0.8
	SIN	73.1 $\pm$ 2.3	77.8 $\pm$ 3.8	10.2	11.0	0.9	0.9	0.8
	SRO	69.1 $\pm$ 1.8	75.1 $\pm$ 3.4	12.2	13.2	0.9	0.9	0.8
	TGA	72.2 $\pm$ 1.9	76.4 $\pm$ 3.1	9.9	11.0	0.9	0.9	0.8
Annual	ALF	80.2 $\pm$ 2.3	79.7 $\pm$ 1.3	2.9	4.0	0.6	0.3	0.3
	CAS	73.1 $\pm$ 2.3	78.8 $\pm$ 1.1	5.7	6.5	0.4	0.2	0.0
	CAV	74.1 $\pm$ 2.5	75.0 $\pm$ 1.4	3.8	5.3	0.3	0.4	0.0
	CBA	68.2 $\pm$ 1.7	74.2 $\pm$ 1.3	6.1	7.9	0.3	-0.4	-0.1
	COT	80.2 $\pm$ 1.6	82.9 $\pm$ 1.2	3.8	4.3	0.4	0.1	0.1
	GTN	79.1 $\pm$ 1.6	79.2 $\pm$ 1.1	3.1	4.1	0.3	0.0	-0.1
	JUA	70.8 $\pm$ 8.5	82.7 $\pm$ 1.2	12.3	19.0	0.4	0.6	0.1
	JUI	78.2 $\pm$ 1.9	82.7 $\pm$ 1.2	5.8	6.3	0.3	0.1	-0.1
	RON	70.7 $\pm$ 2.2	75.1 $\pm$ 1.5	6.4	7.3	0.3	-0.2	-0.1
	SIN	73.5 $\pm$ 3.2	75.8 $\pm$ 1.3	6.8	7.7	0.2	-0.5	-0.3
	SRO	69.9 $\pm$ 1.9	75.1 $\pm$ 1.2	6.5	7.2	0.3	-0.2	-0.1
	TGA	72.1 $\pm$ 2.0	77.1 $\pm$ 1.6	5.6	6.5	0.5	0.1	0.2

TABELA 25 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; %), erro médio absoluto (MAE; %), raiz do erro quadrático médio (RMSE; %), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada pelo produto JRA-55 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measure d	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	80.5 $\pm$ 0.3	75.9 $\pm$ 0.5	6.7	9.4	0.8	0.8	0.7
	CAS	73.2 $\pm$ 0.5	70.4 $\pm$ 0.7	8.3	10.5	0.9	0.8	0.8
	CAV	72.7 $\pm$ 0.5	63.2 $\pm$ 0.6	9.9	11.7	0.9	0.9	0.8
	CBA	67.8 $\pm$ 0.4	62.5 $\pm$ 0.5	9.0	11.6	0.9	0.8	0.8
	COT	79.9 $\pm$ 0.3	78.9 $\pm$ 0.4	5.7	7.5	0.9	0.8	0.8
	GTN	78.2 $\pm$ 0.3	73.5 $\pm$ 0.5	6.9	10.1	0.9	0.8	0.7
	JUA	75.5 $\pm$ 0.4	74.4 $\pm$ 0.6	6.0	8.4	0.9	0.8	0.8
	JUI	77.2 $\pm$ 0.4	76.5 $\pm$ 0.5	5.1	6.8	0.9	0.8	0.9
	RON	70.3 $\pm$ 0.4	58.6 $\pm$ 0.5	12.7	15.9	0.8	0.8	0.6
	SIN	72.4 $\pm$ 0.5	71.5 $\pm$ 0.7	6.0	8.2	0.9	0.9	0.9
	SRO	69.0 $\pm$ 0.4	69.0 $\pm$ 0.6	7.2	9.5	0.9	0.9	0.9
	TGA	71.8 $\pm$ 0.5	64.6 $\pm$ 0.5	8.4	10.8	0.9	0.9	0.8
Monthly	ALF	80.3 $\pm$ 1.3	75.7 $\pm$ 2.3	5.2	7.8	0.9	0.9	0.7
	CAS	72.9 $\pm$ 2.2	70.9 $\pm$ 2.8	5.5	6.8	0.9	0.8	0.8
	CAV	72.6 $\pm$ 2.3	62.8 $\pm$ 2.4	9.8	11.4	0.9	0.9	0.7
	CBA	67.9 $\pm$ 1.5	62.5 $\pm$ 2.1	6.8	9.2	0.9	0.9	0.8
	COT	80.1 $\pm$ 1.4	79.4 $\pm$ 1.8	3.3	4.6	0.9	0.9	0.9
	GTN	78.3 $\pm$ 1.3	73.7 $\pm$ 2.2	4.9	7.8	0.9	0.9	0.8
	JUA	74.4 $\pm$ 2.2	74.4 $\pm$ 2.5	5.0	10.3	0.8	0.9	0.7
	JUI	77.0 $\pm$ 1.8	77.1 $\pm$ 2.1	3.1	4.2	1.0	0.9	0.9
	RON	70.2 $\pm$ 1.7	58.6 $\pm$ 2.3	11.7	13.7	0.8	0.9	0.6
	SIN	73.1 $\pm$ 2.3	72.3 $\pm$ 2.8	3.9	6.3	1.0	0.9	0.9
	SRO	69.1 $\pm$ 1.8	69.0 $\pm$ 2.6	5.2	7.3	0.9	0.9	0.9
	TGA	72.2 $\pm$ 1.9	65.1 $\pm$ 2.1	7.2	8.5	0.9	0.9	0.8
Annual	ALF	80.2 $\pm$ 2.3	75.3 $\pm$ 1.1	5.4	6.4	0.5	0.3	0.1
	CAS	73.1 $\pm$ 2.3	71.1 $\pm$ 1.7	3.5	3.8	0.5	0.4	0.2
	CAV	74.1 $\pm$ 2.5	61.3 $\pm$ 1.2	12.7	13.5	0.4	0.4	0.0
	CBA	68.2 $\pm$ 1.7	61.8 $\pm$ 1.2	6.7	8.3	0.3	-0.5	-0.1
	COT	80.2 $\pm$ 1.6	79.5 $\pm$ 0.8	2.1	3.3	0.4	0.2	0.0
	GTN	79.1 $\pm$ 1.6	72.9 $\pm$ 1.2	6.1	7.4	0.4	0.3	0.0
	JUA	70.8 $\pm$ 8.5	74.4 $\pm$ 1.1	7.5	15.8	0.2	0.5	0.0
	JUI	78.2 $\pm$ 1.9	76.2 $\pm$ 1.1	2.5	4.3	0.5	0.2	0.1
	RON	70.7 $\pm$ 2.2	57.7 $\pm$ 1.0	12.9	13.8	0.3	0.0	0.0
	SIN	73.5 $\pm$ 3.2	70.9 $\pm$ 1.6	5.8	7.6	0.4	-0.2	-0.1
	SRO	69.9 $\pm$ 1.9	68.7 $\pm$ 1.4	3.8	5.7	0.3	-0.1	-0.2
	TGA	72.1 $\pm$ 2.0	65.4 $\pm$ 1.3	6.8	7.9	0.4	0.1	0.1

TABELA 26 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; kPa), erro médio absoluto (MAE; kPa), raiz do erro quadrático médio (RMSE; kPa), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelo produto ERA-5 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measure d	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	0.6 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.3	0.4	0.8	0.9	0.6
	CAS	0.9 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0	0.2	0.3	0.9	0.9	0.9
	CAV	0.8 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	1.0	0.9	0.9
	CBA	1.2 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	0.2	0.3	0.9	0.9	0.9
	COT	0.7 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.3	0.4	0.8	0.9	0.7
	GTN	0.7 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.3	0.4	0.9	0.9	0.7
	JUA	0.8 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	0.3	0.4	0.9	0.9	0.8
	JUI	0.7 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.2	0.3	0.9	0.9	0.8
	RON	1.0 $\pm$ 0.0	1.2 $\pm$ 0.0	0.3	0.3	0.9	0.9	0.8
	SIN	0.9 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	1.0	0.9	0.9
	SRO	1.1 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.3	0.9	0.9	0.9
	TGA	0.9 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	1.0	0.9	0.9
Monthly	ALF	0.6 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.1	0.3	0.4	0.8	0.9	0.6
	CAS	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	0.9	0.8	0.9
	CAV	0.8 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.1	0.2	1.0	0.9	0.9
	CBA	1.1 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	0.9	0.8	0.9
	COT	0.6 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.1	0.3	0.4	0.8	0.9	0.7
	GTN	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.3	0.3	0.9	1.0	0.8
	JUA	0.9 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.6
	JUI	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.2	0.3	0.9	1.0	0.8
	RON	1.0 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	0.3	0.3	0.9	0.9	0.8
	SIN	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	1.0	1.0	0.9
	SRO	1.0 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	1.0	1.0	0.9
	TGA	0.9 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	1.0	0.9	0.9
Annual	ALF	0.6 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.4	0.0	0.0
	CAS	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.0	0.1	0.1	0.5	0.4	0.2
	CAV	0.7 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.6	0.6	0.2
	CBA	1.1 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.0	0.1	0.2	0.2	-0.3	-0.1
	COT	0.6 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1
	GTN	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.0	0.1	0.2	0.5	0.4	0.1
	JUA	1.0 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.0	0.3	0.5	0.1	0.4	0.0
	JUI	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.0	0.1	0.2	0.5	0.4	0.1
	RON	1.0 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.0	0.3	0.3	0.4	0.2	0.1
	SIN	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1
	SRO	1.0 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.0
	TGA	0.9 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.5	0.1	0.1

TABELA 27 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; kPa), erro médio absoluto (MAE; kPa), raiz do erro quadrático médio (RMSE; kPa), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelo produto NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measure d	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	0.6 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5
	CAS	0.9 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.0	0.5	0.6	0.8	0.6	0.6
	CAV	0.8 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.0	0.3	0.4	0.9	0.8	0.8
	CBA	1.2 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.0	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7
	COT	0.7 $\pm$ 0.0	0.6 $\pm$ 0.0	0.4	0.6	0.7	0.8	0.5
	GTN	0.7 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.6
	JUA	0.8 $\pm$ 0.0	0.6 $\pm$ 0.0	0.5	0.5	0.8	0.8	0.6
	JUI	0.7 $\pm$ 0.0	0.6 $\pm$ 0.0	0.4	0.5	0.8	0.8	0.7
	RON	1.0 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.4	0.5	0.8	0.7	0.7
	SIN	0.9 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.4	0.5	0.9	0.8	0.8
	SRO	1.1 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.5	0.6	0.8	0.8	0.7
	TGA	0.9 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.4	0.5	0.9	0.8	0.8
Monthly	ALF	0.6 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.2	0.5	0.7	0.6	0.9	0.4
	CAS	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.2	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6
	CAV	0.8 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.4	0.5	0.9	0.9	0.8
	CBA	1.1 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.5	0.6	0.8	0.8	0.6
	COT	0.6 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.1	0.4	0.5	0.7	0.9	0.6
	GTN	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.5	0.6	0.7	0.9	0.6
	JUA	0.9 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.1	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6
	JUI	0.7 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.1	0.4	0.4	0.8	0.9	0.7
	RON	1.0 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.4	0.4	0.9	0.8	0.7
	SIN	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.2	0.4	0.5	0.9	0.9	0.8
	SRO	1.0 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.5	0.6	0.8	0.9	0.7
	TGA	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.4	0.5	0.9	0.9	0.8
Annual	ALF	0.6 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.1	0.1	0.2	0.6	0.2	0.2
	CAS	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.4	0.1	0.0
	CAV	0.7 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	0.0
	CBA	1.1 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.3	0.3	-0.4	-0.1
	COT	0.6 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	0.1
	GTN	0.7 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.0	0.1	0.2	0.4	0.1	-0.1
	JUA	1.0 $\pm$ 0.3	0.6 $\pm$ 0.0	0.4	0.6	0.4	0.6	0.1
	JUI	0.7 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	-0.1
	RON	1.0 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	0.3	-0.2	-0.1
	SIN	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.3	0.2	-0.4	-0.3
	SRO	1.0 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.0	0.2	0.2	0.2	-0.1	-0.1
	TGA	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.1	0.2	0.6	0.1	0.3

TABELA 28 – Médias $\pm$ Intervalo de Confiança (CI; kPa), erro médio absoluto (MAE; kPa), raiz do erro quadrático médio (RMSE; kPa), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação de Spearman (r) e coeficiente de concordância de Lin do déficit de pressão de vapor diário, mensal e anual estimado pelo produto JRA-55 para o estado de Mato Grosso, Brasil.

Scale	Station	Measure d	Estimate	MAE	RMSE	d	r	Lin
Daily	ALF	0.6 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.0	0.3	0.5	0.7	0.8	0.5
	CAS	0.9 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	0.4	0.5	0.8	0.8	0.7
	CAV	0.8 $\pm$ 0.0	1.4 $\pm$ 0.0	0.6	0.7	0.8	0.9	0.6
	CBA	1.2 $\pm$ 0.0	1.5 $\pm$ 0.0	0.5	0.6	0.8	0.8	0.7
	COT	0.7 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.0	0.2	0.3	0.8	0.8	0.7
	GTN	0.7 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 0.0	0.3	0.6	0.7	0.8	0.6
	JUA	0.8 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.0	0.3	0.4	0.8	0.8	0.7
	JUI	0.7 $\pm$ 0.0	0.8 $\pm$ 0.0	0.2	0.4	0.9	0.8	0.8
	RON	1.0 $\pm$ 0.0	1.6 $\pm$ 0.0	0.7	0.9	0.7	0.8	0.5
	SIN	0.9 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	0.3	0.5	0.9	0.9	0.8
	SRO	1.1 $\pm$ 0.0	1.2 $\pm$ 0.0	0.4	0.6	0.9	0.9	0.7
	TGA	0.9 $\pm$ 0.0	1.4 $\pm$ 0.0	0.5	0.6	0.8	0.8	0.7
Monthly	ALF	0.6 $\pm$ 0.0	0.9 $\pm$ 0.1	0.3	0.4	0.7	0.9	0.6
	CAS	0.9 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.2	0.3	0.9	0.7	0.8
	CAV	0.8 $\pm$ 0.1	1.4 $\pm$ 0.1	0.6	0.7	0.7	0.9	0.5
	CBA	1.1 $\pm$ 0.1	1.4 $\pm$ 0.1	0.4	0.5	0.8	0.8	0.7
	COT	0.6 $\pm$ 0.0	0.7 $\pm$ 0.1	0.1	0.2	0.9	0.9	0.8
	GTN	0.7 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.6
	JUA	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.4	0.8	0.9	0.7
	JUI	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.1	0.1	0.2	0.9	0.9	0.9
	RON	1.0 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.1	0.6	0.7	0.7	0.8	0.5
	SIN	0.9 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.2	0.4	0.9	0.9	0.8
	SRO	1.0 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	0.3	0.5	0.9	0.9	0.8
	TGA	0.9 $\pm$ 0.1	1.3 $\pm$ 0.1	0.4	0.5	0.8	0.9	0.7
Annual	ALF	0.6 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1
	CAS	0.9 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1
	CAV	0.7 $\pm$ 0.1	1.4 $\pm$ 0.1	0.7	0.7	0.3	0.4	0.0
	CBA	1.1 $\pm$ 0.1	1.4 $\pm$ 0.1	0.3	0.4	0.3	-0.3	-0.1
	COT	0.6 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.0	0.1	0.1	0.4	0.2	0.0
	GTN	0.7 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.3	0.3	0.4	0.3	0.0
	JUA	1.0 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.1	0.3	0.5	0.2	0.5	0.1
	JUI	0.7 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.0	0.1	0.2	0.5	0.3	0.1
	RON	1.0 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.1	0.6	0.7	0.3	0.1	0.0
	SIN	0.9 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.3	0.3	0.4	-0.2	-0.1
	SRO	1.0 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	0.2	0.2	0.3	-0.1	-0.2
	TGA	0.9 $\pm$ 0.1	1.3 $\pm$ 0.1	0.4	0.4	0.3	0.1	0.0

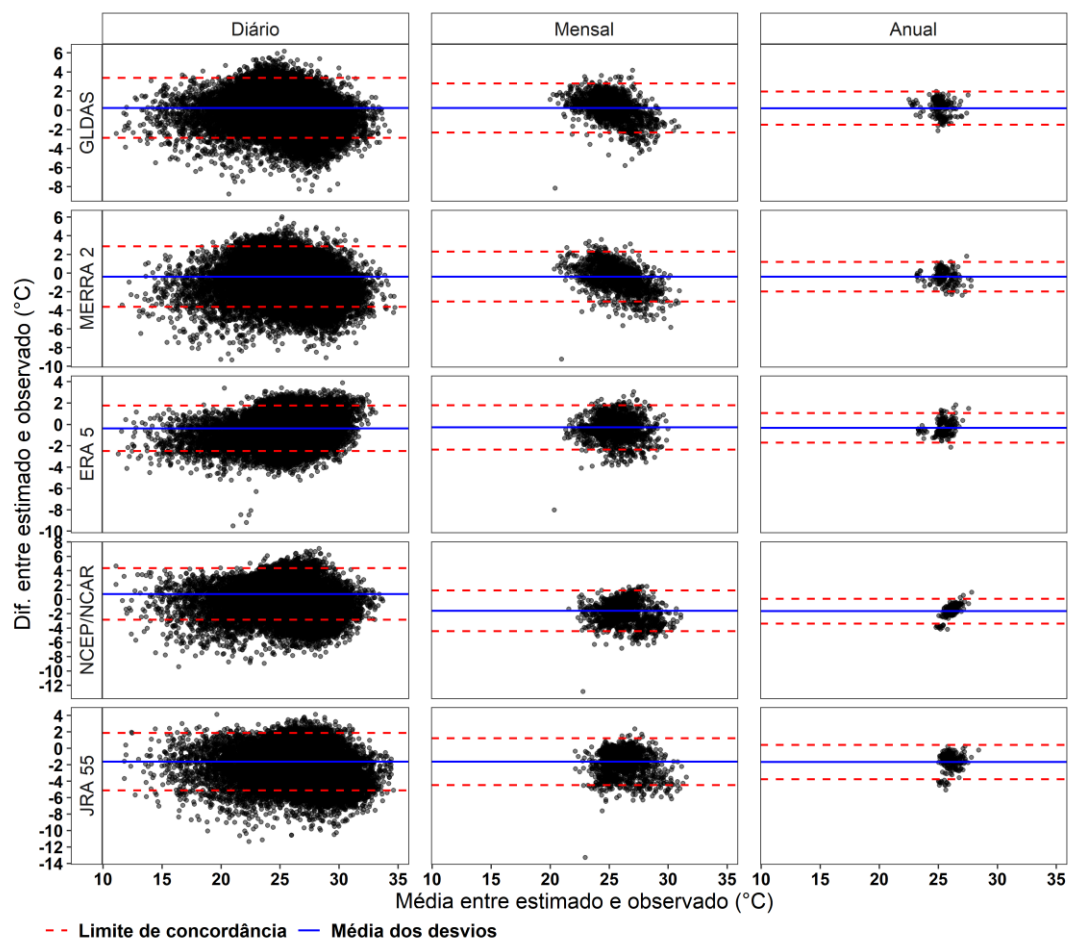


FIGURA 25 - Concordância de Bland-Altman da temperatura do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55, NCEP/NCAR, GLDAS e MERRA-2 em Mato Grosso, Brasil.

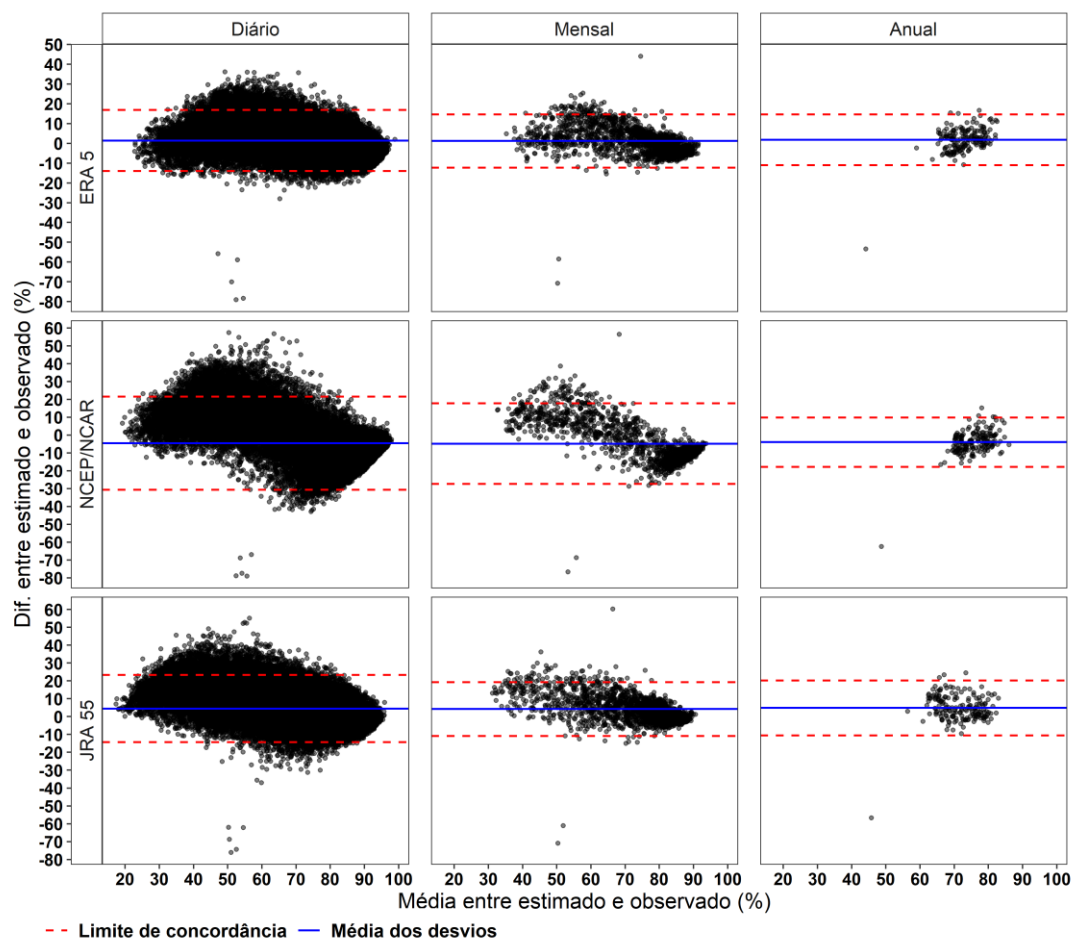


FIGURA 26 - Concordância de Bland-Altman da umidade relativa do ar diária, mensal e anual estimada a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.

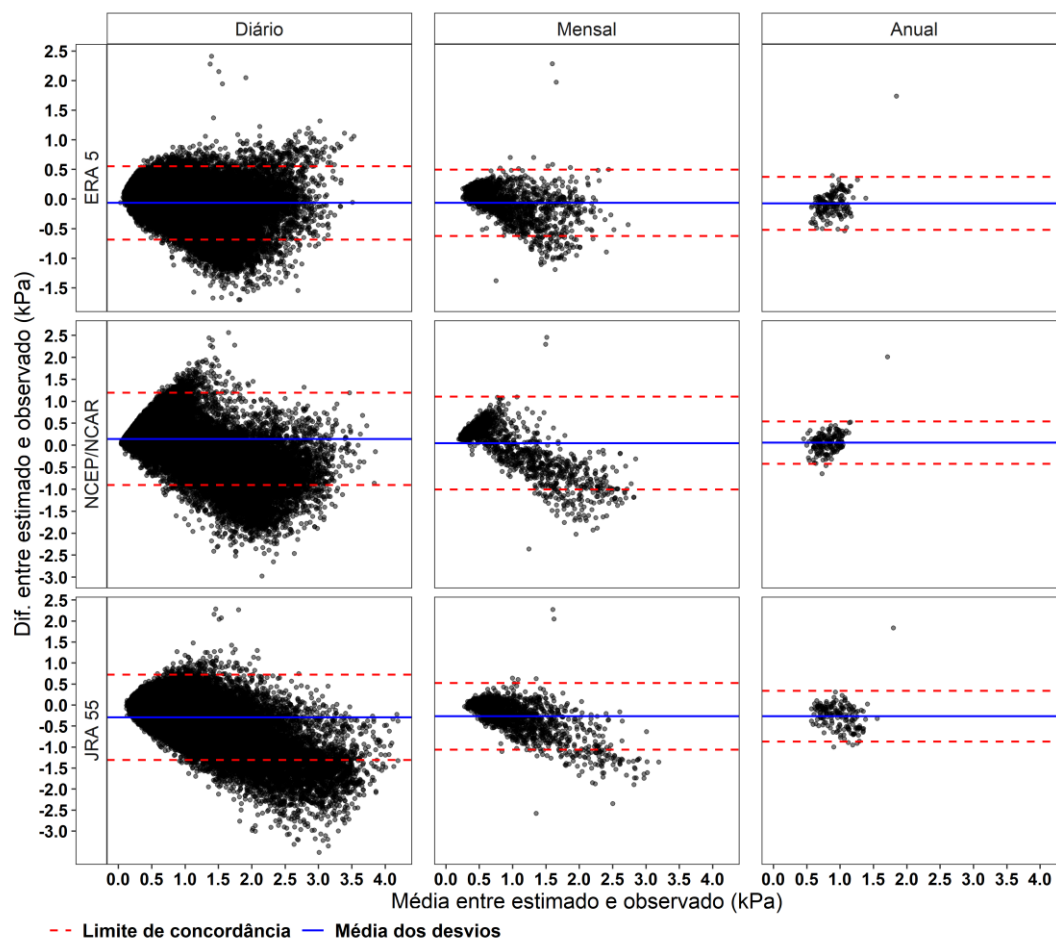


FIGURA 27 - Concordância de Bland-Altman do Déficit de Pressão de Vapor diário, mensal e anual estimado a partir dos produtos ERA-5, JRA-55 e NCEP/NCAR para o estado de Mato Grosso, Brasil.