Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL

Relatório de Projeto – DEA – 1274 / 2021

Cliente: GT-Metodologia/CPAMP

Eletrobras Cepel
A pesquisa que constrói o futuro

Título: Testes Estatísticos para Avaliação de Aderência entre Séries Históricas de Energias Naturais Afluentes ao SIN e Cenários Sintéticos dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A	**Nº de Páginas:** 82 **Nº de Anexos:** 0

Dados do Cliente:
Comissão Permanente Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - GT-Metodologia/CPAMP

Responsável:
Guilherme Matiussi Ramalho

Departamento: Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente - DEA

Centro de Lucro: C230000101 **Centro de Custo:** C203000006

Resumo: Esse relatório apresenta uma extensão da metodologia de verificação de aderência ao histórico utilizada pelo modelo GEVAZP e a sua aplicação para a avaliação do impacto na aderência ao histórico da mudança da modelagem PAR(p) utilizada nos modelos NEWAVE e DECOMP pela modelagem PAR(p)-A. A aplicação foi feita considerando energias naturais afluentes aos 12 REEs do SIN. Os resultados obtidos mostraram que a modelagem PAR(p)-A apresentou melhor aderência às estatísticas de estrutura de autocorrelação e de sequencias negativas, tendo apresentado a mesma aderência que o modelo PAR(p) nas estatísticas de correlações espaciais defasagem 0 e de distribuição marginal de afluências mensais (média, desvio-padrão e estatística KS de igualdade de distribuição)

Autores:
Jorge Machado Damazio – CEPEL
Hugo Santarém de Araújo – CEPEL
Cristiane Barbosa da Cruz Oliveira – CEPEL

Palavras-Chave:
Modelos Estocásticos de Afluências Hidrológicas
Planejamento da operação de longo/médio prazo
Otimização Estocástica
Programação Dinâmica Dual Estocástica

Classificação de acesso: Público

Aprovação e data de emissão	Aprovação e data de emissão
André Luiz Diniz Souto Lima **Chefe do Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente** **Tel.:** 21-2598-6046 **E-mail:** diniz@cepel.br	**Maurício Barreto Lisboa** **Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**

F-CO-005 REV. 2, 04/03/2013

CEPEL

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

PROJETO GEVAZP
PROJETO NEWAVE

Testes Estatísticos para Avaliação de Aderência entre Séries Históricas de Energias Naturais Afluentes ao SIN e Cenários Sintéticos dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A

Maio/2021

SUMÁRIO EXECUTIVO

Esse relatório apresenta uma extensão do conjunto de procedimentos de avaliação de aderência ao histórico utilizados pelo modelo GEVAZP e uma aplicação desta extensão para a avaliação comparativa da modelagem PAR(p) utilizada nos modelos NEWAVE e DECOMP e da sua modificação, modelagem PAR(p)-A.

Motivação: A troca do modelo PAR(p) pelo modelo PAR(p)-A requer verificação do impacto na aderência dos cenários sintéticos de afluência ao histórico.

Objetivos: Descrição de conjuntos de testes estatísticos para avaliação e comparação de aderência ao histórico de cenários sintéticos produzidos por modelos de séries temporais. Descrição da aplicação da metodologia para a avaliação do impacto na aderência ao histórico causada pela troca do modelo PAR(p) pelo modelo PAR(p)-A. A aplicação foi feita considerando energias naturais afluentes aos 12 reservatórios de energia equivalentes (REEs) do SIN.

Metodologia: A partir dos procedimentos de avaliação de aderência ao histórico implementados no modelo GEVAZP, desenvolveu-se uma nova versão, estendida para a avaliação do impacto na aderência ao histórico de mudanças no modelo de série temporal. A extensão buscou implementar testes estatísticos formais para todos os procedimentos de avaliação.

Resultados: Os resultados obtidos na aplicação mostraram que o modelo PAR(p)-A apresentou melhor aderência às estatísticas de estrutura de autocorrelação e de sequencias negativas, tendo alcançado a mesma aderência que o modelo PAR(p) nas médias, desvio padrão e distribuição das afluências mensais e nas estruturas de correlação espacial ou mensal.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 5
2 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA AO HISTÓRICO 6
2.1 Testes para Estatísticas de Calibração 6
2.1.1 Média de Afluências Mensais 6
2.1.2 Desvio Padrão de Afluências Mensais 7
2.2 Testes para Estatísticas de Requisitos do Planejamento 8
2.2.1 Distribuição de Afluências Mensais 8
2.2.2 Autocorrelações de Afluências Mensais 9
2.2.3 Autocorrelações Defasagem Um de Afluências Anuais 10
2.2.4 Correlações Cruzadas de Afluências Mensais 11
2.2.5 Correlações Cruzadas de Afluências Anuais 11
2.2.6 Distribuições de Métricas de Sequências Negativas 12
2.2.7 Variância de Métricas de Sequências Negativas 13
2.2.8 Máximos de Métricas de Sequências Negativas 13
3 APLICAÇÃO 14
3.1 Estatísticas de Calibração 14
3.1.1 Média de Afluências Mensais. Testes de meses 14
3.1.2 Desvio Padrão de Afluências Mensais. Testes de meses 19
3.1.3 Média de Afluências Mensais. Testes de período 24
3.1.4 Desvio Padrão de Afluências Mensais. Testes de período 27
3.2 Estatísticas de Requisitos do Planejamento da Operação do SIN 31
3.2.1 Distribuição de Afluências Mensais. Testes de períodos. 31
3.2.2 Correlogramas de Afluências Mensais. 32
3.2.3 Autocorrelações Defasagem Um de Afluências Anuais. 36
3.2.4 Correlações Espaciais entre Afluências Anuais. 36
3.2.5 Correlações Espaciais entre Afluências Mensais 38
3.2.6 Distribuições de Métricas de Sequências Negativas 48
3.2.7 Variâncias de Métricas de Sequências Negativas 54
3.2.8 Máximos de Métricas de Sequências Negativas 60
4 CONCLUSÕES 63
5 APÊNDICE 64
6 REFERÊNCIAS 82

1 INTRODUÇÃO

A formulação PAR(p)-A para o modelo de geração de cenários de afluências hidrológicas introduz a parcela A_{t-1}, definida pela média das 12 últimas afluências, nas autorregressões um passo à frente do modelo PAR(p). A inclusão desta parcela foi motivada pelas recentes experiências de longa persistência temporal de afluências acima ou abaixo de seus valores médios às bacias brasileiras. Ao adicionar às autorregressões uma única parcela, agregando valores de afluências passadas, buscou-se aumentar a persistência temporal dos cenários hidrológicos gerados minimizando-se o aumento do número de parâmetros de calibração. Com isto, mantém-se a modelagem hidrológica dentro dos princípios norteadores de parcimônia na representação do fenômeno.

Sob o ponto de vista dos modelos de otimização estocástica utilizados nos planejamentos da operação e da expansão do SIN (programas NEWAVE e DECOMP), o uso da modelagem PAR(p)-A envolve esforços adicionais de desenvolvimento matemático e de implementação computacional ligados à redefinição do vetor de estado hidrológico. O que se espera é que estes esforços sejam recompensados por melhoramentos nos planos de operação e expansão do SIN, na medida que os cenários gerados fornecidos pela nova modelagem PAR(p)-A representem com mais realismo as sequências de afluências hidrológicas às quais, no mundo real, o SIN é submetido.

A comparação entre estatísticas calculadas no histórico de afluências e nos cenários de afluências produzidas pelo modelo de séries temporais em uso é um passo importante na avaliação da qualidade do planejamento. Na medida que as estatísticas calculadas nos cenários gerados sejam aderentes[1] às calculadas para a série histórica, melhora-se o realismo e, em consequência, a qualidade do planejamento.

O modelo GEVAZP [1]-[5] incorpora uma metodologia de verificação da qualidade dos cenários produzidos baseada num conjunto de estatísticas, calculadas igualmente para as séries históricas que o alimentam ("estatísticas da *entrada*") e para as séries sintéticas que produz ("estatísticas da saída"). Estas estatísticas são impressas no arquivo Relatório de Acompanhamento do Programa[2]. A metodologia adotada (Penna, Maceira, Damázio, Treistman, & Araújo, 2018) se refere a dois grupos de estatísticas: (i) estatísticas presentes explicitamente na formulação matemática autorregressiva e usadas na calibração do modelo e; (ii) outras estatísticas, incorporadas à análise tendo em vista requisitos da aplicação (planejamentos da operação e expansão do SIN). Em geral, a implementação atual permite a comparação direta entre valores impressos históricos e gerados, deixando para o usuário os cálculos de significância estatística das diferenças. Em alguns casos, apresentam-se os resultados de testes estatísticos formais de igualdade entre valores históricos e gerados.

A seguir, apresenta-se a extensão da metodologia do modelo GEVAZP para avaliação da aderência ao histórico dos cenários de afluência hidrológica produzidos pelo modelo. A extensão foi desenvolvida visando a incorporação de: (i) testes de significância formais das diferenças entre estatísticas históricas e geradas e (ii) avaliação do impacto na aderência ao histórico causada por aprimoramentos no modelo de séries temporais. Apresenta-se como aplicação a avaliação do impacto da incorporação da parcela A_{t-1} na modelagem PAR(p) na geração de cenários de energia natural afluente ao SIN.

[1] Observe-se que a aderência desejada em geral não significa necessariamente coincidência, devendo ser entendida como aderência estatística. Por exemplo, se considerarmos a estatística "menor afluência mensal", não se deseja gerar 2000 cenários com 20 anos de afluências, cada um com mínima afluência mensal coincidente com a mínima afluência observada num registro histórico de 88 anos.

[2] As impressões no relatório Arquivo de Testes se referem às avaliações de cenários para geração de séries sintéticas no formato em árvore, não sendo do interesse para a avaliação de aderência ao histórico. O foco das avaliações impressas neste arquivo se refere às aderências aos momentos condicionados postulados pela modelagem.

2 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA AO HISTÓRICO

A metodologia de avaliação de aderência ao histórico de cenários sintéticos produzidos pelo modelo GEVAZP se apoia em testes estatísticos de verificação de significância nas diferenças entre estatísticas calculadas nas séries temporais de afluências hidrológicas geradas pelo modelo e nas correspondentes séries temporais do registro histórico. As principais características da metodologia são:

- Uso de testes estatísticos para séries temporais de afluências a intervalos mensais e a intervalos anuais.
- Os testes são aplicados individualmente para cada REE ou usina conforme a aplicação do GEVAZP analisada[3].
- Os testes para séries mensais podem ser aplicados individualmente para cada período mensal do horizonte do estudo ou, no caso de estudos com configuração estática, de forma genérica para cada mês do ano.
- De forma semelhante, os testes para séries anuais podem ser aplicados individualmente para cada ano do horizonte do estudo ou, no caso de configuração estática, para anos genéricos.
- As avaliações globais de aderência ao histórico referente a cada estatística são feitas pelo total de rejeições no nível de significância de 5% no conjunto das múltiplas aplicações individuais do teste específico à referida estatística.
- A comparação entre os modelos de séries temporais PAR(p)-A e PAR(p) é feita com base nas razões entre p-valores obtidos nos testes pelos cenários do PAR(p)-A e pelos cenários do PAR(p). Razoes próximas de 1 indicam performances semelhantes nas aderências ao histórico pelos dois modelos. Razões superiores a 1.00 indicam maior aderência ao histórico por cenários do PAR(p)-A e razões menores que 1.00 indicam maior aderência ao histórico por cenários do PAR(p).

A seguir, descrevem-se os testes estatísticos separadamente para as estatísticas usadas na calibração do modelo e para as estatísticas de avaliação relacionadas aos requisitos de planejamento do SIN.

2.1 Testes para Estatísticas de Calibração

No grupo de estatísticas de calibração dos modelos estão médias e desvios padrões mensais das afluências[4]. Como os valores destas estatísticas do histórico são parâmetros explícitos do modelo de séries temporais, as diferenças entre estatísticas histórica e sintética são concebidas como devidas unicamente à amostragem no conjunto de cenários gerados.

2.1.1 Média de Afluências Mensais

A avaliação da aderência de média das afluências mensais geradas se dá para cada REE e cada período ou mês τ. Tomam-se as estimativas históricas para média, $\hat{\mu}_{hist}(\tau)$, e desvio-padrão, $\hat{\sigma}_{hist}(\tau)$, como valores de população. As estimativas de média de afluências mensais geradas são obtidas por:

$$\hat{\mu}_{ger}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ger}} \mathrm{ENA}_i(\tau)}{n_{ger}} \tag{2.1}$$

[3] O GEVAZP pode ser usado para gerar cenários de afluências em representações a sistemas equivalentes ou a usinas individualizadas.

[4] Apesar das autocorrelações históricas de afluências para defasagens menores ou iguais às ordens autorregressivas adotadas serem utilizadas para a calibração dos coeficientes das autorregressões dos modelos (coeficientes φ) através das equações de Yule-Walker, elas foram incluídas no conjunto de estatísticas relacionadas aos requisitos dos planejamentos.

onde

$\mathrm{ENA}_i(\tau)$: uma afluência mensal gerada para o período ou mês τ.

n_{ger}: número de afluências mensais geradas para o período ou mês τ.

O erro padrão de uma estimativa em (2.1) é calculado por:

$$\mathrm{ep}\big(\hat{\mu}_{ger}(\tau)\big) = \frac{\hat{\sigma}_{hist}(\tau)}{\sqrt{n_{ger}}} \tag{2.2}$$

Como métrica de aderência, utiliza-se a diferença entre $\hat{\mu}_{ger}(\tau)$ e $\hat{\mu}_{hist}(\tau)$ padronizada pelo erro padrão em (2.2).

$$\mathrm{z} = \frac{\big(\hat{\mu}_{ger}(\tau) - \hat{\mu}_{hist}(\tau)\big)}{ep\big(\hat{\mu}_{ger}(\tau)\big)} \tag{2.3}$$

A significância da diferença é avaliada comparando-se a estatística z em (2.3) com a distribuição normal padrão. O p-valor do teste é dado por:

$$\begin{aligned} &\text{se } \mathrm{z} \leq 0 \implies p - valor = 2\Phi(\mathrm{z}) && (a) \\ &\text{se } \mathrm{z} > 0 \implies p - valor = 2\big(1 - \Phi(\mathrm{z})\big) && (b) \end{aligned} \tag{2.4}$$

onde $\Phi(\,)$ é a função de probabilidades acumuladas da distribuição normal padrão.

2.1.2 Desvio Padrão de Afluências Mensais

A avaliação da aderência do desvio padrão das afluências mensais geradas se dá para cada REE e período ou mês τ . Tomam-se as estimativas históricas de desvio-padrão $\hat{\sigma}_{hist}(\tau)$ como valores de população. As estimativas de desvio padrão de afluências mensais dos cenários gerados são obtidas por:

$$\hat{\sigma}_{ger}(\tau) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{ger}} \big(\mathrm{ENA}_i(\tau) - \hat{\mu}_{ger}(\tau)\big)^2}{n_{ger} - 1} \right)^{1/2} \tag{2.5}$$

Adota-se como métrica de aderência entre modelo e histórico, o quadrado da razão entre desvios padrão gerado e histórico multiplicado por n_{ger}-1:

$$\mathrm{q} = \big(n_{ger} - 1\big) \left(\frac{\hat{\sigma}_{ger}(\tau)}{\hat{\sigma}_{hist}(\tau)} \right)^2 \tag{2.6}$$

A significância da discrepância entre desvio padrão de afluências geradas e de afluências históricas é avaliada comparando-se a estatística em (2.6) com a distribuição Qui-Quadrado com $n_{ger} - 1$ graus de liberdade.

O p-valor do teste é dado por:

$$\begin{aligned} &\text{se } \mathrm{q} < \big(n_{ger} - 1\big) \implies pvalor = 2\mathrm{F}_{\chi 2}(\mathrm{q}, n_{ger} - 1\,) && (a) \\ &\text{se } \mathrm{q} \geq \big(n_{ger} - 1\big) \implies pvalor = 2\Big(1 - \mathrm{F}_{\chi 2}\big(\mathrm{q}, n_{ger} - 1\,\big)\Big) && (b) \end{aligned} \tag{2.7}$$

2.2 Testes para Estatísticas de Requisitos do Planejamento

No grupo de estatísticas de requisitos do planejamento estão:

- distribuições de afluências mensais
- autocorrelações defasagem k de afluências mensais
- autocorrelação defasagem um de afluências anuais
- correlações cruzadas entre afluências mensais
- correlações cruzadas de afluências anuais
- distribuições de métricas de sequencias negativas
- variâncias de métricas de sequencias negativas
- máximos de sequencias negativas.

Para as estatísticas deste grupo, as diferenças entre estatísticas históricas e sintéticas são, de forma geral, concebidas como resultado das duas amostragens envolvidas (histórica e geração de cenários). Para as variâncias de métricas de sequencias negativas, os erros de amostragem da geração de cenários são desprezados, dada a grande quantidade de sequencias negativas geradas. Finalmente, para os máximos de sequencias negativas, apresentam-se comparações numéricas entre valores históricos e gerados, sem uso de teste estatístico formal.

2.2.1 Distribuição de Afluências Mensais

As distribuições empíricas das afluências mensais geradas e históricas para cada REE e período ou mês τ são obtidas por:

$$\hat{F}_{ger}\left(ENA^{*}_{ger,j}(\tau)\right) = \frac{j}{n_{ger}} \tag{2.8}$$

$$\hat{F}_{hist}\left(ENA^{*}_{hist,j}(\tau)\right) = \frac{j}{n_{hist}} \tag{2.9}$$

Onde

$ENA^{*}_{ger,j}(\tau)$: são as afluências mensais ordenadas do período ou mês τ dos cenários gerados, e

$ENA^{*}_{hist,j}(\tau)$: são as afluências mensais ordenadas do período ou mês τ do registro histórico.

Na avaliação da diferença das distribuições (2.8) e (2.9) utiliza-se a estatística:

$$\mathrm{D}_{n_{ger},n_{hist}} = \sup_x \left|\hat{F}_{ger}(x) - \hat{F}_{hist}(x)\right| \tag{2.10}$$

O teste de significância é feito comparando (2.10) com a distribuição de Kolmogorov. O p-valor do teste é calculado como:

$$\mathrm{nef} = \sqrt{\frac{\mathrm{n_{his}} \cdot \mathrm{n_{ger}}}{\mathrm{n_{ger}} + \mathrm{n_{his}}}} \tag{2.11}$$

$$\mathrm{p-valor} = 1 - \max\{0, 1 - 2\exp(-(2.000071 + \frac{0.331}{\sqrt{\mathrm{nef}}} + \frac{1.409}{\mathrm{nef}}).\mathrm{nef}.\mathrm{D}^2_{\mathrm{nger,nhist}})\} \tag{2.12}$$

2.2.2 Autocorrelações de Afluências Mensais

As autocorrelações das afluências mensais históricas são estatísticas utilizadas explicitamente para a calibração dos coeficientes das autorregressões dos modelos para defasagens k até a ordem p escolhida para modelar as afluências para o REE e período analisado. Para defasagens maiores que p, as autocorrelações históricas não são utilizadas na calibração. Apesar desta diferença, as autocorrelações foram trabalhadas em conjunto de forma homogênea como se não participassem todas do processo de calibração dos parâmetros do modelo. Assim, as diferenças entre autocorrelações históricas e sintéticas foram concebidas como resultado das duas amostragens envolvidas (histórica e geração de cenário).

As estimativas de autocorrelações defasagem k das afluências geradas e históricas para o período ou mês τ são obtidas respectivamente por:

$$\hat{\rho}_{ger}(\tau,k) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ger}}\left(ENA_i(\tau)-\hat{\mu}_{ger}(\tau)\right)\left(ENA_i(\tau-k)-\hat{\mu}_{ger}(\tau-k)\right)}{n_{ger}\,\hat{\sigma}_{ger}(\tau)\,\hat{\sigma}_{ger}(\tau-k)} \tag{2.13}$$

$$\hat{\rho}_{hist}(\tau,k) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hist}}\left(ENA_i(\tau)-\hat{\mu}_{ger}(\tau)\right)\left(ENA_i(\tau-k)-\hat{\mu}_{hist}(\tau-k)\right)}{n_{hist}\,\hat{\sigma}_{hist}(\tau)\,\hat{\sigma}_{hist}(\tau-k)} \tag{2.14}$$

onde:

n_{ger} e n_{hist}: números de pares de afluências mensais $ENA_i(\tau), ENA_i(\tau-k)$ nos cenários gerados e no registro histórico,

$\hat{\mu}_{ger}(\tau)$ e $\hat{\mu}_{hist}(\tau)$: médias das afluências mensais no período ou mês τ nos cenários gerados e no registro histórico

$\hat{\sigma}_{ger}(\tau)$ e $\hat{\sigma}_{hist}(\tau)$: desvios padrão das afluências mensais no período ou mês τ nos cenários gerados e no registro histórico

Os erros padrão das estimativas em (2.13) e (2.14) são calculados por:

$$ep\left(\hat{\rho}_{ger}(\tau,k)\right) = \frac{\left(1-\hat{\rho}^2_{ger}(\tau,k)\right)}{n_{ger}-2} \tag{2.15}$$

$$ep\left(\hat{\rho}_{hist}(\tau,k)\right) = \frac{\left(1-\hat{\rho}^2_{hist}(\tau,k)\right)}{n_{hist}-2} \tag{2.16}$$

O erro padrão da diferença entre as estimativas de autocorrelações do histórico e da série gerada é calculado por:

$$\mathrm{ep}\left(\hat{\rho}_{ger}(\tau,k)-\hat{\rho}_{hist}(\tau,k)\right) = \sqrt{\left(ep^2\left(\hat{\rho}_{ger}(\tau,k)\right)+ep^2\left(\hat{\rho}_{hist}(\tau,k)\right)\right)} \tag{2.17}$$

O teste de significância de diferença de estimativas de autocorrelações é feito comparando a estatística em (2.18) com a distribuição normal padrão:

$$\mathrm{z(k)} = \frac{\left(\hat{\rho}_{ger}(\tau,k)-\hat{\rho}_{hist}(\tau,k)\right)}{ep\left(\hat{\rho}_{ger}(\tau,k)-\hat{\rho}_{hist}(\tau,k)\right)} \tag{2.18}$$

O cálculo dos p-valores dos testes de diferença de autocorrelação defasagem k, denotados p-valor(k), para cada defasagem k=1,2,...,11 são feitos seguindo (2.4)(a) e (2.4)(b).

A avaliação de aderência das autocorrelações de afluências mensais é feita agrupando-se as autocorrelações para defasagens k entre 1 e 11 em correlogramas de cada REE ou aproveitamento para o período ou mês τ e avaliando-se a significância das diferenças entre os correlogramas histórico e gerado. O teste de significância de diferenças de correlogramas utiliza o p-valor geral calculado como:

$$\mathrm{p-valorG} = 1 - ((1 - min_k[pvalor(k)])^{11}) \qquad 0$$

2.2.3 Autocorrelações Defasagem Um de Afluências Anuais

As estimativas das autocorrelações defasagem um das afluências anuais geradas e históricas são obtidas respectivamente por:

$$\widehat{\rho a}_{ger}(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ger}}(ENA_i - \widehat{\mu a}_{ger})(ENA_{i-1} - \widehat{\mu a}_{ger})}{n_{ger}\,\widehat{\sigma a}_{ger}\,\widehat{\sigma a}_{ger}} \qquad (2.20)$$

$$\widehat{\rho a}_{hist}(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hist}}(ENA_i - \widehat{\mu a}_{hist})(ENA_{i-1} - \widehat{\mu a}_{hist})}{n_{hist}\,\widehat{\sigma a}_{hist}\,\widehat{\sigma a}_{hist}} \qquad (2.21)$$

onde:

ENA_i: uma afluência anual do ano i nos cenários gerados ou no registro histórico,

n_{ger} e n_{hist}: números de pares de afluências anuais (ENA_i, ENA_{i-1}) dos cenários gerados e do registro histórico,

$\widehat{\mu a}_{ger}$ *e* $\widehat{\mu a}_{hist}$: médias das afluências anuais dos cenários e do registro histórico e,

$\widehat{\sigma a}_{ger}$ *e* $\widehat{\sigma a}_{hist}$: desvios padrão das afluências anuais dos cenários e do registro histórico

Os erros padrão das estimativas em (2.20) e (2.21) são calculados por:

$$ep\left(\widehat{\rho a}_{ger}(1)\right) = \frac{(1 - \widehat{\rho a}^2_{ger}(1))}{n_{ger} - 2} \qquad (2.22)$$

$$ep\left(\widehat{\rho a}_{hist}(1)\right) = \frac{(1 - \widehat{\rho a}^2_{hist}(1))}{n_{hist} - 2} \qquad (2.23)$$

O erro padrão da diferença das estimativas de autocorrelações anuais defasagem um no histórico e na série gerada é calculado por:

$$\mathrm{ep}\left(\widehat{\rho a}_{ger}(1) - \widehat{\rho a}_{hist}(1)\right) = \sqrt{\left(ep^2\left(\widehat{\rho a}_{ger}(1)\right) + ep^2\left(\widehat{\rho a}_{hist}(1)\right)\right)} \qquad (2.24)$$

O teste de significância de diferença de estimativas de autocorrelações anuais defasagem um é feito comparando a estatística em (2.25) com a distribuição normal padrão:

$$\mathrm{z} = \frac{\left(\widehat{\rho a}_{ger}(1) - \widehat{\rho a}_{hist}(1)\right)}{ep\left(\widehat{\rho a}_{ger}(1) - \widehat{\rho a}_{hist}(1)\right)} \qquad (2.25)$$

O p-valor do teste é calculado conforme (4a) e (4b).

Os testes de significância individuais por REE de diferenças de autocorrelações de afluências anuais defasagem um foram agrupados num teste geral único de significância utilizando a mesma abordagem do teste de correlograma do item 2.2.2.

2.2.4 Correlações Cruzadas de Afluências Mensais

As correlações cruzadas entre afluências mensais aos REEs j e k do período ou mês τ históricas e geradas são estimadas através de:

$$\widehat{\rho c}_{ger}(j,k,\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ger}}\left(ENA_i(j,\tau)-\hat{\mu}_{ger}(j,\tau)\right)\left(ENA_i(k,\tau)-\hat{\mu}_{ger}(k,\tau)\right)}{n_{ger}\,\hat{\sigma}_{ger}(j,\tau)\,\hat{\sigma}_{ger}(k,\tau)} \tag{2.26}$$

$$\widehat{\rho c}_{hist}(j,k,\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hist}}\left(ENA_i(j,\tau)-\hat{\mu}_{hist}(j,\tau)\right)\left(ENA_i(k,\tau)-\hat{\mu}_{hist}(k,\tau)\right)}{n_{hist}\,\hat{\sigma}_{hist}(j,\tau)\,\hat{\sigma}_{hist}(k,\tau)} \tag{2.27}$$

Os erros padrão das estimativas em (2.26) e (2.27) são calculados por:

$$ep\left(\widehat{\rho c}_{ger}(j,k,\tau)\right) = \frac{\left(1-\widehat{\rho c}^2_{ger}(j,k,\tau)\right)}{n_{ger}-2} \tag{2.28}$$

$$ep\left(\widehat{\rho c}_{hist}(j,k,\tau)\right) = \frac{\left(1-\widehat{\rho c}^2_{hist}(j,k,\tau)\right)}{n_{hist}-2} \tag{2.29}$$

O erro padrão da diferença das estimativas de correlações cruzadas de afluências mensais no histórico e na série gerada é calculado por:

$$\mathrm{ep}\left(\widehat{\rho c}_{ger}(j,k,\tau) - \widehat{\rho c}_{hist}(j,k,\tau)\right) = \sqrt{\left(ep^2\left(\widehat{\rho c}_{ger}(j,k,\tau)\right) + ep^2\left(\widehat{\rho c}_{hist}(j,k,\tau)\right)\right)} \tag{2.30}$$

O teste de significância de diferença de estimativas de correlações cruzadas de afluências mensais no histórico e na série gerada é feito comparando a estatística em (2.31) com a distribuição normal padrão:

$$\mathrm{z} = \frac{\left(\widehat{\rho c}_{ger}(j,k,\tau)-\widehat{\rho c}_{hist}(j,k,\tau)\right)}{ep\left(\widehat{\rho c}_{ger}(j,k,\tau)-\widehat{\rho c}_{hist}(j,k,\tau)\right)} \tag{2.31}$$

O p-valor do teste é calculado conforme (2.4a) e (2.4b).

Os testes de significância individuais por par de REE de correlações cruzadas de cada período ou mês τ foram agrupados em testes gerais de significância de conjuntos de correlações cruzadas entre um dado REE com os demais REEs, utilizando a mesma abordagem do teste de correlograma do item 2.2.2.

2.2.5 Correlações Cruzadas de Afluências Anuais

As correlações cruzadas entre afluências anuais aos REEs j e k históricas e geradas são estimadas através de:

$$\widehat{\rho ca}_{ger}(j,k) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ger}}\left(ENA_i(j)-\hat{\mu}_{ger}(j)\right)\left(ENA_i(k)-\hat{\mu}_{ger}(k)\right)}{n_{ger}\,\hat{\sigma}_{ger}(j)\,\hat{\sigma}_{ger}(k)} \tag{2.32}$$

$$\widehat{\rho ca}_{hist}(j,k) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hist}}\left(ENA_i(j)-\hat{\mu}_{hist}(j)\right)\left(ENA_i(k)-\hat{\mu}_{hist}(k)\right)}{n_{hist}\,\hat{\sigma}_{hist}(j)\,\hat{\sigma}_{hist}(k)} \tag{2.33}$$

Os erros padrão das estimativas em (2.32) e (2.33) são calculados por:

$$ep\left(\widehat{\rho ca}_{ger}(j,k)\right) = \frac{\left(1-\widehat{\rho ca}^2_{ger}(j,k)\right)}{n_{ger}-2} \tag{2.34}$$

$$ep\left(\widehat{\rho c}_{hist}(j,k)\right) = \frac{\left(1-\widehat{\rho ca}^2_{hist}(j,k)\right)}{n_{hist}-2} \tag{2.35}$$

O erro padrão da diferença das estimativas de correlações cruzadas anuais no histórico e na série gerada é calculado por:

$$\mathrm{ep}\left(\widehat{\rho ca}_{ger}(j,k) - \widehat{\rho ca}_{hist}(j,k)\right) = \sqrt{\left(ep^2\left(\widehat{\rho ca}_{ger}(j,k)\right) + ep^2\left(\widehat{\rho ca}_{hist}(j,k)\right)\right)} \tag{2.36}$$

O teste de significância de diferença de estimativas de correlações cruzadas das afluências anuais é feito comparando a estatística em (2.37) com a distribuição normal padrão:

$$\mathrm{z} = \frac{\left(\widehat{\rho ca}_{ger}(j,k) - \widehat{\rho ca}_{hist}(j,k)\right)}{ep\left(\widehat{\rho ca}_{ger}(j,k) - \widehat{\rho c}_{hist}(j,k)\right)} \tag{2.37}$$

O p-valor do teste é calculado conforme (2.4a) e (2.4b).

Os testes de significância individuais por par de REE de correlações cruzadas anuais foram agrupados em testes gerais de significância de conjuntos de correlações cruzadas entre um dado REE com os demais REEs utilizando a mesma abordagem do teste de correlograma do item 2.2.2.

2.2.6 Distribuições de Métricas de Sequências Negativas

Um intervalo de tempo em que as afluências mensais são todas inferiores à média do mês é denominado sequência negativa. A cada sequência negativa, associam-se três métricas: o comprimento (número de meses); a soma (somatório das diferenças entre média do mês e afluência mensal) e a intensidade (razão entre soma e comprimento).

As distribuições empíricas de métricas de sequencias negativas das séries de afluências geradas e históricas para cada REE são obtidas por:

$$\hat{F}_{ger}\left(MSN^*_{g,j}\right) = \frac{j}{n_g} \tag{2.38}$$

$$\hat{F}_{hist}\left(MSN^*_{h,j}\right) = \frac{j}{n_h} \tag{2.39}$$

onde

$MSN^*_{g,j}$: valores ordenados de métrica de sequência negativa dos cenários gerados, e

$MSN^*_{h,j}$: valores ordenados de métrica de sequência negativa do registro histórico

n_g: número de sequencias negativas nos cenários gerados

n_h: número de sequencias negativas nos registros históricos

Na avaliação da diferença entre as distribuições (2.38) e (2.39), utiliza-se a mesma abordagem adotada para avaliações de diferenças entre as distribuições de afluências mensais descrita no item 2.2.1.

2.2.7 Variância de Métricas de Sequências Negativas

Nas avaliações de variabilidade das métricas de sequência negativa consideram-se as estimativas de variâncias das métricas de sequencias negativas nas séries geradas $\hat{s}_g^2$ como valores populacionais. As estimativas históricas $\hat{s}_h^2$ são comparadas com $\hat{s}_g^2$ adotando-se como métrica de aderência a seguinte estatística:

$$\mathrm{q} = (n_h - 1)\,\frac{min(\hat{s}_h^2, \hat{s}_g^2)}{max(\hat{s}_h^2, \hat{s}_g^2)} \qquad 0$$

A significância da discrepância entre $\hat{s}_h^2$ e $\hat{s}_g^2$ é avaliada comparando-se a estatística em 0 com a distribuição Qui-Quadrado com $n_h - 1$ graus de liberdade.

O p-valor do teste é dado por:

$$pvalor = 2\mathrm{F}_{\chi 2}(\mathrm{q}, n_h - 1) \qquad (2.41)$$

2.2.8 Máximos de Métricas de Sequências Negativas

Na avaliação da aderência ao histórico dos cenários de afluências gerados, considera-se também importante avaliar os termos de máximos das métricas de sequência negativa. Nestas avaliações, o máximo valor histórico é comparado com os máximos observados em sequencias geradas de mesmo comprimento que a série histórica, reportando-se o máximo histórico, a média dos máximos das sequencias geradas e a frequência de máximos nas sequencias geradas menores que o máximo histórico.

3 APLICAÇÃO

Os testes de aderência ao histórico foram realizados para os casos de leilão 2020 (CB2020) e 2021 (CB2021) utilizando as afluências geradas no passo forward (séries forward) nos 60 meses do período de estudo destes casos e na simulação final (séries simulação final) por 20 anos. Foram feitos também alguns testes de aderência ao histórico utilizando como afluências geradas médias das afluências das aberturas no passo backward (séries backward). Para as métricas de sequencias negativas, foram utilizadas séries forward com o mesmo tamanho da série histórica. Em todos os testes adotou-se como limite entre aceitação ou rejeição o nível de significância de 5%.

3.1 Estatísticas de Calibração

Os testes de média e desvio padrão foram aplicados por REE individualmente para cada um dos 12 meses (testes de meses) e individualmente para os 60 meses do período de estudo (testes de períodos).

Em cada teste de mês utilizou-se as amostras de afluências geradas das séries simulação final produzidas pelo modelo NEWAVE. Estas amostras contêm 40.000 observações, número bastante elevado. As estimativas obtidas a partir destas amostras podem ser consideradas como equivalentes aos valores populacionais das implementações computacionais, sendo importantes para verificar equivalências entre modelos matemáticos de séries temporais e suas implementações computacionais. Este é o caso das verificações nos testes de mês desta seção, já que as estatísticas históricas analisadas (média e desvio padrão das afluências mensais) são parâmetros da modelagem matemática. Para tamanhos de amostras tendendo a infinito as diferenças entre estatísticas geradas e estatísticas históricas deverão se aproximar já que, teoricamente, no limite a diferença é nula. Neste sentido, incorporou-se à análise uma verificação dos desvios percentuais entre estatísticas históricas e geradas.

Os testes de períodos, onde as amostras geradas contêm apenas 200 observações, incorporam com intensidade as flutuações amostrais. Nestes testes as diferenças entre estatísticas geradas e históricas são toleradas dentro dos limites dos intervalos de aceitação previstos pela abordagem estatística, descritos no capítulo anterior.

As estatísticas das afluências históricas e das afluências geradas para os testes de mês foram coletadas nas impressões do modelo NEWAVE. As estatísticas das afluências geradas para os testes de período foram calculadas usando o arquivo de afluências geradas produzidas pelo modelo GEVAZP[5].

Considerando os resultados dos testes (rejeição ou não rejeição) independentes entre si, os números de rejeições para cada REE são modelados por um arranjo experimental correspondente a uma distribuição Binomial com parâmetros p =0.05 e n=12 no caso dos testes de meses e n=60 no caso dos testes de períodos. Considerando-se o quantil de 97.5% desta distribuição, chega-se aos limites máximos por REE de 2 rejeições nos testes de meses e, 7 rejeições nos testes de períodos.

3.1.1 Média de Afluências Mensais. Testes de meses

Os gráficos da Figura 3.1 comparam as médias das afluências históricas de cada mês com as respectivas médias das afluências sintéticas das séries de simulação final produzidas pelos modelos PAR(p) e PAR(p)-A para o caso CB2020. A Figura 3.2 apresenta os mesmos gráficos para o caso CB2021.

[5] Neste caso, o modelo GEVAZP foi executado alimentado pelo histórico das energias naturais afluentes.

Pode-se observar a boa reprodução, sob o ponto de vista prático, das médias históricas nas séries sintéticas dos dois modelos. Este resultado demonstra a qualidade da implementação computacional já que as médias históricas de cada mês são usadas como parâmetros explícitos nas duas modelagens, e o número de valores nas amostras geradas nos testes (40.000 valores) foi bastante elevado, reduzindo sensivelmente a variação amostral. As Tabela 3.1,Tabela 3.2, Tabela 3.3 e Tabela 3.4 apresentam as diferenças percentuais de médias mensais históricas e geradas para cada REE pelos modelos PAR(p)-A e PAR(p) para os dois casos estudados. As diferenças flutuaram entre -2,04% e +1,09%.

Tabela 3.1 - Médias mensais. Estatísticas de diferenças percentuais, CB2020. Modelo PAR(p)-A

```
   SUDESTE          MADEIRA            TPIRES            ITAIPU
Min.   :0.097   Min.   :-0.2142   Min.   :-0.199   Min.   :-1.74
1st Qu.:0.179   1st Qu.:-0.0969   1st Qu.: 0.091   1st Qu.:-1.22
Median :0.213   Median :-0.0439   Median : 0.175   Median :-1.10
Mean   :0.218   Mean   :-0.0044   Mean   : 0.119   Mean   :-1.11
3rd Qu.:0.265   3rd Qu.: 0.1225   3rd Qu.: 0.182   3rd Qu.:-0.98
Max.   :0.312   Max.   : 0.2103   Max.   : 0.252   Max.   :-0.56
    PARANA         PRNPANEMA            SUL              IGUACU
Min.   :0.076   Min.   :-0.306   Min.   :-1.02   Min.   :-0.74
1st Qu.:0.162   1st Qu.:-0.052   1st Qu.:-0.43   1st Qu.:-0.23
Median :0.245   Median : 0.140   Median :-0.24   Median : 0.25
Mean   :0.249   Mean   : 0.117   Mean   :-0.22   Mean   : 0.18
3rd Qu.:0.297   3rd Qu.: 0.221   3rd Qu.: 0.15   3rd Qu.: 0.50
Max.   :0.546   Max.   : 0.733   Max.   : 0.37   Max.   : 1.09
   NORDESTE         NORTE           BMONTE             MAN-AP
Min.   :0.22   Min.   :0.04   Min.   :-0.3294   Min.   :-1.82
1st Qu.:0.30   1st Qu.:0.13   1st Qu.:-0.1760   1st Qu.:-0.83
Median :0.36   Median :0.18   Median :-0.0183   Median :-0.69
Mean   :0.39   Mean   :0.18   Mean   :-0.0540   Mean   :-0.75
3rd Qu.:0.46   3rd Qu.:0.19   3rd Qu.: 0.0088   3rd Qu.:-0.58
Max.   :0.55   Max.   :0.39   Max.   : 0.2212   Max.   :-0.34
```

Range = (-1.82%, +1.09%)

Tabela 3.2 - Médias mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2020. Modelo PAR(p)

```
   SUDESTE          MADEIRA            TPIRES            ITAIPU
Min.   :-0.014   Min.   :-0.147   Min.   :-0.211   Min.   :-1.19
1st Qu.: 0.083   1st Qu.:-0.023   1st Qu.: 0.048   1st Qu.:-0.94
Median : 0.098   Median : 0.030   Median : 0.118   Median :-0.71
Mean   : 0.105   Mean   : 0.037   Mean   : 0.084   Mean   :-0.75
3rd Qu.: 0.145   3rd Qu.: 0.109   3rd Qu.: 0.137   3rd Qu.:-0.61
Max.   : 0.234   Max.   : 0.215   Max.   : 0.218   Max.   :-0.19
    PARANA         PRNPANEMA            SUL              IGUACU
Min.   :0.024   Min.   :-0.405   Min.   :-1.01   Min.   :-0.74
1st Qu.:0.226   1st Qu.:-0.059   1st Qu.:-0.41   1st Qu.:-0.25
Median :0.243   Median : 0.132   Median :-0.24   Median : 0.20
Mean   :0.242   Mean   : 0.114   Mean   :-0.21   Mean   : 0.12
3rd Qu.:0.277   3rd Qu.: 0.188   3rd Qu.: 0.17   3rd Qu.: 0.35
Max.   :0.448   Max.   : 0.705   Max.   : 0.40   Max.   : 1.06
   NORDESTE         NORTE           BMONTE             MAN-AP
Min.   :0.14   Min.   :0.16   Min.   :-0.309   Min.   :-2.04
1st Qu.:0.24   1st Qu.:0.19   1st Qu.:-0.054   1st Qu.:-0.93
Median :0.27   Median :0.22   Median : 0.032   Median :-0.75
Mean   :0.29   Mean   :0.24   Mean   : 0.024   Mean   :-0.81
3rd Qu.:0.36   3rd Qu.:0.25   3rd Qu.: 0.108   3rd Qu.:-0.59
Max.   :0.38   Max.   :0.48   Max.   : 0.292   Max.   :-0.27
```

Range = (-2.04%, +1.06%)

Tabela 3.3 - Médias mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2021. Modelo PAR(p)-A

```
   SUDESTE        MADEIRA          TPIRES          ITAIPU
Min.   :0.16   Min.   :-0.128   Min.   :-0.15   Min.   :-0.864
1st Qu.:0.26   1st Qu.: 0.044   1st Qu.: 0.16   1st Qu.:-0.410
Median :0.28   Median : 0.080   Median : 0.19   Median :-0.276
Mean   :0.30   Mean   : 0.091   Mean   : 0.17   Mean   :-0.333
3rd Qu.:0.35   3rd Qu.: 0.168   3rd Qu.: 0.23   3rd Qu.:-0.217
Max.   :0.40   Max.   : 0.258   Max.   : 0.33   Max.   : 0.044
    PARANA         PRNPANEMA          SUL            IGUACU
Min.   :0.0034   Min.   :-0.216   Min.   :-0.97   Min.   :-0.66
1st Qu.:0.1891   1st Qu.: 0.038   1st Qu.:-0.36   1st Qu.:-0.16
Median :0.2869   Median : 0.244   Median :-0.15   Median : 0.24
Mean   :0.2673   Mean   : 0.215   Mean   :-0.12   Mean   : 0.24
3rd Qu.:0.3139   3rd Qu.: 0.306   3rd Qu.: 0.28   3rd Qu.: 0.62
Max.   :0.5881   Max.   : 0.816   Max.   : 0.49   Max.   : 1.08
   NORDESTE        NORTE          BMONTE           MAN-AP
Min.   :0.30   Min.   :0.26   Min.   :-0.275   Min.   :-1.59
1st Qu.:0.48   1st Qu.:0.27   1st Qu.:-0.048   1st Qu.:-0.66
Median :0.54   Median :0.29   Median :-0.011   Median :-0.48
Mean   :0.56   Mean   :0.37   Mean   : 0.045   Mean   :-0.59
3rd Qu.:0.69   3rd Qu.:0.33   3rd Qu.: 0.036   3rd Qu.:-0.39
Max.   :0.75   Max.   :0.89   Max.   : 0.614   Max.   :-0.26
```

Range = (-1.59%, +1.08%)

Tabela 3.4 - Médias mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2021. Modelo PAR(p)

```
   SUDESTE        MADEIRA          TPIRES          ITAIPU
Min.   :0.09   Min.   :-0.029   Min.   :-0.212   Min.   :-0.879
1st Qu.:0.14   1st Qu.: 0.108   1st Qu.: 0.076   1st Qu.:-0.756
Median :0.17   Median : 0.161   Median : 0.114   Median :-0.534
Mean   :0.19   Mean   : 0.174   Mean   : 0.104   Mean   :-0.545
3rd Qu.:0.24   3rd Qu.: 0.240   3rd Qu.: 0.169   3rd Qu.:-0.457
Max.   :0.28   Max.   : 0.363   Max.   : 0.284   Max.   : 0.028
    PARANA         PRNPANEMA          SUL            IGUACU
Min.   :0.037   Min.   :-0.281   Min.   :-0.99   Min.   :-0.73
1st Qu.:0.248   1st Qu.: 0.029   1st Qu.:-0.38   1st Qu.:-0.25
Median :0.267   Median : 0.182   Median :-0.16   Median : 0.19
Mean   :0.274   Mean   : 0.179   Mean   :-0.15   Mean   : 0.11
3rd Qu.:0.349   3rd Qu.: 0.308   3rd Qu.: 0.20   3rd Qu.: 0.34
Max.   :0.498   Max.   : 0.692   Max.   : 0.49   Max.   : 1.02
   NORDESTE        NORTE          BMONTE           MAN-AP
Min.   :0.17   Min.   :0.19   Min.   :-0.305   Min.   :-1.63
1st Qu.:0.28   1st Qu.:0.21   1st Qu.:-0.043   1st Qu.:-0.65
Median :0.32   Median :0.26   Median : 0.072   Median :-0.48
Mean   :0.35   Mean   :0.32   Mean   : 0.054   Mean   :-0.56
3rd Qu.:0.42   3rd Qu.:0.29   3rd Qu.: 0.111   3rd Qu.:-0.38
Max.   :0.63   Max.   :0.83   Max.   : 0.401   Max.   :-0.17
```

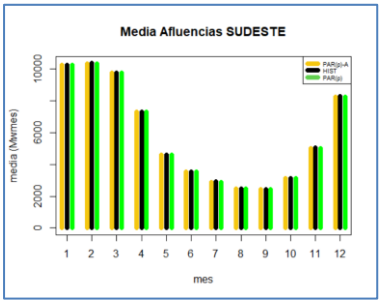
Range = (-1.63%, +1.02%)

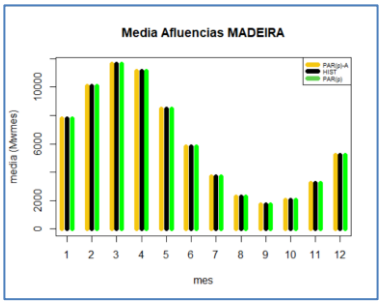
Ainda que com a variação amostral reduzida, foram feitos testes z de aderência à média, conforme descrito no item 2.1.1. A Tabela 3.5 apresenta, para os casos CB2020 e CB2021, os números de testes rejeitados a 5% em cada REE dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A. A última linha apresenta a média do número de rejeições por REE. Para todas as rejeições, deve-se considerar que sob o ponto de vista prático, as correspondentes diferenças entre médias históricas e geradas são irrelevantes (Figura 3.1 e Figura 3.2, e Tabela 3.1Tabela 3.2Tabela 3.3 e Tabela 3.4)

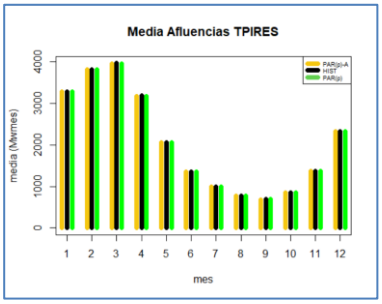
Tabela 3.5 - Aderência à Média de Afluências Mensais. Testes de Mês. Nº de Rejeições.

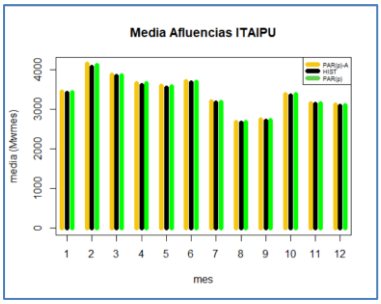
REE	CB2020		CB2021	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	2	0	7*	1
MADEIRA	1	0	0	4*
TPIRES	1	1	5*	2
ITAIPU	12*	11*	1	6*
PARANA	4*	6*	5*	7*
PRNPANEMA	2	2	2	2
SUL	2	2	2	2
IGAUÇU	3*	3*	3*	3*
NORDESTE	7*	1	3*	3*
NORTE	1	1	3*	3*
BMONTE	2	1	3*	3*
MAN-AP	12*	12*	10*	10
Média	*4,08*	*3,33*	*4,83*	*3,83*

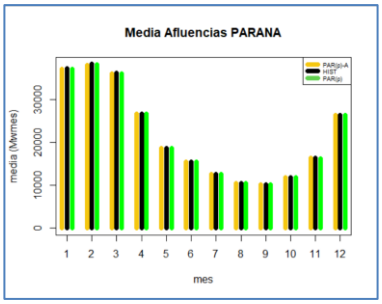
* nº de rejeições maiores que 2.

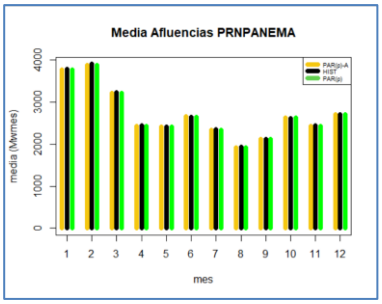


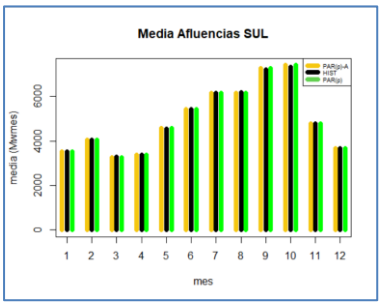


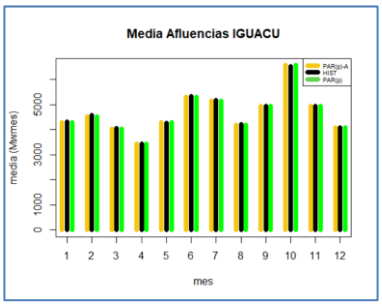


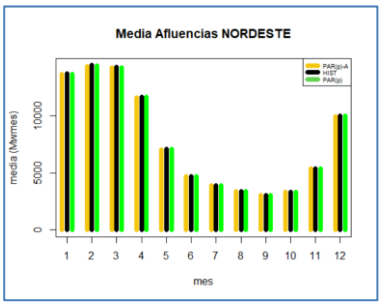


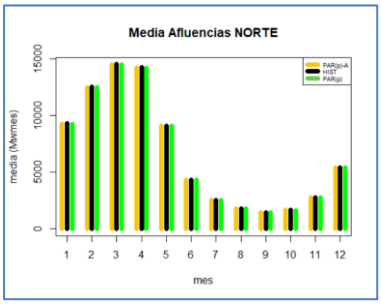


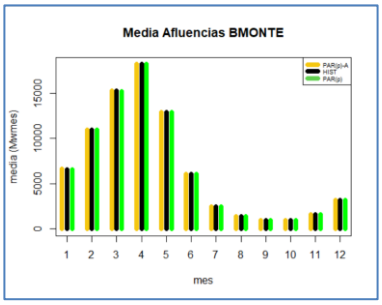












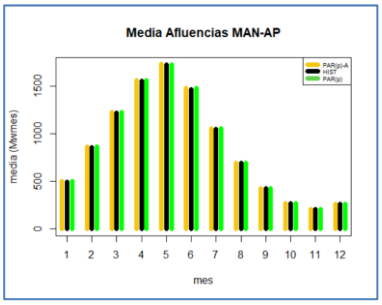
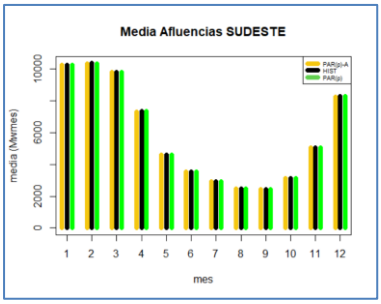
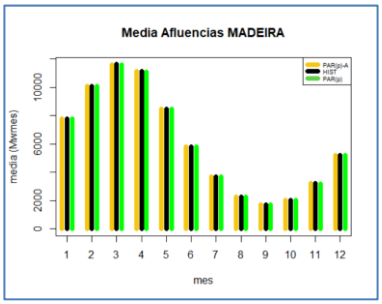
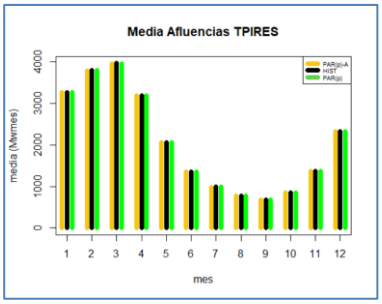
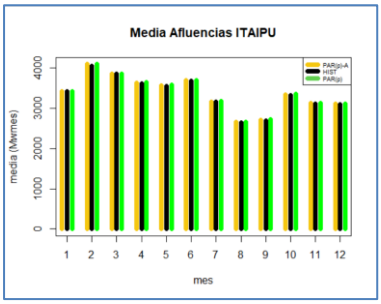


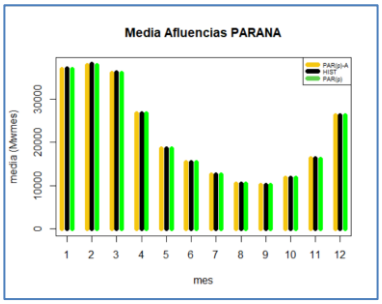
Figura 3.1 - Médias de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Forward.

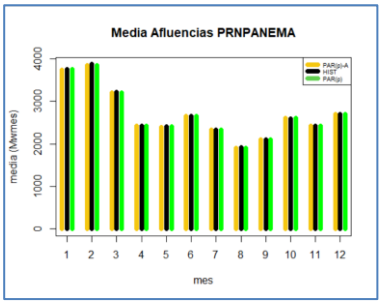


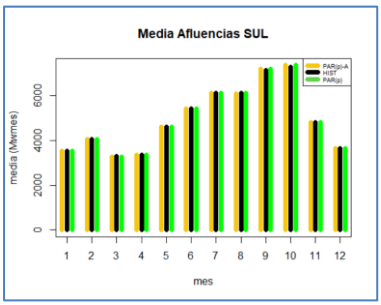


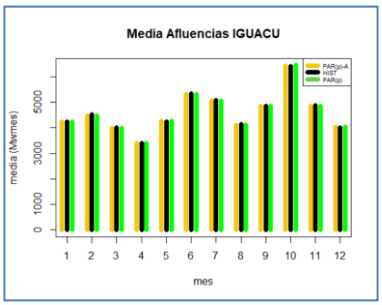


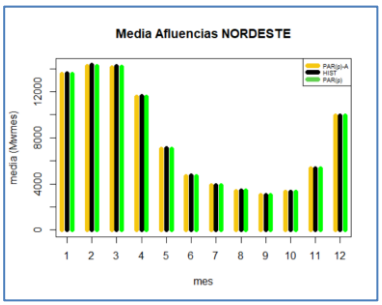












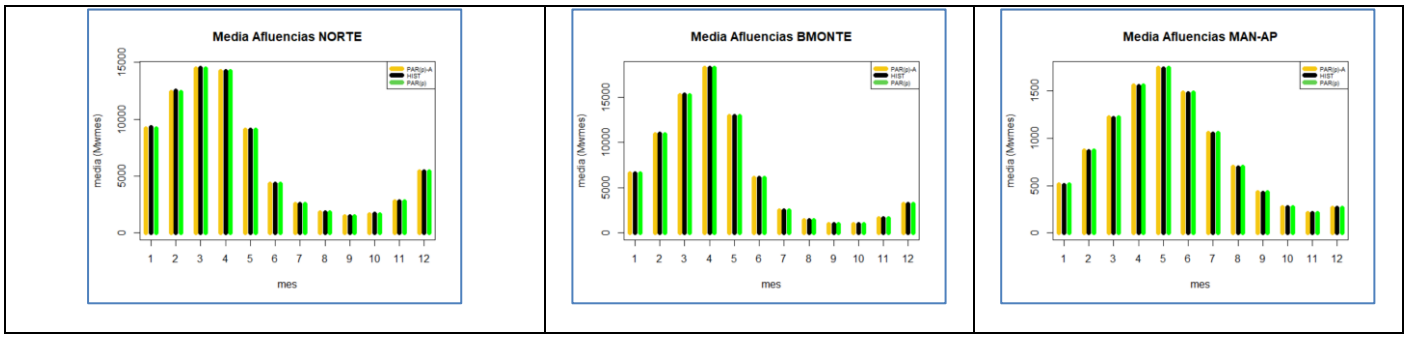


Figura 3.2 - Médias de afluências mensais. Caso CB2021. Séries Forward.

3.1.2 Desvio Padrão de Afluências Mensais. Testes de meses

Os gráficos da Figura 3.3 comparam os desvios padrão das afluências históricas de cada mês com os respectivos desvios padrões das afluências sintéticas das séries simulação final produzidas pelos modelos PAR(p) e PAR(p)-A para o caso CB2020. A Figura 3.4 apresenta os mesmos gráficos para o caso CB2021. Pode-se observar, que assim como ocorreu com a média, reproduções excelentes, sob o ponto de vista prático, dos desvios padrão históricos com o uso de quaisquer dos dois modelos. Este resultado demonstra a qualidade da implementação computacional já que os desvios padrão históricos de cada mês são usados como parâmetros explícitos nas duas modelagens, e o número de valores nas amostras geradas nos testes (40.000 valores) foi bastante elevado, reduzindo sensivelmente a variação amostral.

As Tabela 3.6,Tabela 3.7,Tabela 3.8 e Tabela 3.9 apresentam as diferenças percentuais de desvios padrões das afluências mensais históricas e geradas para cada REE pelos modelos PAR(p)-A e PAR(p) para os dois casos estudados. As diferenças flutuaram entre -3,37% e +4,11%.

Tabela 3.6 - Desvios Padrão mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2020. Modelo PAR(p)-A

```
   SUDESTE          MADEIRA          TPIRES           ITAIPU
Min.   :-0.89   Min.   :0.53   Min.   :-0.152   Min.   :0.78
1st Qu.:-0.48   1st Qu.:1.01   1st Qu.: 0.071   1st Qu.:1.36
Median :-0.33   Median :1.62   Median : 0.187   Median :1.57
Mean   :-0.17   Mean   :1.57   Mean   : 0.206   Mean   :1.58
3rd Qu.: 0.29   3rd Qu.:1.91   3rd Qu.: 0.302   3rd Qu.:1.75
Max.   : 0.58   Max.   :2.88   Max.   : 0.680   Max.   :2.62
    PARANA          PRNPANEMA          SUL              IGUACU
Min.   :-1.650   Min.   :-0.60   Min.   :-1.16   Min.   :-3.210
1st Qu.:-1.088   1st Qu.: 0.46   1st Qu.:-0.25   1st Qu.:-0.340
Median :-0.529   Median : 0.99   Median : 0.31   Median : 0.016
Mean   :-0.523   Mean   : 1.02   Mean   : 0.23   Mean   :-0.152
3rd Qu.: 0.069   3rd Qu.: 1.36   3rd Qu.: 0.67   3rd Qu.: 0.685
Max.   : 0.493   Max.   : 3.83   Max.   : 1.60   Max.   : 1.315
   NORDESTE          NORTE              BMONTE            MAN-AP
Min.   :-0.677   Min.   :-0.1767   Min.   :-0.555   Min.   :0.2
1st Qu.:-0.549   1st Qu.:-0.0624   1st Qu.: 0.092   1st Qu.:1.4
Median :-0.088   Median :-0.0078   Median : 0.899   Median :1.9
Mean   :-0.111   Mean   : 0.0659   Mean   : 0.712   Mean   :1.8
3rd Qu.: 0.160   3rd Qu.: 0.2010   3rd Qu.: 1.235   3rd Qu.:2.5
Max.   : 0.628   Max.   : 0.3811   Max.   : 1.842   Max.   :3.6
```

Range: (-3.21% a +3.83%)

Tabela 3.7 - Desvios Padrão mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2020. Modelo PAR(p)

```
   SUDESTE          MADEIRA          TPIRES          ITAIPU
Min.   :-1.548   Min.   :0.88   Min.   :0.082   Min.   :0.13
1st Qu.:-0.336   1st Qu.:1.04   1st Qu.:0.714   1st Qu.:1.33
Median : 0.488   Median :1.73   Median :0.869   Median :1.53
Mean   : 0.071   Mean   :1.85   Mean   :0.765   Mean   :1.69
3rd Qu.: 0.553   3rd Qu.:2.56   3rd Qu.:0.956   3rd Qu.:2.02
Max.   : 0.738   Max.   :3.20   Max.   :1.281   Max.   :3.44
    PARANA         PRNPANEMA          SUL             IGUACU
Min.   :-0.27   Min.   :-0.67   Min.   :-1.28   Min.   :-2.905
1st Qu.: 0.18   1st Qu.: 0.67   1st Qu.:-0.31   1st Qu.:-0.219
Median : 0.42   Median : 1.13   Median : 0.24   Median : 0.148
Mean   : 0.31   Mean   : 0.95   Mean   : 0.14   Mean   : 0.058
3rd Qu.: 0.48   3rd Qu.: 1.52   3rd Qu.: 0.53   3rd Qu.: 0.746
Max.   : 0.79   Max.   : 2.08   Max.   : 1.57   Max.   : 1.909
   NORDESTE          NORTE            BMONTE            MAN-AP
Min.   :-0.482   Min.   :-0.570   Min.   :-1.4284   Min.   :-0.45
1st Qu.:-0.044   1st Qu.:-0.069   1st Qu.:-0.6784   1st Qu.: 1.70
Median : 0.225   Median : 0.547   Median :-0.1238   Median : 2.41
Mean   : 0.198   Mean   : 0.836   Mean   : 0.0076   Mean   : 2.34
3rd Qu.: 0.300   3rd Qu.: 1.614   3rd Qu.: 0.5209   3rd Qu.: 3.57
Max.   : 1.039   Max.   : 2.822   Max.   : 1.9083   Max.   : 4.11
```

Range: (-2.9% a 4.11%)

Tabela 3.8 - Desvios Padrão mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2021. Modelo PAR(p)-A

```
   SUDESTE          MADEIRA          TPIRES          ITAIPU
Min.   :-0.89   Min.   :0.43   Min.   :0.094   Min.   :0.83
1st Qu.:-0.62   1st Qu.:0.62   1st Qu.:0.546   1st Qu.:1.38
Median :-0.39   Median :0.89   Median :1.037   Median :1.47
Mean   :-0.26   Mean   :0.89   Mean   :1.015   Mean   :1.60
3rd Qu.: 0.21   3rd Qu.:1.05   3rd Qu.:1.525   3rd Qu.:1.80
Max.   : 0.54   Max.   :1.41   Max.   :2.036   Max.   :2.76
    PARANA         PRNPANEMA          SUL             IGUACU
Min.   :-1.697   Min.   :-0.59   Min.   :-1.18   Min.   :-3.3752
1st Qu.:-1.445   1st Qu.: 0.44   1st Qu.:-0.24   1st Qu.:-0.3151
Median :-0.971   Median : 0.90   Median : 0.36   Median : 0.0036
Mean   :-0.720   Mean   : 0.96   Mean   : 0.27   Mean   :-0.1410
3rd Qu.: 0.065   3rd Qu.: 1.27   3rd Qu.: 0.71   3rd Qu.: 0.7321
Max.   : 0.588   Max.   : 3.68   Max.   : 1.67   Max.   : 1.3432
   NORDESTE          NORTE            BMONTE            MAN-AP
Min.   :-0.831   Min.   :0.00   Min.   :-0.616   Min.   :-0.20
1st Qu.:-0.675   1st Qu.:0.16   1st Qu.: 0.045   1st Qu.: 0.66
Median :-0.047   Median :0.31   Median : 0.900   Median : 0.97
Mean   :-0.140   Mean   :0.29   Mean   : 0.680   Mean   : 0.96
3rd Qu.: 0.198   3rd Qu.:0.38   3rd Qu.: 1.209   3rd Qu.: 1.41
Max.   : 0.687   Max.   :0.55   Max.   : 1.768   Max.   : 1.96
```

Range: (-3.37% a +3.68%)

Tabela 3.9 - Desvios Padrão mensais. Estatísticas de diferenças percentuais. CB2021. Modelo PAR(p)

```
   SUDESTE          MADEIRA          TPIRES           ITAIPU
Min.   :-1.56   Min.   :0.81   Min.   :0.081   Min.   :0.016
1st Qu.:-0.58   1st Qu.:0.87   1st Qu.:0.625   1st Qu.:1.236
Median : 0.35   Median :1.21   Median :0.846   Median :1.382
Mean   :-0.04   Mean   :1.27   Mean   :0.724   Mean   :1.549
3rd Qu.: 0.45   3rd Qu.:1.41   3rd Qu.:0.908   3rd Qu.:1.958
Max.   : 0.66   Max.   :2.29   Max.   :1.135   Max.   :2.980
    PARANA          PRNPANEMA          SUL             IGUACU
Min.   :-0.14   Min.   :-0.66   Min.   :-1.29   Min.   :-2.939
1st Qu.: 0.21   1st Qu.: 0.68   1st Qu.:-0.34   1st Qu.:-0.150
Median : 0.58   Median : 1.30   Median : 0.25   Median : 0.121
Mean   : 0.67   Mean   : 1.05   Mean   : 0.14   Mean   : 0.039
3rd Qu.: 1.03   3rd Qu.: 1.54   3rd Qu.: 0.59   3rd Qu.: 0.750
Max.   : 1.70   Max.   : 2.32   Max.   : 1.42   Max.   : 1.876
   NORDESTE         NORTE           BMONTE           MAN-AP
Min.   :-0.32   Min.   :-0.30   Min.   :-1.408   Min.   :0.12
1st Qu.: 0.15   1st Qu.: 0.34   1st Qu.:-0.687   1st Qu.:0.57
Median : 0.39   Median : 0.71   Median :-0.165   Median :0.83
Mean   : 0.40   Mean   : 1.07   Mean   : 0.011   Mean   :1.12
3rd Qu.: 0.60   3rd Qu.: 2.23   3rd Qu.: 0.508   3rd Qu.:1.48
Max.   : 1.28   Max.   : 2.79   Max.   : 1.970   Max.   :3.16
```

Range: (-2.94% a +3.16%)

Mesmo com variação amostral reduzida, foram feitos testes q de aderência ao desvio padrão conforme descrito no item 2.1.2. A Tabela 3.10 apresenta para os casos CB2020 e CB2021, os números de testes q de desvio padrão rejeitados a 5% em cada REE dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A. A última linha apresenta a média do número de rejeições por REE. Ressaltam-se que em todas as rejeições encontradas não houve diferenças entre desvio padrão histórico e gerado relevantes sob o ponto de vista prático, como pode-se avaliar nos gráficos das Figura 3.3 Figura 3.4 e Tabela 3.6,Tabela 3.7,Tabela 3.8 e Tabela 3.9.

Tabela 3.10 - Aderência ao Desvio Padrão de Afluências Mensais. Testes de Mês. Nº de Rejeições

REE	CB2020		CB2021	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	1	3*	2	3*
MADEIRA	11*	12*	8*	12*
TPIRES	0	9*	7*	8*
ITAIPU	12*	11*	12*	11*
PARANA	6*	1	7*	4*
PRNPANEMA	8*	9*	8*	9*
SUL	5*	4*	5*	5*
IGUAUÇU	6*	5*	6*	5*
NORDESTE	0	2	3*	2
NORTE	0	5*	0	6*
BMONTE	7*	6*	7*	6*
MAN-AP	9*	10*	9*	7*
Média	*5,42*	*6,42*	*6,17*	*6,5*

* no de rejeições maiores que 2.

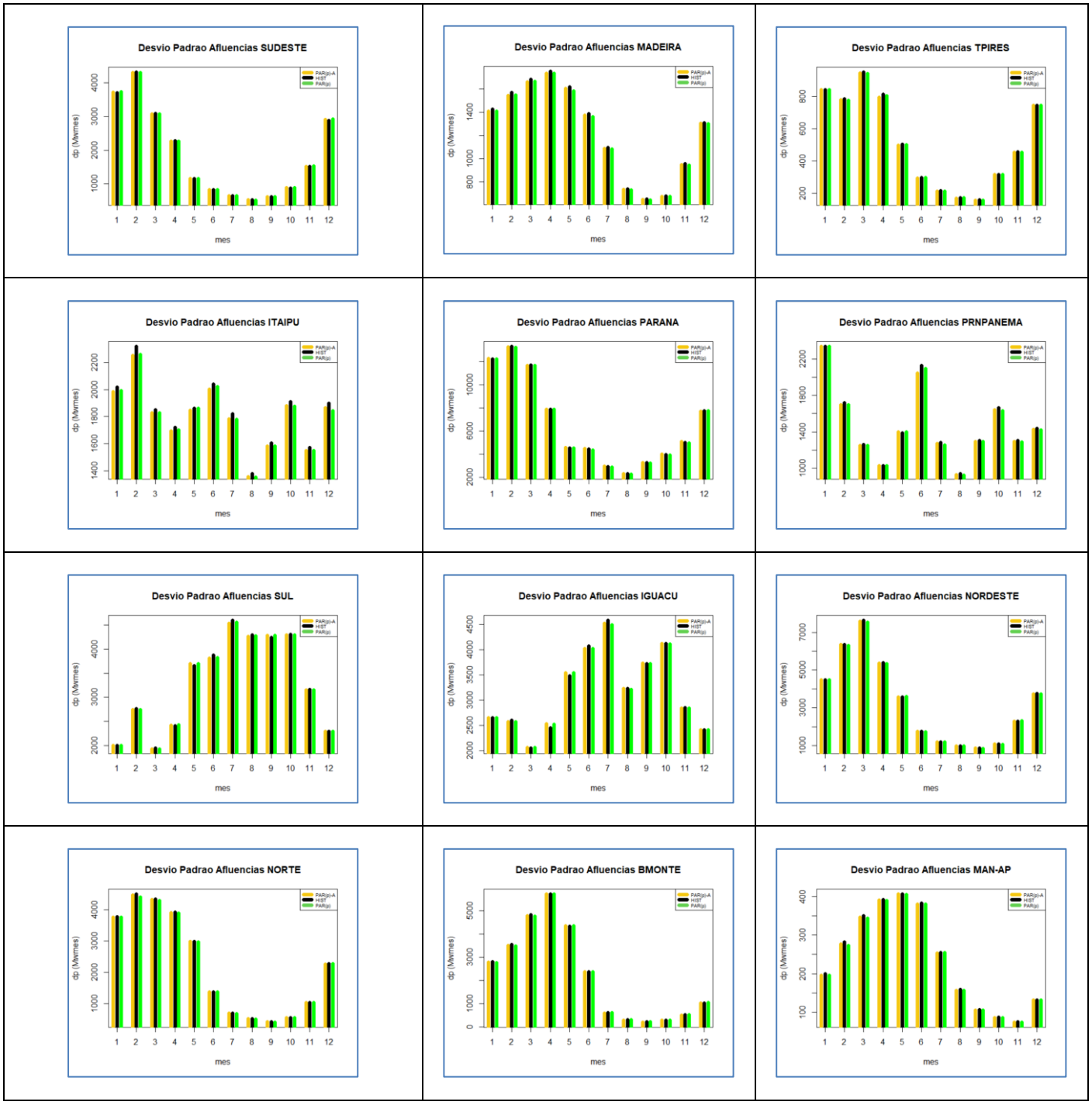


Figura 3.3 - Desvios Padrão de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Forward.

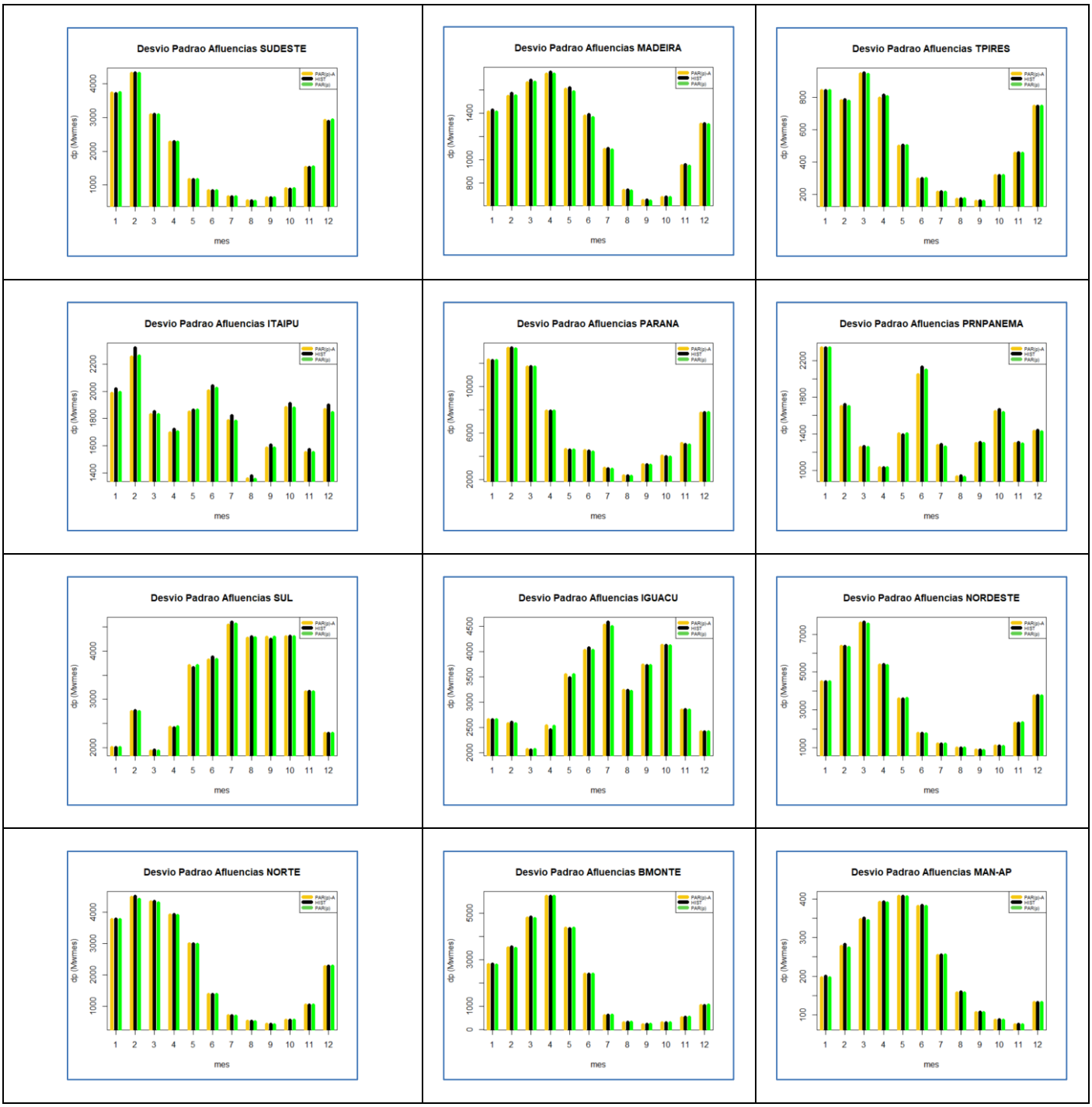


Figura 3.4 - Desvios Padrão de afluências mensais. Caso CB2021. Séries Forward.

3.1.3 Média de Afluências Mensais. Testes de período

Os gráficos da Figura 3.5 e Figura 3.6 apresentam as estatísticas z do teste de média obtidas nas séries forward e backward para cada REE e período do estudo para os modelos PAR(p) e PAR(p)-A para o caso CB2020. A Figura 3.7 e Figura 3.8 apresentam os mesmos gráficos para o caso CB2021.

A Tabela 3.11 e a Tabela 3.12 comparam para os casos CB2020 e CB2021, respectivamente, os números de teste z rejeitados em cada REE nas séries forward e backward dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A. A última linha apresenta a média do número de rejeições por REE. Ressaltam-se nos resultados três aspectos:

- O número de rejeições nas séries forward abaixo de 7 em todos os REEs nos dois modelos. Nestas séries os casos no PAR(p)-A em que ocorreram maior número de rejeições coincidiram com os casos no modelo PAR(p) em que ocorreram maior número de rejeições.
- As médias de números de rejeições por REE dos dois modelos são muito próximas, com pequena vantagem para o modelo PAR(p)-A.
- O número de rejeições nas séries backward foi bastante baixo em todos os casos, sempre igual ou abaixo o valor esperado de rejeições do experimento. Este resultado pode ser atribuído ao uso da média das aberturas, o que provoca uma redução da variabilidade amostral para a média equivalente a um aumento do tamanho da amostra.

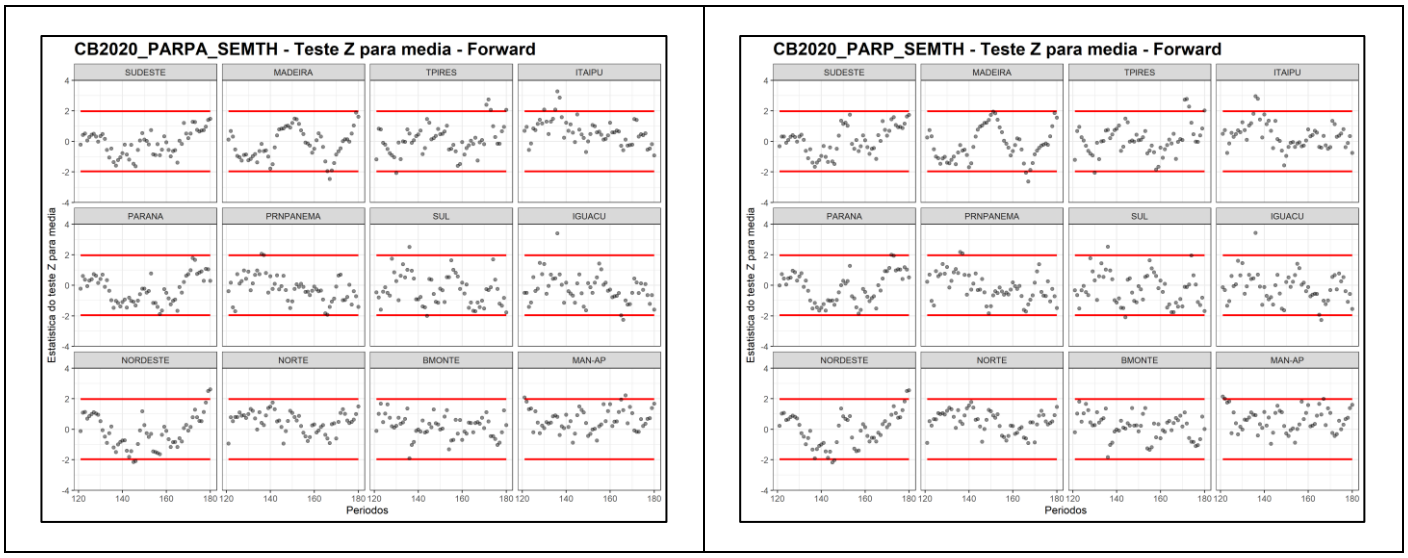
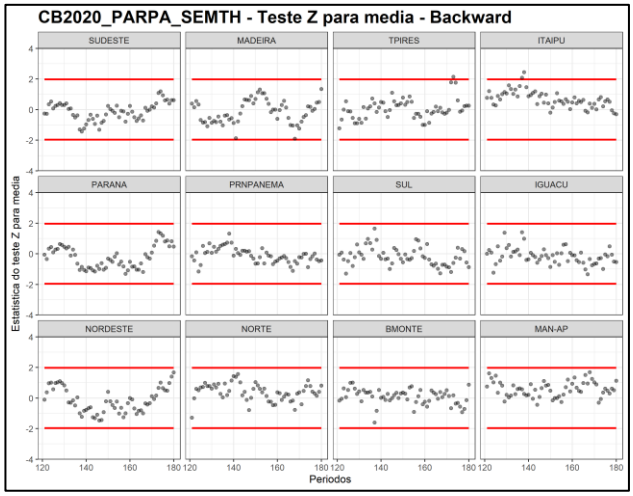


Figura 3.5 - Testes de Aderências para médias de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Forward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.



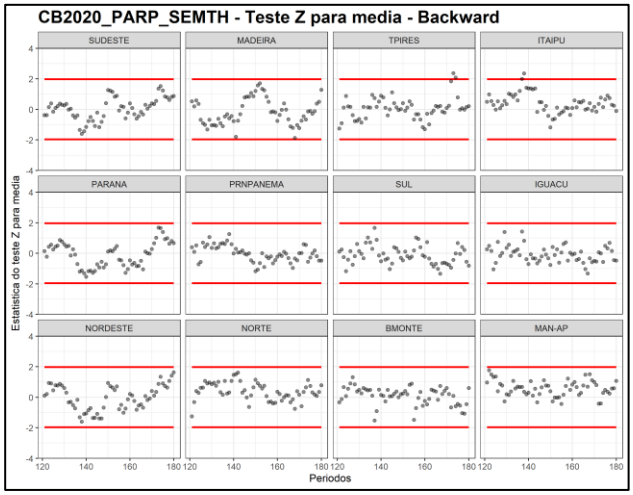
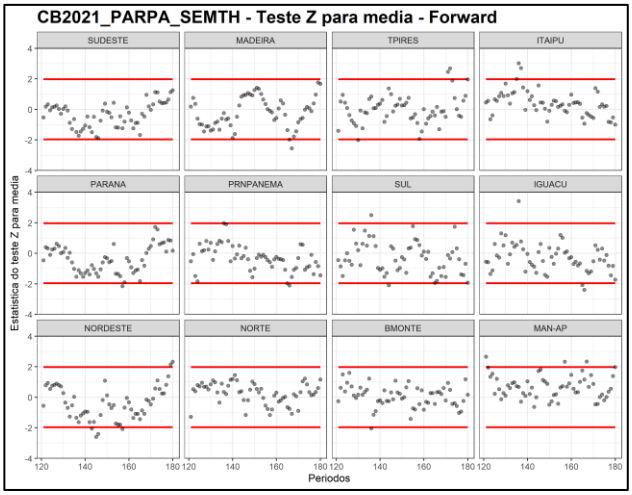


Figura 3.6 - Testes de Aderências para médias de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Backward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.



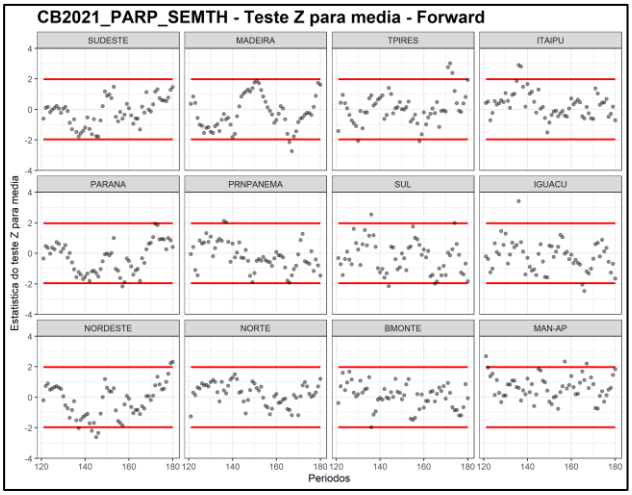
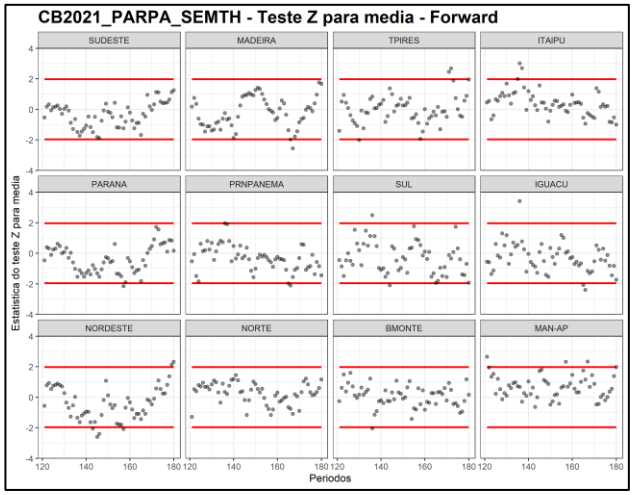


Figura 3.7 - Testes de Aderências para médias de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Backward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.



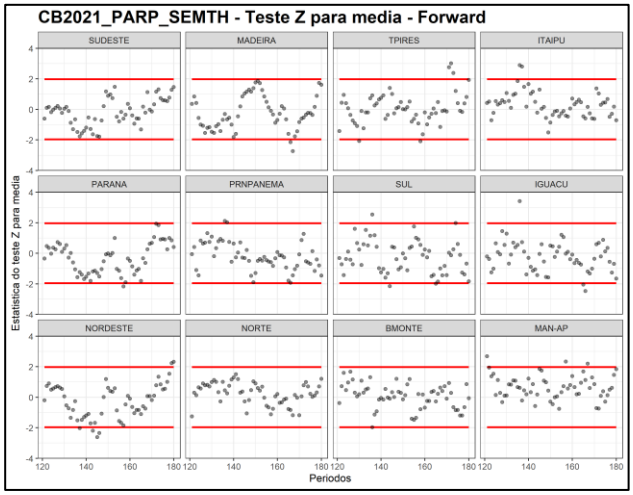


Figura 3.8 - Testes de Aderências para médias de afluências mensais. Caso CB2021. Séries Forward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.

Tabela 3.11 - Números de Rejeições a 5% de Aderência a Média de Afluências Mensais. CB2020

REE	Forward		Backward	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	0	0	0	0
MADEIRA	1	1	0	0
TPIRES	5	5	1	2
ITAIPU	4	2	2	2
PARANA	0	1	0	0
PARANAPANEMA	1	2	0	0
SUL	1	2	0	0
IGAUÇU	3	2	0	0
NORDESTE	4	4	0	0
NORTE	0	0	0	0
BMONTE	0	0	0	0
MAN-AP	1	3	0	0
Média	*1,67*	*1,83*	*0,25*	*0,33*

Tabela 3.12 - Números de Rejeições a 5% de Aderência a Média de Afluências Mensais. CB2021

REE	Forward		Backward	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	0	0	0	0
MADEIRA	2	2	1	1
TPIRES	3	5	1	3

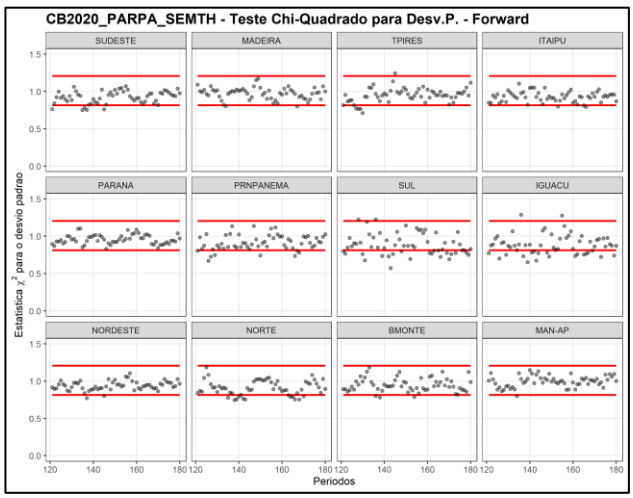
REE	Forward		Backward	
	Par(p)-A	**PAR(p)**	**Par(p)-A**	**PAR(p)**
ITAIPU	3	2	1	2
PARANA	1	1	0	0
PARANAPANEMA	3	2	0	0
SUL	2	4	0	0
IGAUÇU	3	3	0	0
NORDESTE	6	6	0	0
NORTE	0	0	0	0
BMONTE	1	1	0	0
MAN-AP	4	3	1	0
média	*2,33*	*2,42*	*0,333*	*0,5*

3.1.4 Desvio Padrão de Afluências Mensais. Testes de período

A Figura 3.9 e Figura 3.10 apresentam as estatísticas q do teste de desvio padrão obtidas nas séries forward e backward para cada REE e período do estudo para os modelos PAR(p) e PAR(p)-A para o caso CB2020. A Figura 3.11 e Figura 3.12 apresentam os resultados para o caso CB2021.

A Tabela 3.13 e a Tabela 3.14 comparam para os casos CB2020 e CB2021, respectivamente, os números de teste q rejeitados em cada REE nas séries forward e backward dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A. A última linha apresenta a média do número de rejeições por REE. Ressalta-se três aspectos dos resultados:

- Chamou atenção o número de rejeições nas séries dos REEs SUL e IGUAÇU nos dois modelos. Estas rejeições podem ser atribuídas ao maior afastamento das distribuições das afluências nestes REEs em relação à distribuição normal, introduzindo tendencia a subestimação nos cálculos de p-valores, e em decorrência, à aumento no número de rejeições com amostras menores (ver rodapé no item 2.12).
- Assim como na análise de média, os casos no PAR(p)-A em que ocorreram maior número de rejeições coincidiram com os casos no modelo PAR(p) em que ocorreram maior número de rejeições.
- As médias de números de rejeições por REE dos dois modelos são muito próximas, com pequena vantagem para o modelo PAR(p)-A.
- Assim como para a média, observar-se menor número de rejeições nas séries backward.



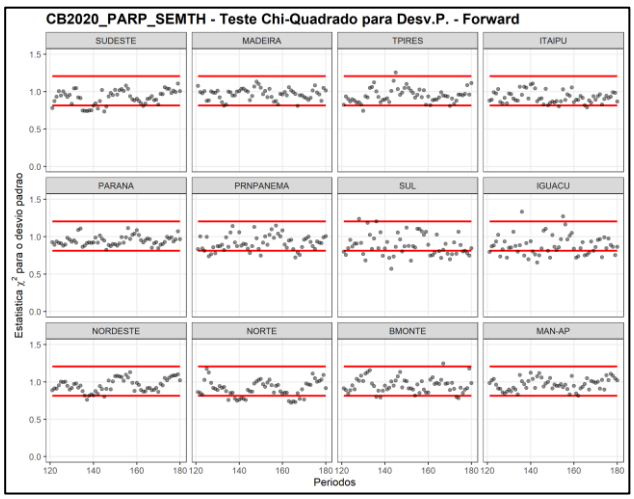
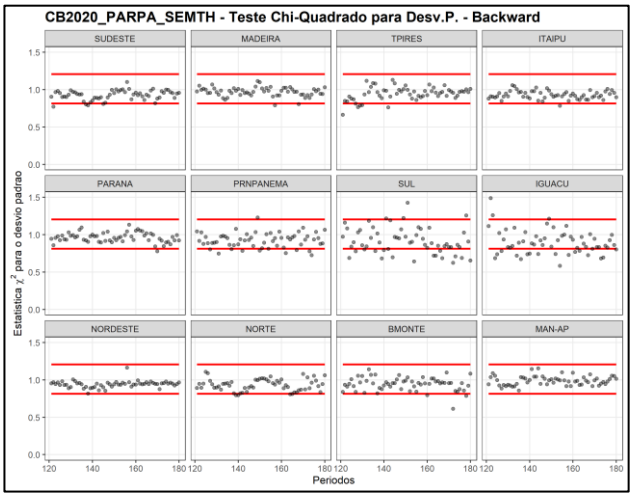


Figura 3.9 - Testes de Aderências para desvio padrão de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Forward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.



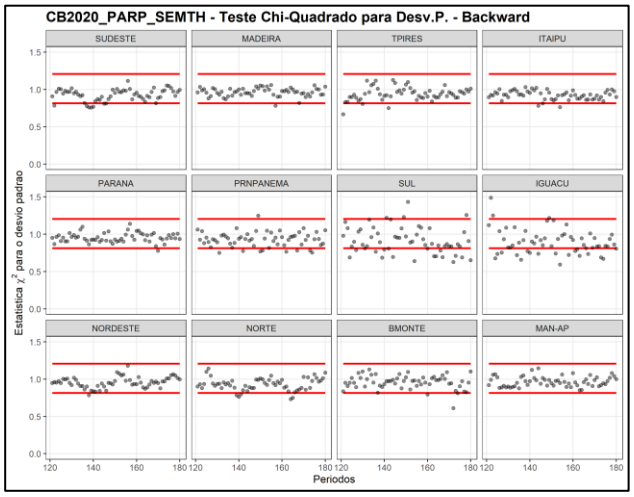


Figura 3.10 - Testes de Aderências para desvio padrão de afluências mensais. Caso CB2020. Séries Backward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.

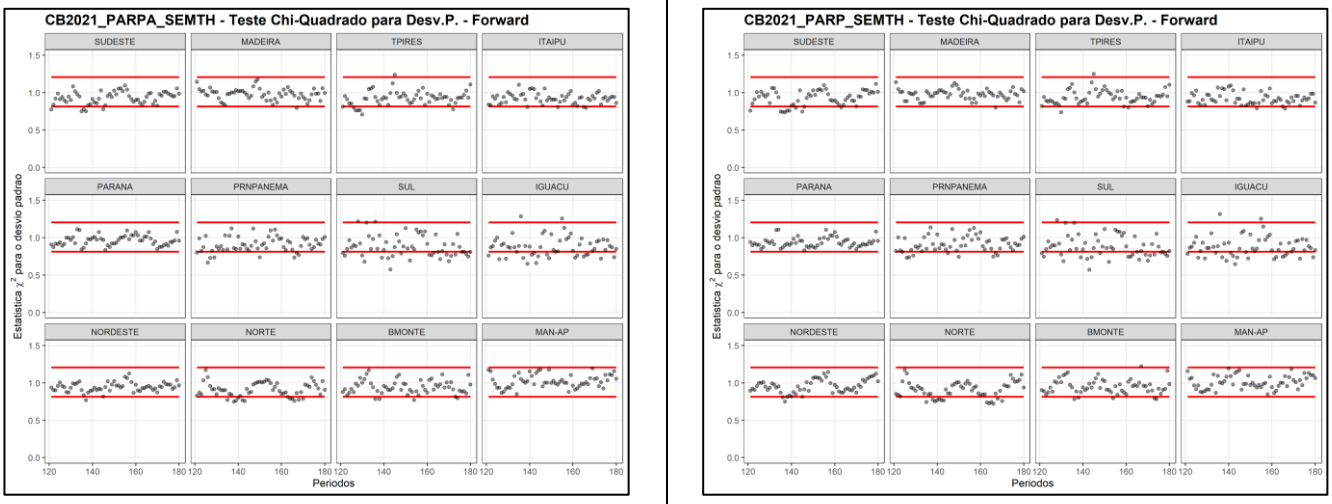


Figura 3.11 - Testes de Aderências para desvio padrão de afluências mensais. Caso CB2021. Séries Forward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.

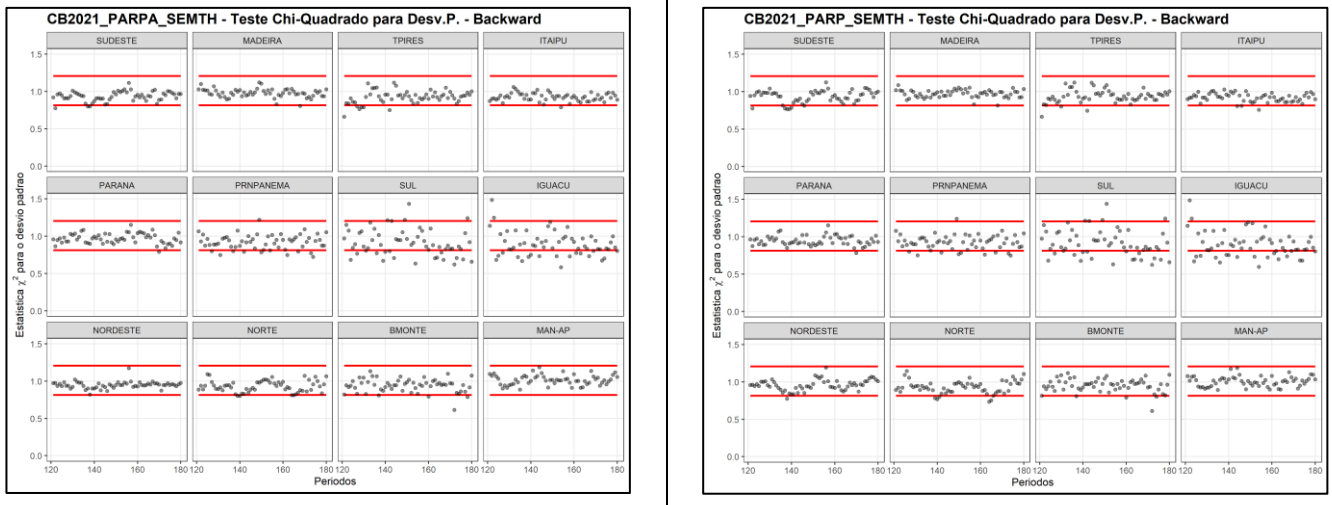


Figura 3.12 - Testes de Aderências para desvio padrão de afluências mensais. Caso CB2021. Séries Backward. As linhas em vermelho indicam os limites para rejeição a 5%.

Tabela 3.13 - Números de Rejeições a 5% de Aderência a Desvio Padrão de Afluências Mensais. CB2020

REE	Forward		Backward	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	5	11*	4	7
MADEIRA	2	2	2	1
TPIRES	5	3	6	3
ITAIPU	3	2	1	3
PARANA	0	0	1	1
PARANAPANEMA	8*	9*	11*	9*
SUL	25*	24*	21*	22*
IGAUÇU	22*	20*	20*	22*
NORDESTE	2	2	0	1
NORTE	12*	13*	4	5
BMONTE	3	5	3	3
MAN-AP	1	0	0	0
Média	*7,33*	*8,09*	*6,54*	*6,42*

* número de rejeições maiores que 7.

Tabela 3.14 - Números de Rejeições a 5% de Aderência a desvio padrão de Afluências Mensais. CB2021

REE	Forward		Backward	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	5	10*	3	7
MADEIRA	1	1	1	0
TPIRES	8*	4	6	3
ITAIPU	4	3	1	3
PARANA	0	0	1	1
PARANAPANEMA	8*	9*	11	10
SUL	26*	23*	21	23
IGAUÇU	22*	21*	20	22
NORDESTE	1	4	0	1
NORTE	12*	13*	4	6
BMONTE	4	6	4	5
MAN-AP	0	0	0	0
Média	*7,58*	*7,83*	*6,00*	*7,36*

* número de rejeições maiores que 7.

3.2 Estatísticas de Requisitos do Planejamento da Operação do SIN

Os testes para as estatísticas de requisitos foram em geral aplicados por REE e individualmente para cada um dos 12 meses (testes de meses) e individualmente para os 60 meses do período de estudo (testes de períodos), ressaltando-se que os testes de estatísticas de afluências anuais (autocorrelação defasagem 1 e correlação espacial) e os testes de sequencias negativas, por sua natureza, não são aplicados por mês ou período. O teste de autocorrelação defasagem um de afluência anual é feito de forma global agrupando todos os REEs.

Como as estatísticas testadas nesta seção não estão incorporadas explicitamente nas modelagens matemáticas, a abordagem é a tradicional em testes estatísticos, verificando-se se as diferenças entre estatísticas geradas e históricas se encontram dentro dos limites tolerados, conforme os testes descritos no capítulo 2. Exceção é feita no item de máximos das métricas de sequência negativa, onde a análise é feita apresentando para avaliação qualitativa máximos históricos e estatísticas dos máximos gerados.

As estatísticas para os testes de mês, testes de estatísticas de afluências anuais e de sequências de negativas, à exceção das de máximos, foram coletadas nas impressões do modelo NEWAVE. As estatísticas para os testes de período e de máximos de sequências negativas foram calculadas usando o arquivo de afluências geradas produzidas pelo modelo GEVAZP[6].

3.2.1 Distribuição de Afluências Mensais. Testes de períodos.

Os testes de distribuição descritos no item 2.2.1 foram aplicados por REE individualmente para cada um dos 60 meses do período de estudo (testes de períodos) dos casos CB2020 e CB2021. As distribuições de afluências geradas utilizadas para os testes desta seção foram obtidas usando as afluências das séries forward geradas pelo NEWAVE.

A Tabela 3.15 apresenta os números de rejeições a 5% para os casos CB2020 e CB2021. Dessa tabela ressalta-se:

- As distribuições de afluências mensais dos cenários dos dois modelos apresentaram boa aderência às distribuições históricas.
- As médias dos números de rejeições por REE foram abaixo da média esperada (3) nos dois modelos e são muito próximas, com pequena vantagem para o modelo PAR(p).
- O limite de 7 rejeições foi suplantado nos dois modelos apenas para o REE Paranapanema.

Tabela 3.15 - Distribuições de Afluências Mensais. Testes de Períodos. No de Rejeições a 5%.

REE	CB2020		CB2021	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
SUDESTE	0	1	0	0
MADEIRA	5	4	7	4
TPIRES	0	0	0	0
ITAIPU	4	0	2	0
PARANA	1	0	0	1
PARANAPANEMA	9*	9*	9*	12*
SUL	0	0	0	0
IGAUÇU	2	2	3	2
NORDESTE	1	2	1	2

[6] Neste caso, o modelo GEVAZP foi executado alimentado pelo histórico das energias naturais afluentes.

REE	CB2020		CB2021	
	Par(p)-A	PAR(p)	Par(p)-A	PAR(p)
NORTE	4	4	2	3
BMONTE	1	1	2	1
MAN-AP	0	0	1	0
média	*2,25*	*1,92*	*2,25*	*2,08*

* nº de rejeições maiores que 7.

Para cada REE e período foi calculado a razão entre os p-valores dos cenários PAR(p)-A e PAR(p). A Tabela 3.16 apresenta os resultados destes testes para os casos CB2020 e CB2021, podendo-se verificar que as duas modelagens alcançam aderências muito semelhantes, com ligeira vantagem para o PAR(p)-A.

Tabela 3.16 - Distribuições de Afluências Mensais. Média de razão de p-valores.

REE	CB2020		CB2021	
	Média de razões	Significância*	Média de razões	Significância*
SUDESTE	1.2185	0.01103**	1.1471	0.02504**
MADEIRA	1.128	0.12643	1.0679	0.41695
TPIRES	1.048	0.31065	1.0779	0.090377
ITAIPU	0.86707	0.013062**	0.9488	0.82907
PARANA	1.0055	0.90563	1.10148	0.71215
PRNPANEMA	2.0176	0.19336	1.8848	0.10767
SUL	1.0523	0.081419	1.0387	0.14109
IGUAÇU	1.0327	0.52802	1.01164	0.74206
NORDESTE	1.142	0.094413	1.1621	0.047091**
NORTE	1.0609	0.43924	1.0219	0.81677
BMONTE	1.1184	0.021241**	1.1625	0.0035997**
MAN-AP	1.0459	0.26124	1.0979	0.036596**
Média	*1.158*		*1.14356*	

* teste H0: média de razões = 1; ** sign <0.05

3.2.2 Correlogramas de Afluências Mensais.

Os testes de correlograma de afluências mensais descritos no item 2.2.2 foram aplicados por REE individualmente para cada mês (teste de mês) usando as afluências geradas na simulação final. Os correlogramas históricos e gerados utilizadas para os testes desta seção foram coletados nas impressões do modelo NEWAVE dos casos CB2020 e CB2021.

A Figura 3.13 ilustra a aplicação dos testes de correlograma para alguns meses do caso CB2020 para o REE Sudeste. A Figura 3.13 evidencia que incorporação da parcela A_{t-1} nas autorregressões da modelagem de séries temporais melhora substancialmente a reprodução dos correlogramas mensais históricos, principalmente quando se considera as maiores defasagens. As autocorrelações mensais das maiores defasagens dos cenários gerados pelo modelo PAR(p) em geral se afastam dos valores históricos e tangenciam ou ultrapassam o limite inferior da faixa de aceitação em vários meses (junho e agosto na figura). Já as autocorrelações mensais das afluências geradas pelo modelo PAR(p)-A se aproximam mais dos valores históricos, se localizando em geral dentro da faixa de aceitação a 5% do teste de igualdade de correlogramas. O apêndice apresenta figuras comparando todos correlogramas gerados e históricos para o caso CB2020. As figuras para o caso CB2021 são bastante semelhantes.

A Tabela 3.17 e a Tabela 3.18 apresentam para os modelos PAR(p) e PAR(p)-A os p-valores de cada teste executado com o caso CB2020. A Tabela 3.19 e a Tabela 3.20 se referem ao caso CB2021. Para cada REE e período foi calculado a razão entre os p-valores dos cenários PAR(p)-A e PAR(p). A Tabela 3.21 e a Tabela 3.22 apresentam os p-valores destes testes para os casos CB2020 e CB2021.

Das Tabela 3.17,Tabela 3.18, Tabela 3.19, Tabela 3.20, Tabela 3.21, Tabela 3.22, ressalta-se:

- Os testes com o modelo PAR(p) detectaram baixas aderências aos correlogramas históricos em alguns casos. O limite de 3 rejeições foi suplantado para os REEs Sudeste, Teles Pires, Itaipu, Nordeste e Norte. As baixas aderências ocorreram com maior frequência nos meses de abril a setembro.
- Os testes com o modelo PAR(p)-A demonstraram boa aderência aos correlogramas históricos na grande maioria dos casos. A única ocorrência de mais de 3 rejeições ocorreu para o REE de TPIRES no caso CB2020.
- As razões de p-valores indicaram ampla vantagem da aderência do modelo PAR(p)-A

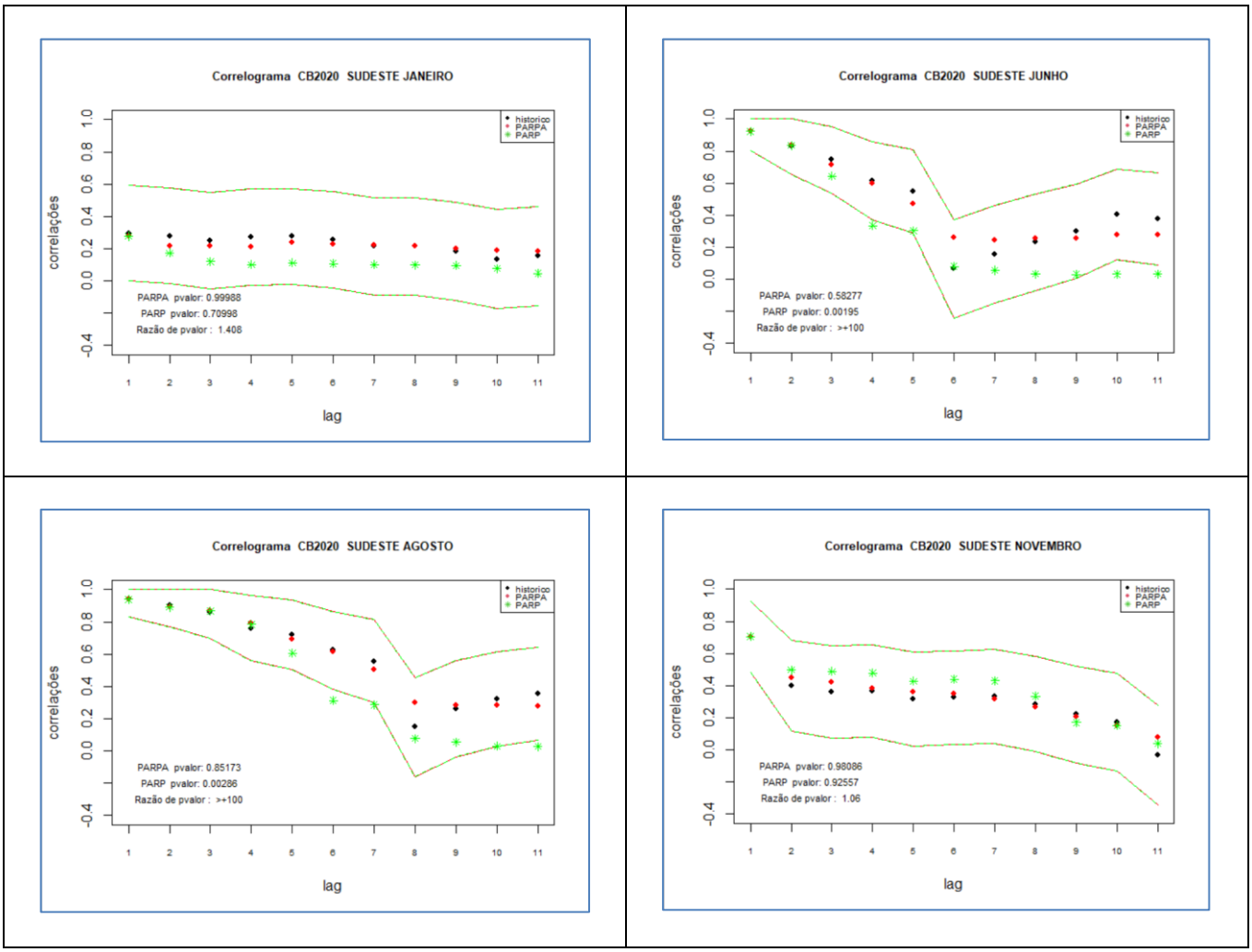


Figura 3.13 - Testes de Correlograma de Afluências Mensais. As linhas indicam faixas de aceitação a 5%.

Tabela 3.17 - Testes de Correlograma. P-valores. CB2020. Modelo PAR(p)

REE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	#rej
SUDESTE	0.70	0.40	0.90	0.40	0.03*	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*	0.24	0.92	1.00	5
MADEIRA	0.85	0.35	0.41	0.36	0.01*	0.37	0.46	0.44	0.51	0.85	0.95	0.99	1
TPIRES	0.84	0.04*	0.04*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*	0.03*	0.97	0.90	9
ITAIPU	0.64	0.12	0.22	0.02*	0.00*	0.00*	0.00*	0.63	0.73	0.46	0.34	0.01*	5
PARANA	0.64	0.87	0.97	0.35	0.05	0.09	0.06*	0.11	0.16	0.50	0.88	0.94	1
PRNPANEMA	0.19	0.23	0.35	0.01*	0.00*	0.00*	0.01*	0.09	0.14	0.18	0.85	0.65	4
SUL	0.90	0.70	0.08	0.46	0.10	0.29	0.06	0.57	0.78	0.90	0.93	0.88	0
IGUAÇU	0.78	0.55	0.80	0.85	0.89	0.22	0.09	0.12	0.92	0.18	0.90	0.61	0
NORDESTE	1.00	0.10	0.35	0.06	0.02*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*	0.77	1.00	6
NORTE	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.40	0.01*	0.01*	0.01*	0.00*	0.51	1.00	4
BMONTE	0.99	0.99	0.25	0.67	0.61	0.24	0.61	0.40	0.05	0.66	1.00	0.94	0
MAN-AP	0.99	0.99	0.41	0.62	0.37	0.98	0.49	0.88	0.59	0.21	0.50	1.00	0
#rej	0	1	1	3	6	5	7	4	4	3	0	1	2.92

* rejeição a 5%

Tabela 3.18 - Testes de Correlograma. P-valores. CB2020. Modelo PAR(p)-A

REE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	#rej
SUDESTE	1.00	0.71	0.90	0.99	0.95	0.57	0.73	0.84	0.98	0.99	0.98	1.00	0
MADEIRA	0.88	0.99	0.78	0.66	0.69	0.87	0.96	0.89	0.94	0.99	1.00	1.00	0
TPIRES	0.76	0.99	0.94	0.49	0.58	0.03*	0.00*	0.00*	0.00*	0.43	0.62	1.00	4
ITAIPU	0.83	0.99	0.53	0.90	0.71	0.14	0.97	0.72	0.98	0.82	0.81	0.56	0
PARANA	1.00	1.00	0.80	0.98	0.97	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0
PRNPANEMA	0.93	0.85	0.85	0.83	0.05*	0.00*	0.37	0.92	0.91	0.96	0.89	1.00	2
SUL	0.54	0.73	0.03*	0.82	0.24	0.77	0.22	0.86	0.83	0.94	0.93	0.64	1
IGUAÇU	0.93	0.85	0.92	1.00	0.97	0.67	0.51	0.98	1.00	0.84	0.97	0.75	0
NORDESTE	0.99	1.00	0.99	0.92	0.88	0.84	0.45	0.20	0.39	1.00	1.00	0.91	0
NORTE	1.00	0.91	0.97	1.00	1.00	1.00	0.69	0.51	0.89	0.99	1.00	1.00	0
BMONTE	0.95	1.00	0.23	0.65	0.52	0.71	1.00	0.74	0.23	0.96	0.99	0.97	0
MAN-AP	0.89	0.55	0.24	0.57	0.88	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.88	0
#rej	0	0	1	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0.58

* rejeição a 5%

Tabela 3.19 - Testes de Correlograma. P-valores. CB2021. Modelo PAR(p)

REE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	#REJ
SUDESTE	1.00	0.79	0.92	0.78	0.05	0.01*	0.00*	0.00*	0.01*	0.45	0.93	0.99	4
MADEIRA	0.84	0.34	0.38	0.38	0.01	0.44	0.48	0.45	0.52	0.90	0.98	0.98	0
TPIRES	0.86	0.03*	0.05*	0.01*	0.00	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*	0.03*	0.97	0.88	8
ITAIPU	0.60	0.18	0.26	0.03*	0.00	0.00*	0.00*	0.65	0.76	0.52	0.31	0.02*	4
PARANA	0.51	0.73	0.96	0.34	0.04	0.16	0.08	0.33	0.32	0.87	0.97	0.93	0
PRNPANEMA	0.35	0.35	0.36	0.01*	0.00*	0.00*	0.05	0.20	0.28	0.76	0.94	1.00	3
SUL	0.89	0.69	0.07	0.46	0.09	0.30	0.06	0.62	0.87	0.90	0.89	0.89	0
IGUAÇU	0.78	0.56	0.83	0.86	0.91	0.30	0.09	0.11	0.91	0.22	0.90	0.63	0
NORDESTE	1.00	0.07	0.33	0.05*	0.02*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*	0.78	1.00	7
NORTE	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.35	0.01*	0.00*	0.01*	0.00*	0.44	1.00	4
BMONTE	0.99	0.98	0.21	0.66	0.60	0.24	0.61	0.40	0.06	0.65	1.00	0.93	0
MAN-AP	0.87	0.99	0.32	0.53	0.55	1.00	0.83	1.00	0.99	0.38	0.21	0.98	0
#rej	0	1	1	3	2	5	5	4	4	3	0	1	2.50

* rejeição a 5%

Tabela 3.20 - Testes de Correlograma. P-valores. CB2021. Modelo PAR(p)-A

REE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	#rej
SUDESTE	1.00	0.71	0.90	0.99	0.95	0.56	0.71	0.84	0.98	0.99	0.99	1.00	0
MADEIRA	0.86	0.99	0.74	0.67	0.68	0.86	0.98	0.94	0.95	0.99	1.00	1.00	0
TPIRES	0.79	0.97	0.95	0.83	0.82	0.07	0.00*	0.00*	0.61	0.61	0.99	0.93	2
ITAIPU	0.79	0.98	0.57	0.89	0.71	0.14	0.97	0.97	0.99	0.86	0.80	0.53	0
PARANA	1.00	0.99	0.79	0.97	0.96	1.00	0.98	0.98	1.00	0.99	1.00	1.00	0
PRNPANEMA	0.94	0.89	0.85	0.82	0.05*	0.00*	0.37	0.37	0.91	0.95	0.89	1.00	2
SUL	0.53	0.73	0.03*	0.82	0.21	0.78	0.23	0.23	0.88	0.95	0.90	0.63	1
IGUAÇU	0.93	0.87	0.93	1.00	0.98	0.67	0.50	0.50	0.99	0.81	0.97	0.77	0
NORDESTE	0.99	1.00	0.99	0.92	0.88	0.85	0.48	0.48	0.47	1.00	1.00	0.95	0
NORTE	1.00	0.87	0.96	1.00	1.00	0.99	0.67	0.67	0.87	0.99	1.00	1.00	0
BMONTE	0.94	1.00	0.65	0.64	0.51	0.71	0.98	0.85	0.18	0.96	0.99	0.97	0
MAN-AP	0.75	0.37	0.16	0.43	0.90	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	0.60	0.96	0
#rej	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0.42

* rejeição a 5%

Tabela 3.21 - Correlograma de Afluências Mensais. CB2020. Razão de p-valores.

REE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	pbar	pvalue
SUDESTE	1.44	1.77	1.01	2.48	35.73	100.00	100.00	100.00	97.18	4.22	1.06	1.00	37.16	0.022*
MADEIRA	1.04	2.85	1.91	1.85	61.09	2.33	2.08	2.04	1.84	1.17	1.17	1.01	6.70	0.27
TPIRES	0.90	27.32	22.38	100.00	100.00	100.00	100.00	1.00	64.99	23.30	23.30	1.03	47.01	0.003*
ITAIPU	1.29	8.43	2.44	47.07	100.00	100.00	100.00	1.15	1.35	1.78	1.78	44.83	34.18	0.021*
PARANA	1.57	1.15	0.83	2.79	20.13	17.32	17.32	9.17	6.15	2.00	2.00	1.05	6.79	0.020*
PRNPANEMA	4.86	3.73	2.40	98.19	11.15	38.03	38.03	10.24	6.70	5.36	5.36	1.54	18.80	0.05
SUL	0.60	1.05	0.35	1.79	100.00	3.72	3.72	1.50	1.06	1.04	1.04	0.72	9.71	0.311
IGUAÇU	1.20	1.55	1.14	1.17	2.64	5.51	5.51	8.08	1.08	4.70	4.70	1.24	3.21	0.01*
NORDESTE	0.99	10.20	2.86	15.30	3.03	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.91	52.77	0.003*
NORTE	1.00	0.96	0.97	1.00	100.00	77.86	77.86	98.28	77.71	100.00	100.00	1.00	53.05	0.003*
BMONTE	0.96	1.00	0.92	0.97	2.51	1.64	1.64	1.83	4.15	1.45	1.45	1.03	1.63	0.04*
MAN-AP	0.90	0.55	0.60	0.92	3.03	2.02	2.02	1.13	1.68	4.80	4.80	0.88	1.94	0.06

Duas últimas colunas: teste de igualdade de média = 1. * rejeição a 5%

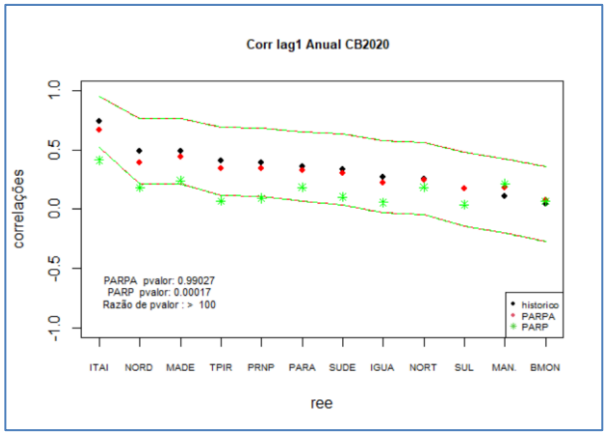
Tabela 3.22 - Correlograma de Afluências Mensais. CB2021. Razão de p-valores.

REE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	pbar	pvalue
SUDESTE	1.00	0.91	0.98	1.27	20.17	84.13	100.00	100.00	100.00	2.19	1.06	1.01	34.39	0.029*
MADEIRA	1.03	2.91	1.97	1.75	52.15	1.94	2.04	2.09	1.83	1.11	1.02	1.01	5.90	0.268
TPIRES	0.92	30.58	20.06	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	90.19	22.57	1.02	1.06	55.53	0.001*
ITAIPU	1.30	5.45	2.22	35.15	100.00	100.00	100.00	1.32	1.31	1.65	2.60	27.24	31.52	0.031*
PARANA	1.97	1.35	0.82	2.84	21.48	6.06	11.81	3.06	3.11	1.13	1.03	1.07	4.64	0.063
PRNPANEMA	2.71	2.54	2.36	100.00	100.00	100.00	7.34	4.71	3.30	1.25	0.95	1.00	27.18	0.063
SUL	0.59	1.06	0.38	1.80	2.41	2.59	3.86	1.37	1.02	1.05	1.01	0.70	1.49	0.124
IGUAÇU	1.19	1.56	1.12	1.17	1.07	2.21	5.33	8.93	1.10	3.63	1.07	1.22	2.47	0.06
NORDESTE	0.99	13.82	3.00	18.59	52.83	100	100.00	100.00	100.00	100.00	1.28	0.95	49.29	0.004*
NORTE	1.00	9.91	0.96	1.00	1.00	2.86	100.00	100.00	100.00	100.00	2.29	1.00	35.00	0.032*
BMONTE	0.96	1.02	3.08	0.98	0.85	3.00	1.61	1.65	3.30	1.46	0.99	1.04	1.66	0.030*
MAN-AP	0.86	0.37	0.49	0.81	1.37	0.96	1.19	0.99	1.01	2.60	2.88	0.98	1.21	0.365

Duas últimas colunas: teste de igualdade de média = 1. * rejeição a 5%

3.2.3 Autocorrelações Defasagem Um de Afluências Anuais.

Os testes de autocorrelações defasagem um de afluências anuais foram aplicados de forma agrupada num teste geral único de significância ao conjunto dos 12 REEs conforme descrito no item 2.2.3. Foram usadas estimativas de autocorrelações defasagem um de afluências históricas e geradas na simulação final coletadas nas impressões do modelo NEWAVE dos casos CB2020 e CB2021. A Figura 3.14 ilustra os testes para os dois casos.



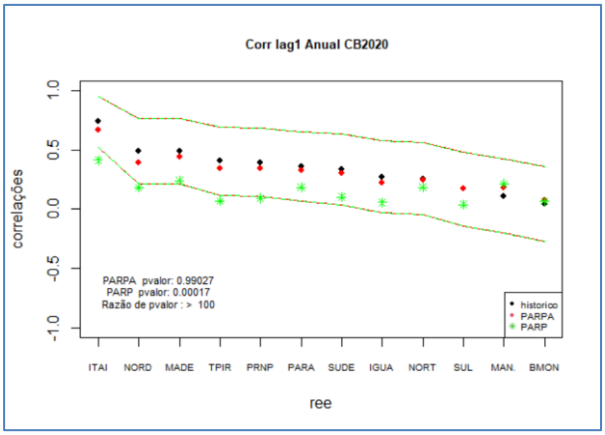


Figura 3.14 - Testes de Autocorrelações Defasagem Um Afluências Anuais. As linhas indicam faixas de aceitação a 5%.

Pode-se observar o impacto positivo causado pela incorporação da parcela A_{t-1} nas autorregressões do modelo PAR(p). As autocorrelações anuais defasagem um do modelo PAR(p), em geral são inferiores aos valores históricos e tangenciam ou ultrapassam o limite inferior da faixa de aceitação em vários REEs. Em decorrência, o teste rejeita a igualdade entre autocorrelações defasagem 1 históricas e geradas no caso do modelo PAR(p). Já, as autocorrelações anuais do modelo PAR(p)-A se aproximam dos valores históricos, se localizando todas dentro da faixa de aceitação a 5% do teste de igualdade de correlogramas.

3.2.4 Correlações Espaciais entre Afluências Anuais.

Os testes de correlações espaciais entre afluências anuais foram aplicados para cada REE agrupando-se as correlações do REE em foco com os outros REEs conforme descrito no item 2.2.5. Foram usadas estimativas de correlações espaciais estimadas de afluências históricas e geradas na simulação final coletadas nas impressões do modelo NEWAVE dos casos CB2020 e CB2021. A Figura 3.15 e a Figura 3.16 apresentam a correlação espacial anual para os REEs Sudeste e Madeira. Gráficos similares para os demais REEs estão seção 5. A Tabela 3.23 e a Tabela 3.24 apresentam os p-valores dos testes de cada REE e suas razões para os dois casos.

Pode-se observar na Tabela 3.23 e na Tabela 3.24 que, em geral, as correlações espaciais das séries geradas estão de acordo com os valores históricos. As duas únicas rejeições a 5% dos dois casos ocorrem nas duas modelagens se referem à correlação espacial entre os REEs Sudeste e Nordeste nas séries geradas pelos dois modelos. Outra observação é que não existe impacto relevante nas correlações espaciais pela troca do modelo PAR(p) pelo modelo PAR(p)-A. A hipótese de igualdade das médias das p-razões é aceita a 5% nos dois casos estudados.

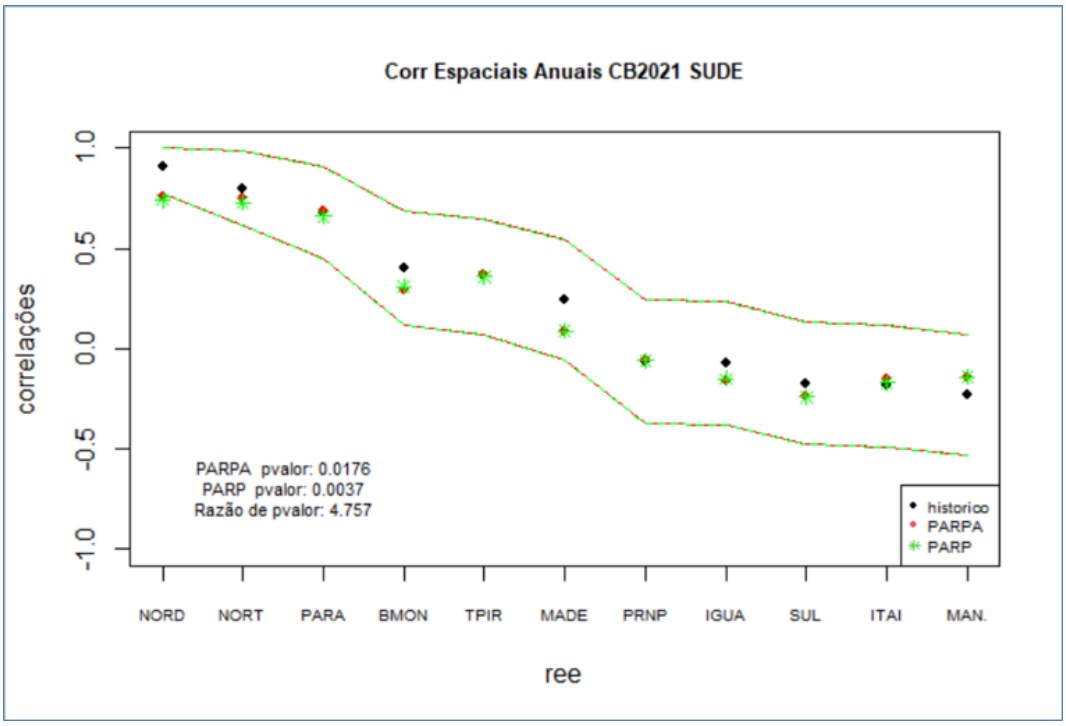


Figura 3.15 – Correlação espacial anual entre o REE Sudeste e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

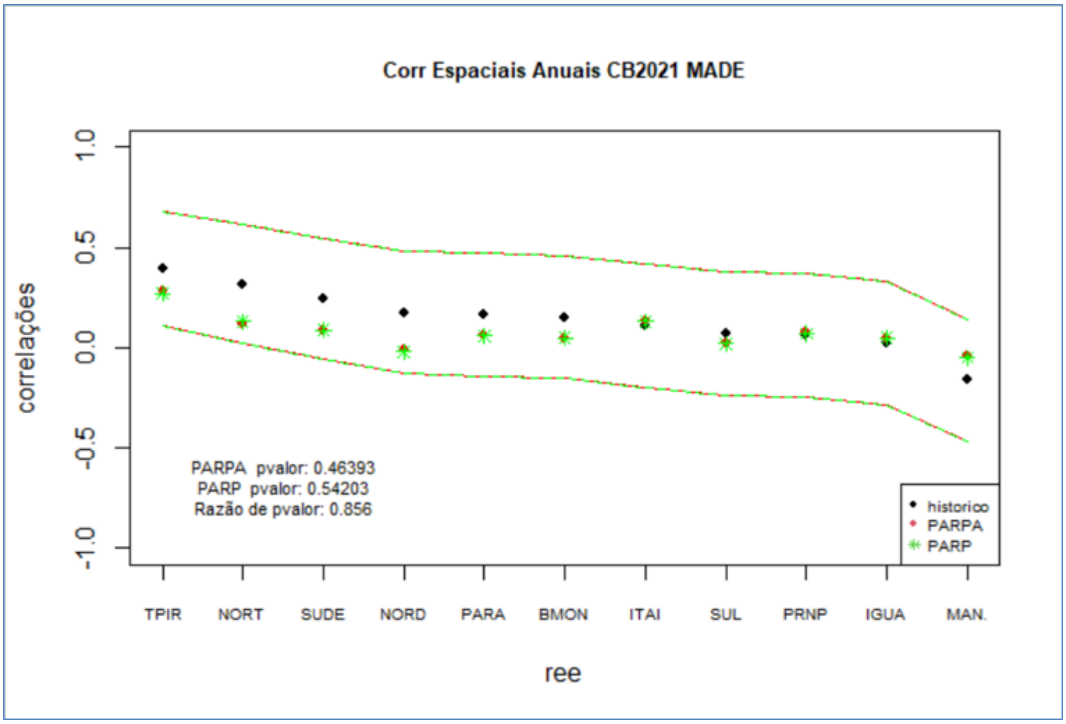


Figura 3.16 - Correlação espacial anual entre o REE Madeira e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

Tabela 3.23 - Correlação Espacial Anual. CB2020

REE	p-valor PAR(p)-A	p-valor PAR(p)	Razão
SUDESTE	0.0267*	0.0061*	4.3882
MADEIRA	0.4237	0.5002	0.8462
TPIRES	0.3866	0.5476	0.7059
ITAIPU	0.0587	0.1597	0.3673
PARANA	0.2783	0.2257	1.2332
PARANAPANEMA	0.0534	0.11	0.4856
SUL	0.0534	0.11	0.4586
IGUAÇU	0.2297	0.2297	1
NORDESTE	0.0267*	0.0061*	4.3882
NORTE	0.4237	0.5002	0.8471
BMONTE	0.3866	0.5476	0.7059
MAN-AP	0.9621	0.9700	0.9919
Média (p-valor H_0:Média=1)			1.37047 (0.389)

*Rejeição a 5%

Tabela 3.24 - Correlação Espacial Anual. CB2021

REE	p-valor PAR(p)-A	p-valor PAR(p)	Razão
SUDESTE	0.0176*	0.0037*	4.7568
MADEIRA	0.4639	0.5420	0.8559
TPIRES	0.3783	0.5384	0.7026
ITAIPU	0.0636	0.1707	0.3727
PARANA	0.2593	0.2593	1
PARANAPANEMA	0.0532	0.077	0.6901
SUL	0.0531	0.0770	0.6901
IGUAÇU	0.2605	0.2605	1
NORDESTE	0.0176*	0.0037*	4.7568
NORTE	0.4639	0.5420	0.8559
BMONTE	0.3783	0.5384	0.7026
MAN-AP	0.9645	0.9655	0.9989
Média (p-valor H_0:Média=1)			1.4485 (0.339)

*Rejeição a 5%

3.2.5 Correlações Espaciais entre Afluências Mensais

Os testes de correlações espaciais entre afluências mensais foram aplicados para cada período (teste de período). Os testes foram feitos para séries forward e backward para cada REE, agrupando-se as correlações do REE em foco com os outros REEs, conforme descrito no item 2.2.4.

De forma geral, as correlações espaciais entre afluências mensais históricas estão bem representadas nas afluências geradas pelos dois modelos. As Figura 3.17,Figura 3.18, Figura 3.19,Figura 3.20, Figura 3.21, Figura 3.22, Figura 3.23 e Figura 3.24 ilustram os testes para os dois casos e dois períodos nos casos CB2020 e CB2021, respectivamente. As Tabela 3.25, Tabela 3.26, Tabela 3.27 e Tabela 3.28 apresentam as razões de p-valores obtidas pelas duas modelagens nos primeiros 12 meses do primeiro ano de estudo para cada REE. A penúltima coluna apresenta o valor da média para as 12 razões de cada REE e a última coluna os p-valores do teste t para a hipótese nula H0: média=1. Observa-se que não há impacto na representação das correlações espaciais mensais com a introdução da modelagem PAR(p)-A.

Tabela 3.25 - Correlação Espacial Mensal. CB2020. Forward

Razao dos p-valores gerais entre Par(p)-A e Par(p) - CB2020 - Forward														
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.4	Per.5	Per.6	Per.7	Per.8	Per.9	Per.10	Per.11	Per.12	Media	pValor
SUDESTE	1.00	0.99	1.00	1.15	1.00	1.32	0.60	1.45	0.97	1.41	1.00	1.00	1.07	0.30
MADEIRA	1.07	0.96	0.98	0.99	1.36	1.00	0.80	0.64	0.98	1.03	1.02	1.08	0.99	0.87
TPIRES	1.13	0.77	1.00	1.01	0.99	0.94	0.44	0.62	0.67	1.00	0.74	1.01	0.86	0.04
ITAIPU	2.93	1.02	0.99	1.11	1.15	1.20	0.95	1.46	1.14	2.10	0.75	1.02	1.32	0.10
PARANA	0.82	1.02	1.00	1.08	1.36	5.89	0.76	0.79	2.67	1.11	0.98	1.00	1.54	0.23
PRNPANEMA	0.75	0.96	0.99	1.05	0.99	5.89	3.12	0.83	4.26	1.33	1.00	1.01	1.85	0.11
SUL	1.81	0.95	0.99	0.96	1.01	0.92	0.82	1.45	0.98	1.10	0.97	1.00	1.08	0.33
IGUACU	2.93	0.99	1.00	0.96	1.07	1.03	0.76	0.42	0.89	2.13	1.00	0.99	1.18	0.37
NORDESTE	1.01	0.99	1.06	1.01	0.98	0.80	0.46	0.84	0.78	1.00	0.96	1.01	0.91	0.08
NORTE	0.92	0.77	1.06	0.99	1.19	1.32	0.41	0.42	0.89	1.11	0.99	1.08	0.93	0.40
BMONTE	0.92	0.94	1.25	1.10	0.99	0.98	0.97	1.07	0.96	1.00	1.00	1.00	1.02	0.57
MAN-AP	0.99	0.77	1.25	1.01	0.93	1.17	0.65	0.54	0.67	0.89	0.99	1.00	0.91	0.15

Em verde: vantagem para PAR(p)-A. Em vermelho, rejeição a 5%

Tabela 3.26 - Correlação Espacial Mensal. CB2020. Backward

Razao dos p-valores gerais entre Par(p)-A e Par(p) - CB2020 - Backward														
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.4	Per.5	Per.6	Per.7	Per.8	Per.9	Per.10	Per.11	Per.12	Media	pValor
SUDESTE	1.00	1.02	1.00	0.98	1.15	1.73	0.56	0.91	1.05	1.00	0.99	1.00	1.03	0.68
MADEIRA	1.03	0.99	1.00	0.98	0.95	1.04	0.90	0.41	0.65	1.01	1.00	1.01	0.91	0.14
TPIRES	0.89	1.00	1.00	1.00	1.06	0.77	0.55	1.53	0.47	0.99	1.00	1.00	0.94	0.44
ITAIPU	1.13	0.99	0.95	1.15	1.13	1.22	0.91	2.62	0.97	1.77	1.13	1.01	1.25	0.10
PARANA	1.00	1.07	1.00	0.93	1.13	3.90	0.67	1.17	1.40	1.00	0.96	1.00	1.27	0.29
PRNPANEMA	1.13	1.00	1.00	1.15	1.20	3.90	2.07	0.96	1.33	1.00	0.97	1.00	1.39	0.14
SUL	1.00	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	0.73	1.00	1.00	1.03	1.13	1.01	1.00	0.89
IGUACU	1.00	1.02	1.02	1.00	1.06	1.02	0.67	0.98	0.65	1.77	0.98	1.00	1.02	0.85
NORDESTE	1.00	1.00	1.00	0.93	1.15	0.84	0.63	0.41	0.42	0.93	1.00	1.01	0.86	0.07
NORTE	1.00	1.07	1.02	0.99	1.24	1.00	0.61	0.42	0.65	1.01	1.00	1.00	0.92	0.24
BMONTE	0.89	1.00	0.98	1.00	0.96	0.98	1.13	1.01	1.05	1.00	0.97	1.00	1.00	0.90
MAN-AP	0.99	1.01	0.98	1.00	1.01	0.92	0.82	0.90	0.47	0.99	0.93	1.00	0.92	0.09

Em verde: vantagem para PAR(p)-A. Em vermelho, rejeição a 5%

Tabela 3.27 - Correlação Espacial Mensal. CB2021. Forward

Razao dos p-valores gerais entre Par(p)-A e Par(p) - CB2021 - Forward														
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.4	Per.5	Per.6	Per.7	Per.8	Per.9	Per.10	Per.11	Per.12	Media	pValor
SUDESTE	1.10	0.98	1.00	1.15	0.92	1.27	0.64	1.49	0.90	1.35	1.00	1.00	1.07	0.33
MADEIRA	1.08	0.92	0.96	0.93	1.35	1.01	0.73	0.74	0.98	1.03	1.01	1.09	0.99	0.78
TPIRES	1.11	0.91	1.00	1.00	0.95	0.85	0.42	0.61	0.77	1.00	0.70	1.01	0.86	0.04
ITAIPU	3.13	1.05	0.99	1.11	1.15	1.09	0.90	1.28	0.95	2.12	0.71	1.02	1.29	0.16
PARANA	0.75	1.05	1.00	1.10	1.35	8.45	0.69	0.77	1.09	1.08	0.91	1.00	1.60	0.35
PRNPANEMA	0.75	0.92	0.99	1.05	1.11	8.45	1.63	0.76	1.76	1.22	0.99	1.01	1.72	0.27
SUL	1.92	0.95	0.99	0.96	0.99	0.92	0.64	1.53	0.98	1.21	0.91	1.00	1.08	0.40
IGUACU	2.87	1.01	1.00	0.96	1.10	1.03	0.69	0.42	0.69	2.23	1.00	1.00	1.17	0.42
NORDESTE	1.01	0.96	1.09	1.01	1.00	0.80	0.45	0.91	0.79	1.00	0.96	1.01	0.92	0.11
NORTE	0.97	1.00	1.05	0.93	1.09	1.34	0.40	0.43	0.69	1.13	1.00	1.09	0.92	0.37
BMONTE	0.91	1.00	1.19	1.03	0.95	1.14	0.98	1.03	1.02	1.00	1.01	1.00	1.02	0.35
MAN-AP	1.09	1.00	1.19	1.02	1.11	0.94	0.73	0.70	0.77	0.88	0.98	1.00	0.95	0.30

Em verde: vantagem para PAR(p)-A. Em vermelho, rejeição a 5%

Tabela 3.28 - Correlação Espacial Mensal. CB2021. Backward

Razao dos p-valores gerais entre Par(p)-A e Par(p) - CB2021 - Backward														
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.4	Per.5	Per.6	Per.7	Per.8	Per.9	Per.10	Per.11	Per.12	Media	pValor
SUDESTE	1.00	1.02	1.00	0.98	1.05	1.74	0.58	0.88	1.03	1.00	0.97	1.00	1.02	0.78
MADEIRA	1.04	0.98	1.00	0.98	0.95	1.03	0.84	0.41	0.67	1.00	1.00	1.01	0.91	0.12
TPIRES	0.94	1.00	1.01	1.00	1.02	0.76	0.55	1.55	0.66	0.99	0.99	1.00	0.96	0.54
ITAIPU	1.23	0.98	0.93	1.14	1.11	1.01	0.87	2.42	0.99	1.76	1.13	1.02	1.22	0.12
PARANA	1.00	1.06	1.00	0.93	1.11	3.39	0.63	1.01	1.01	1.00	0.96	1.00	1.18	0.41
PRNPANEMA	1.22	0.99	1.00	1.13	1.17	3.39	1.33	0.89	1.03	1.00	0.98	1.00	1.26	0.21
SUL	1.00	1.02	1.01	1.01	0.99	1.00	0.55	0.99	1.00	1.02	1.13	1.02	0.98	0.61
IGUACU	1.00	1.02	1.01	1.00	1.06	1.02	0.63	0.98	0.67	1.76	0.95	1.00	1.01	0.91
NORDESTE	1.00	1.00	1.00	0.94	1.05	0.83	0.63	0.41	0.46	0.92	1.00	1.01	0.85	0.05
NORTE	1.00	1.06	1.00	0.98	1.23	0.97	0.61	0.44	0.67	1.00	0.99	1.00	0.91	0.21
BMONTE	0.94	1.00	0.99	0.99	0.91	0.98	1.15	1.01	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	0.78
MAN-AP	0.98	1.00	0.99	1.00	0.99	0.96	0.93	1.02	0.66	0.99	0.93	1.00	0.95	0.13

Em verde: vantagem para PAR(p)-A. Em vermelho, rejeição a 5%

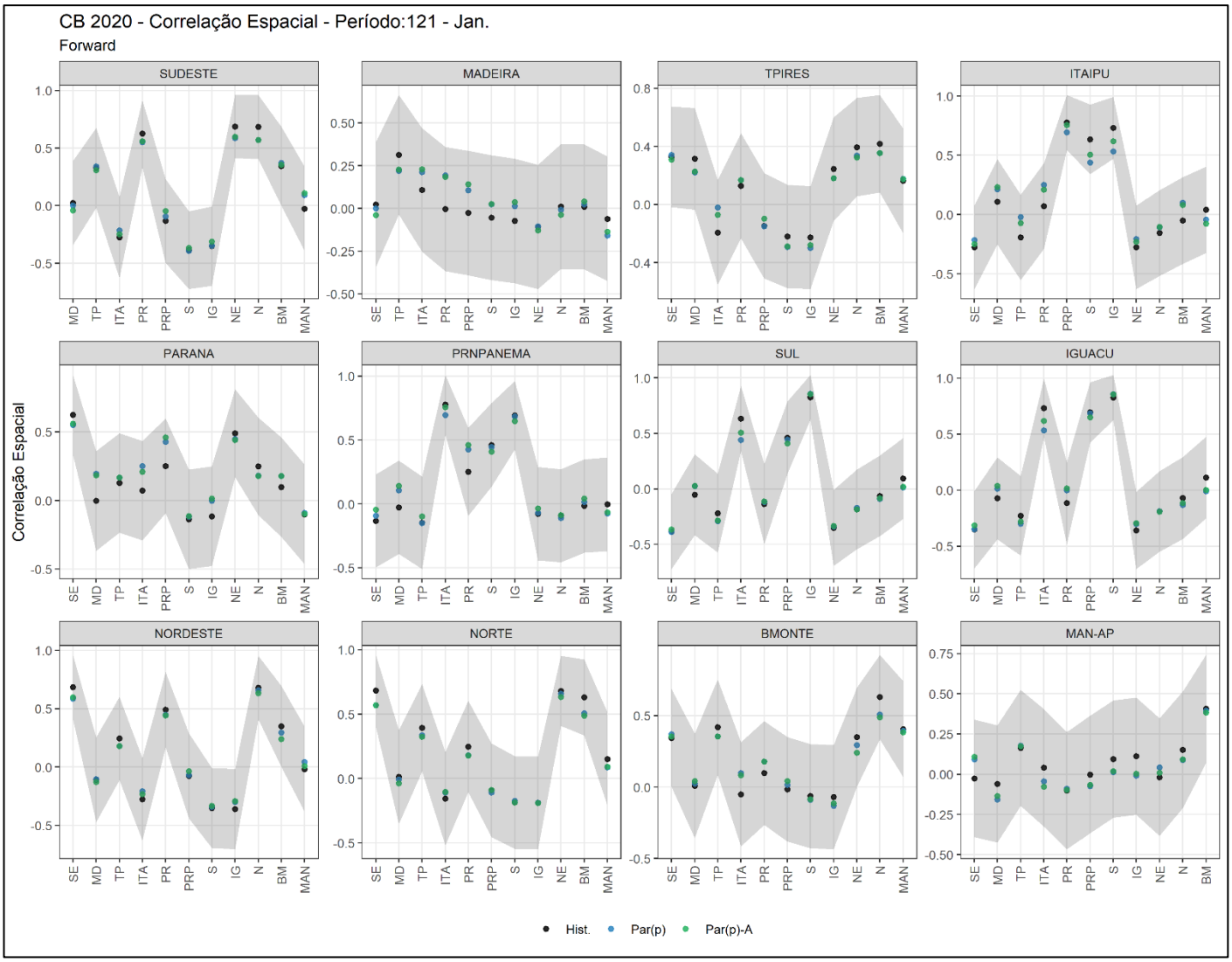


Figura 3.17 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Forward. CB2020. Período 121 Faixas de aceitação a 5%.

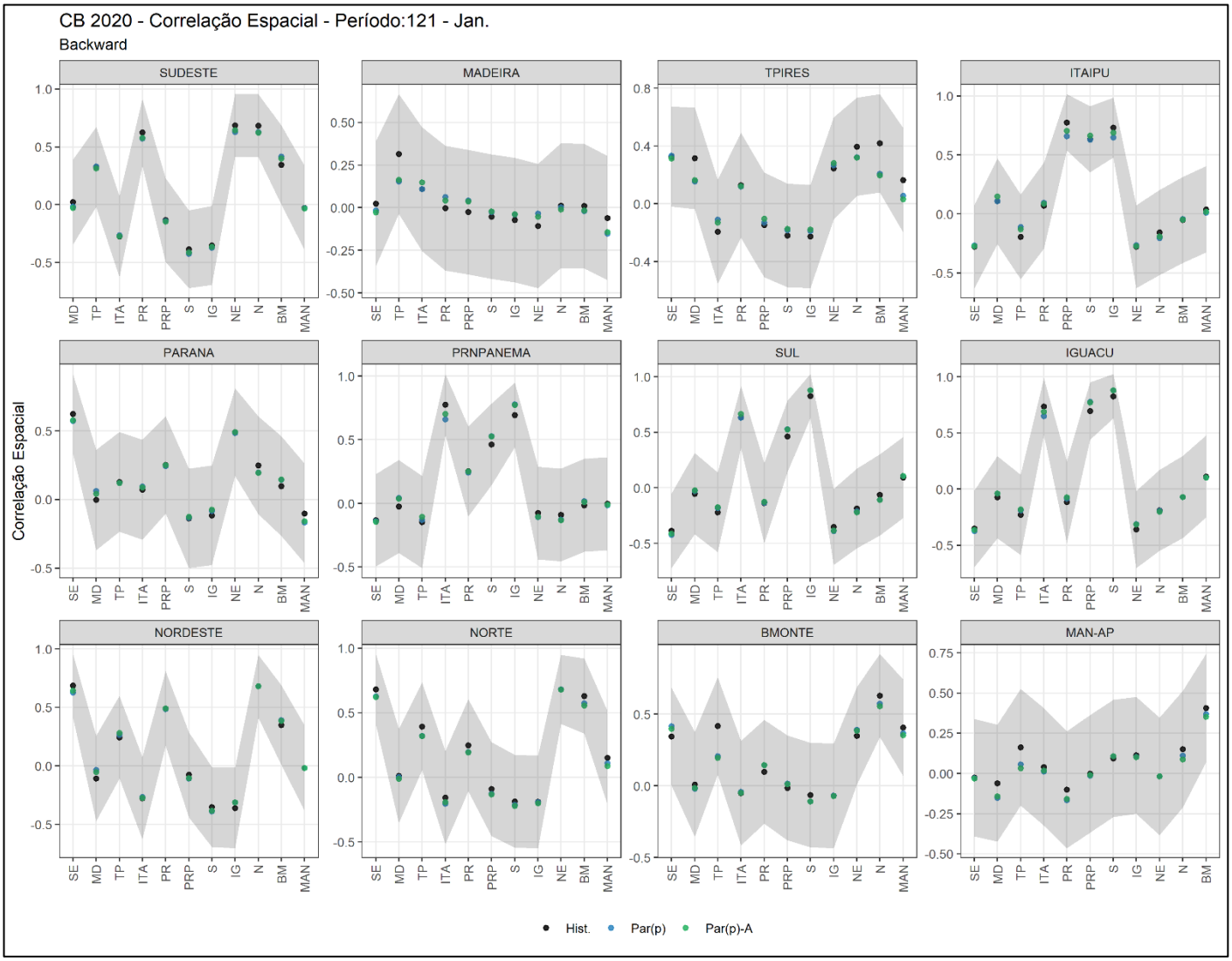


Figura 3.18 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Backward. CB2020. Período 121. Faixas de aceitação a 5%.

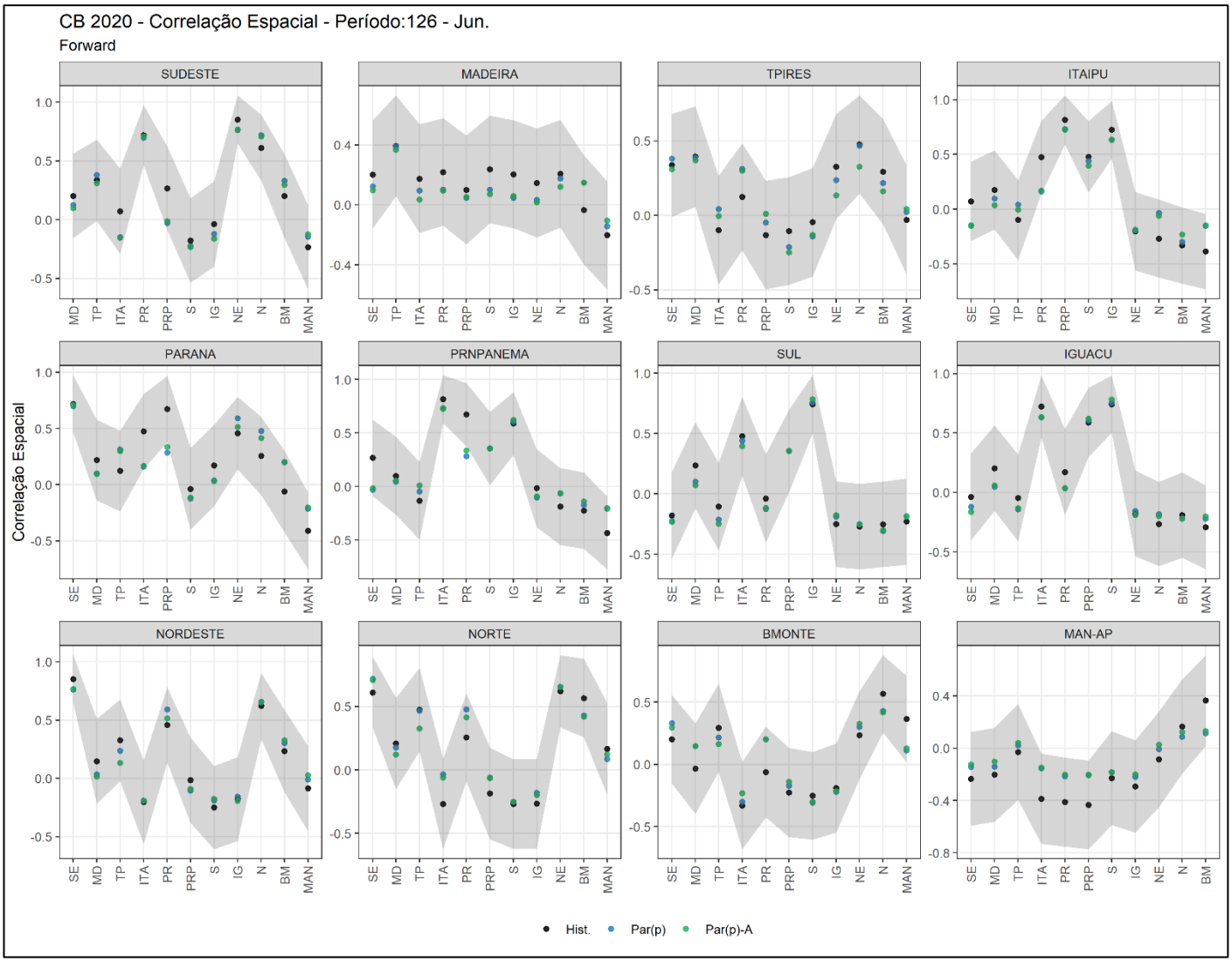


Figura 3.19 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Forward. CB2020. Período 126. Faixas de aceitação a 5%.

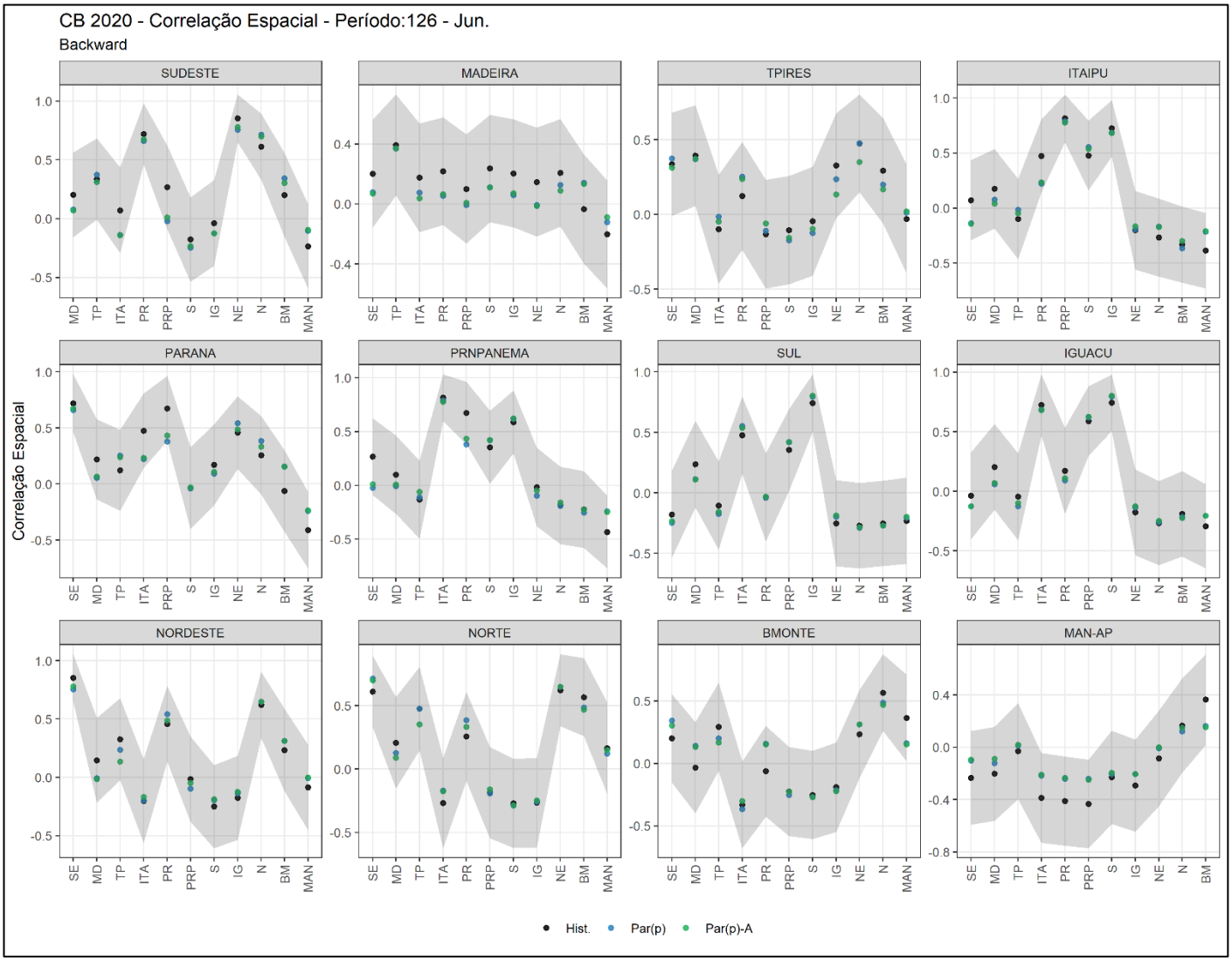


Figura 3.20 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Forward. CB2020. Período 126. Faixas de aceitação a 5%.

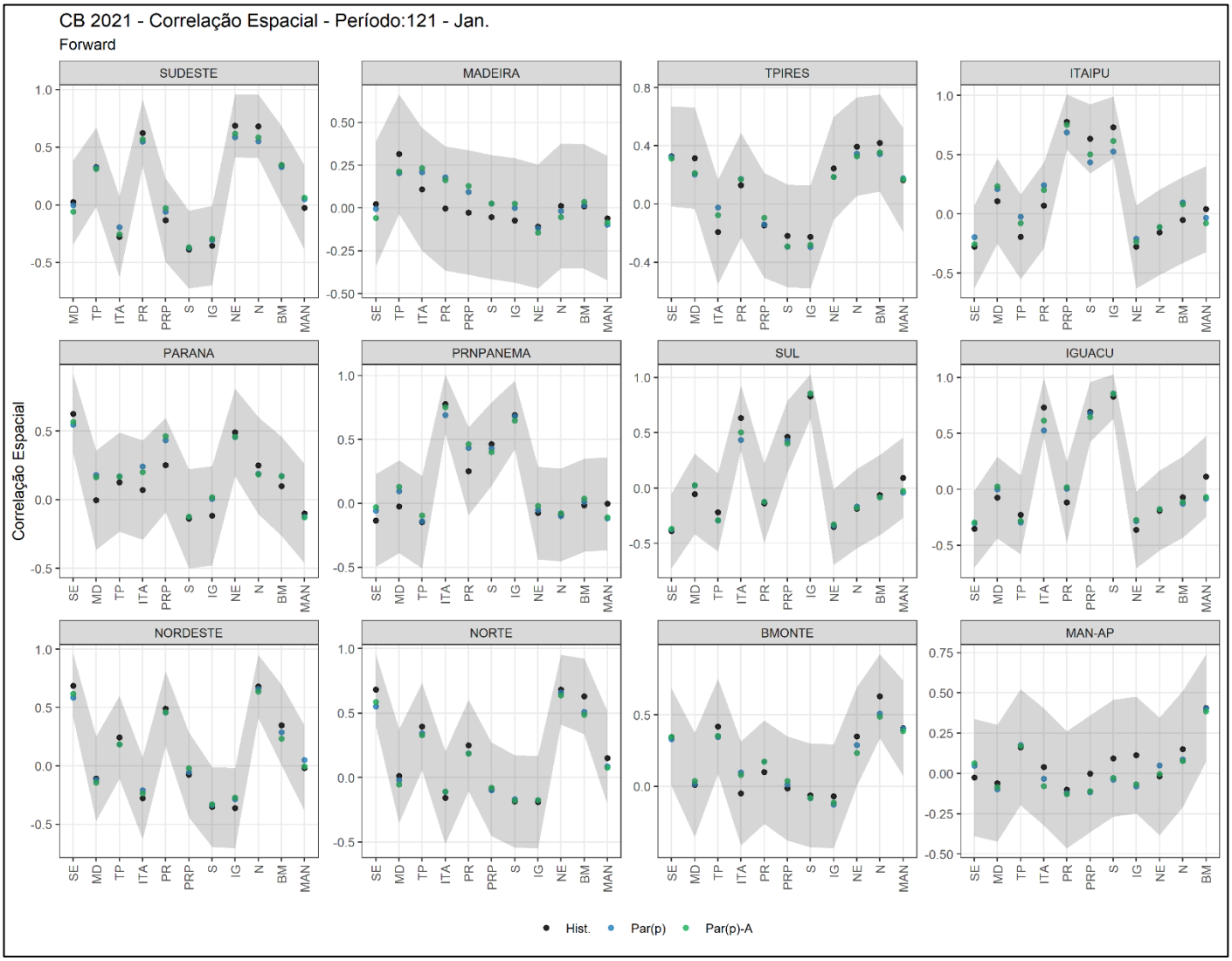


Figura 3.21 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Forward. CB2021. Período 121. Faixas de aceitação a 5%.

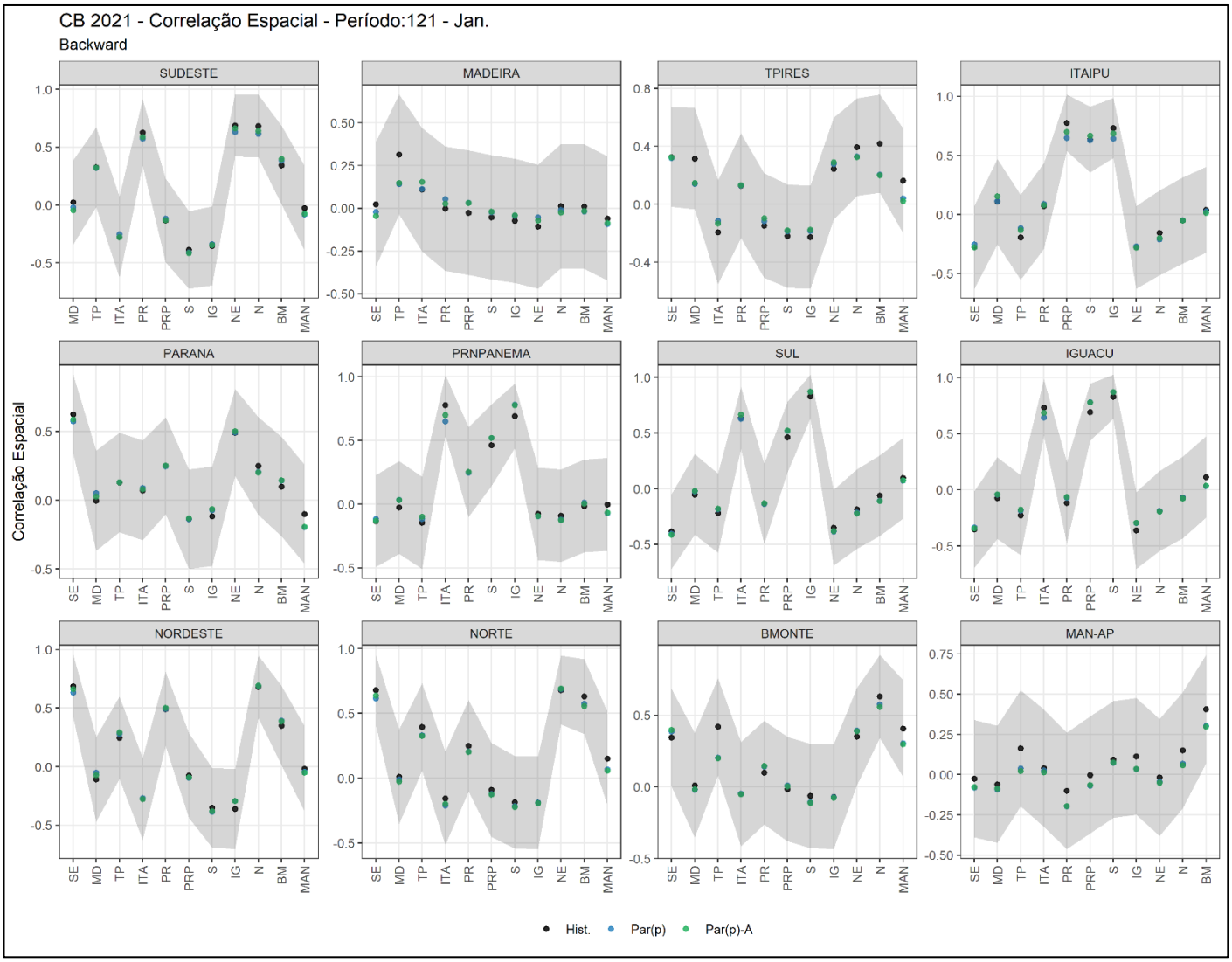


Figura 3.22 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Backward. CB2021. Período 121. Faixas de aceitação a 5%.

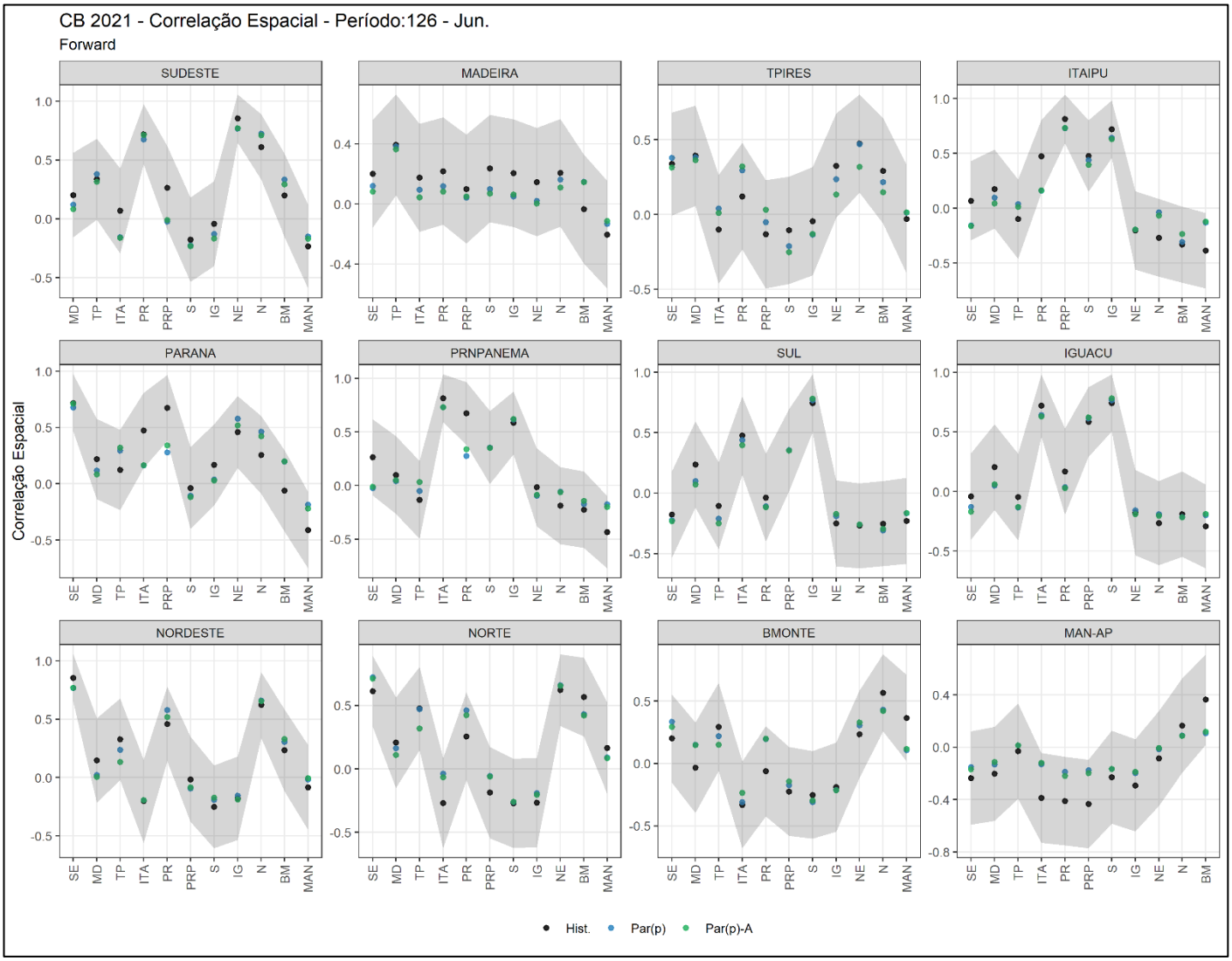


Figura 3.23 - Testes Correlações Cruzadas Mensais. Forward. CB2021. Período 126. Faixas de aceitação a 5%.

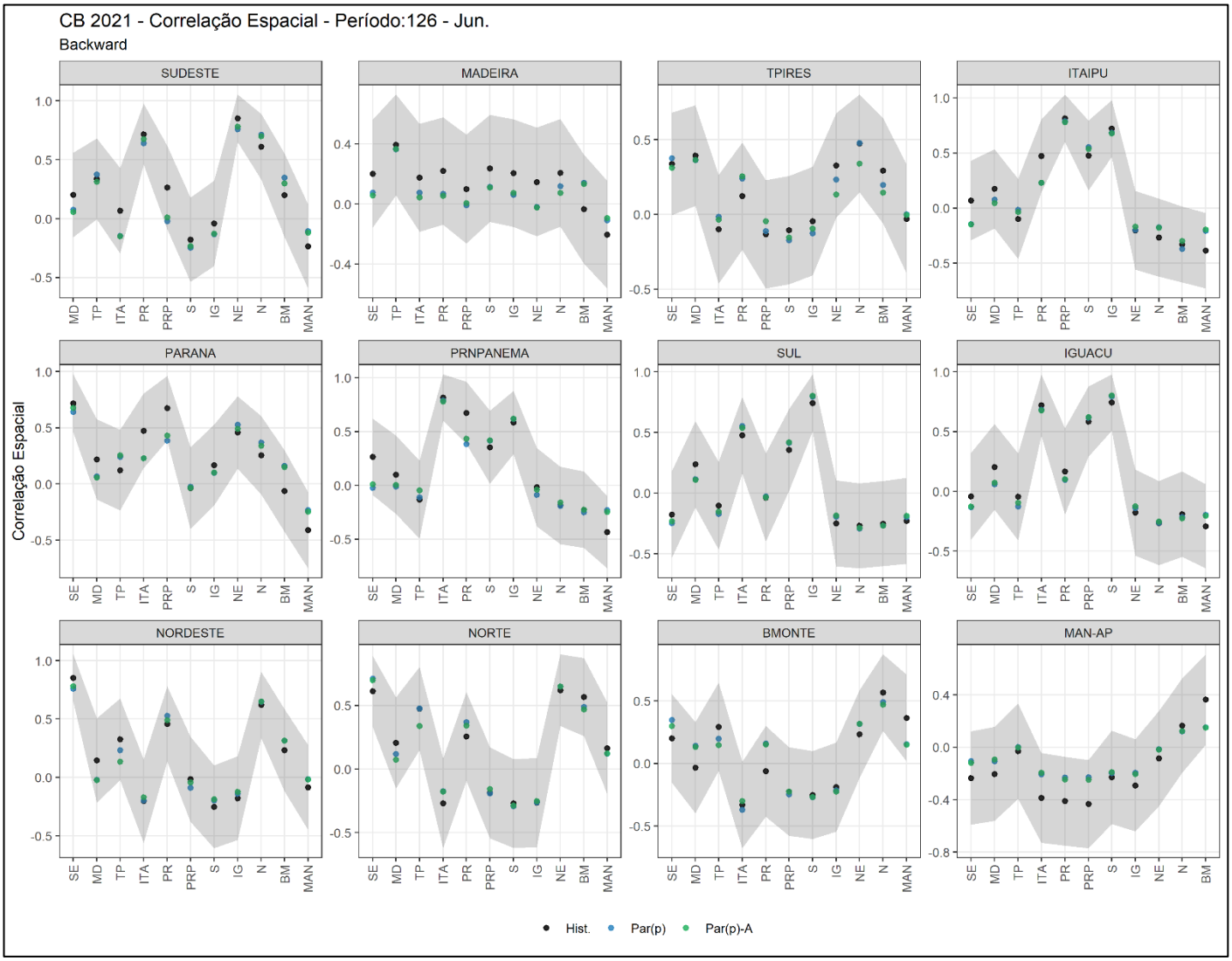


Figura 3.24 - Testes Correlações Espaciais Mensais. Backward. CB2021. Período 126. Faixas de aceitação a 5%.

3.2.6 Distribuições de Métricas de Sequências Negativas

Os testes de distribuições de métricas negativas foram aplicados individualmente para cada REE utilizando como cenários sintéticos as 2000 séries geradas pelo NEWAVE para as simulações finais dos casos estudados conforme descrito no item 2.2.6.

3.2.6.1 Comprimento

A Figura 3.25 e a Figura 3.26 comparam as distribuições do comprimento das sequencias negativas histórica e dos modelos para cada REE nos dois casos estudados. Pode-se notar que os dois modelos representam de forma quase equivalente as distribuições até um certo comprimento, a partir do qual, as caudas da distribuição dos modelos se separam. A cauda do modelo PAR(p)-A tende a ser mais longa se aproximando mais dos recordes de comprimento do histórico. A Tabela 3.29 e a Tabela 3.30 apresentam as estatísticas de p-valores dos testes para cada modelo e as respectivas razões. Observa-

se nas médias das 12 razões o valor maior que um, o que indica uma melhor avaliação da aderência do modelo PAR(p)-A, embora não significativa.

Tabela 3.29 - Distribuição do Comprimento de Sequência Negativa. CB2020

REE	p-valor PAR(p)-A	p-valor PAR(p)	Razão
SUDESTE	0.9244	0.9238	1.0006
MADEIRA	0.3171	0.4102	0.7731
TPIRES	0.731	0.2903	2.571
ITAIPU	0.687	0.8019	0.8567
PARANA	0.943	0.8752	1.0776
PARANAPANEMA	0.3153	0.5708	0.5524
SUL	0.8101	0.6561	1.2347
IGUAÇU	0.9725	0.9107	1.0678
NORDESTE	0.3981	0.8049	0.4946
NORTE	0.6869	0.7046	1.0259
BMONTE	0.9963	0.9762	1.0206
MAN-AP	0.9541	0.9376	1.0176
Média (p-valor H_0:Média=1)			1.055 (0.72)

*Rejeição a 5%

Tabela 3.30 - Distribuição do Comprimento de Sequência Negativa. CB2021

REE	p-valor PAR(p)-A	p-valor PAR(p)	Razão
SUDESTE	0.8812	0.8487	1.0383
MADEIRA	0.3997	0.4406	0.9073
TPIRES	0.7042	0.2607	2.6360
ITAIPU	0.4301	0.574	0.7493
PARANA	0.9964	0.9951	1.0012
PARANAPANEMA	0.203	0.402	0.5049
SUL	0.5491	0.4213	1.3034
IGUAÇU	0.9554	0.8805	1.0851
NORDESTE	0.6807	0.9644	0.7058
NORTE	0.5589	0.5732	0.9752
BMONTE	0.9957	0.9402	1.0591
MAN-AP	0.6441	0.5612	1.1478
Média (p-valor H0:Média=1)			1.092308 (0.5596)

*Rejeição a 5%

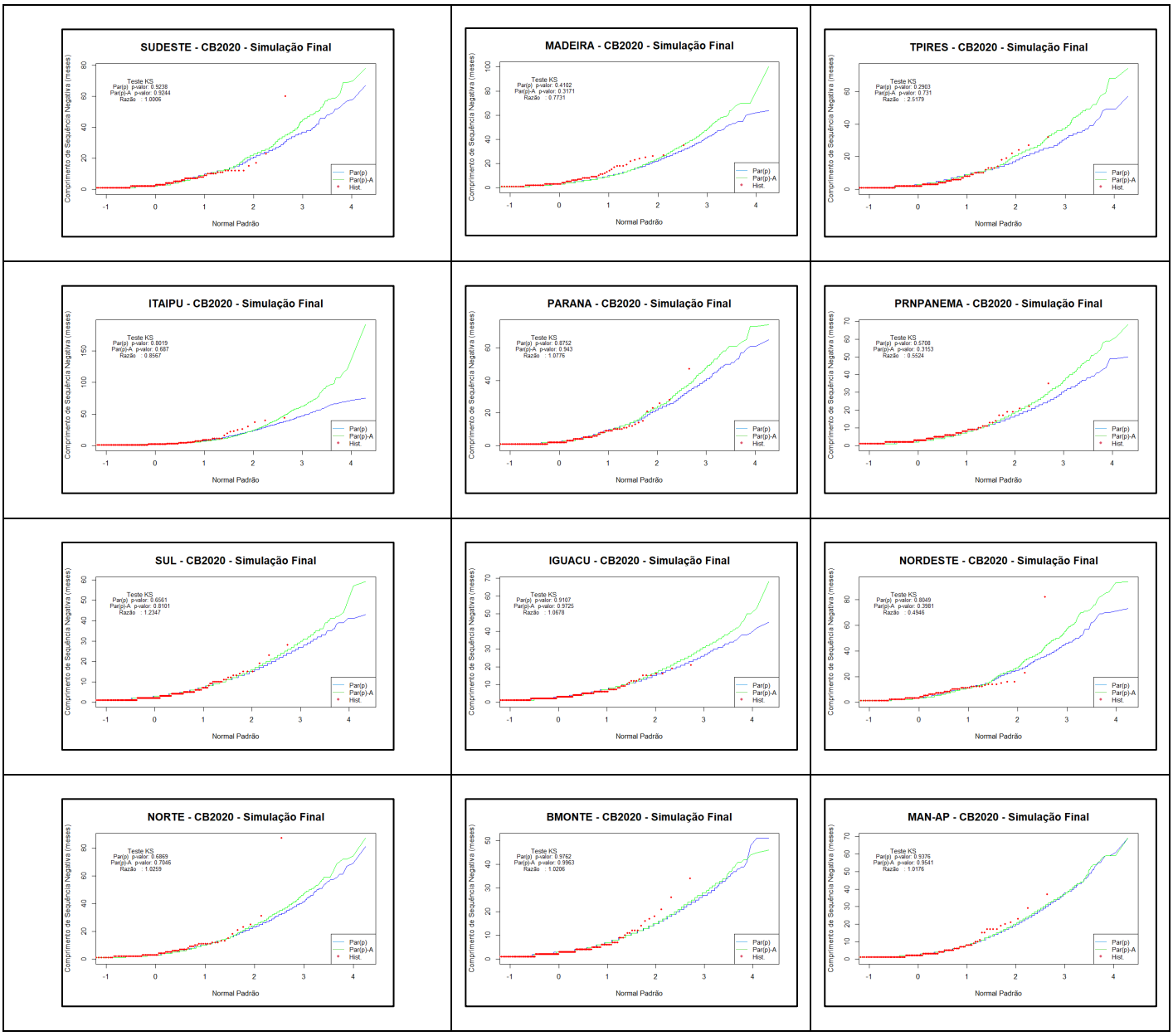


Figura 3.25 - Distribuição de Comprimento de Sequencias. Caso CB2020. Simulação Final.

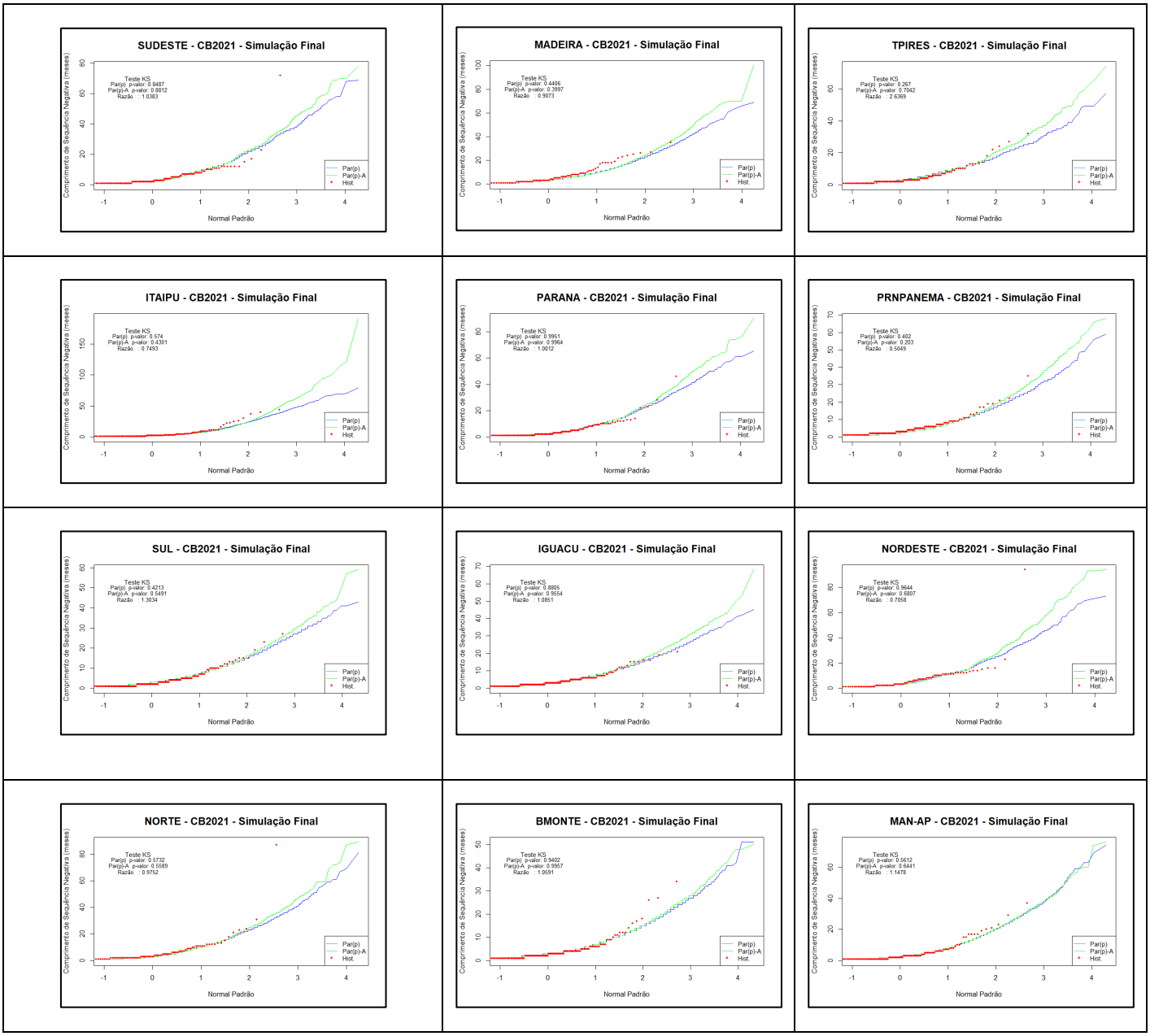


Figura 3.26 - Distribuição de Comprimento de Sequencias. Caso CB2021. Simulação Final.

3.2.6.2 Soma e Intensidade

As Tabela 3.31,Tabela 3.32, Tabela 3.33 e Tabela 3.34 apresentam os resultados dos testes para as distribuições da soma e da intensidade de sequencias negativas para os casos analisados. Pode-se observar que não existem diferenças significativas de aderência entre os dois modelos.

Tabela 3.31 - Distribuição Soma de Sequência Negativa. CB2020

GF 2020 - Teste KS para a distribuição da soma das SN

REE	Valor Crítico KS (5%)	Máx. Diferença Par(p)	Máx. Diferença Par(p)-A	p-valor Par(p)	p-valor Par(p)-A	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)***
SUDESTE	0.122	0.065	0.050	1.0000	1.0000	1.000000
MADEIRA	0.146	0.062	0.077	1.0000	1.0000	1.000000
TPIRES	0.121	0.119	0.095	0.7612	1.0000	1.313715
ITAIPU	0.124	0.090	0.086	1.0000	1.0000	1.000000
PARANA	0.122	0.086	0.074	1.0000	1.0000	1.000000
PRNPANEMA	0.116	0.074	0.050	1.0000	1.0000	1.000000
SUL	0.107	0.075	0.066	1.0000	1.0000	1.000000
IGUACU	0.108	0.067	0.041	1.0000	1.0000	1.000000
NORDESTE	0.139	0.082	0.068	1.0000	1.0000	1.000000
NORTE	0.142	0.065	0.060	1.0000	1.0000	1.000000
BMONTE	0.113	0.111	0.103	0.8630	0.9699	1.123870
MAN-AP	0.124	0.061	0.059	1.0000	1.0000	1.000000

***Média da razão dos p-valores: 1.0365

Tabela 3.32 - Distribuição da Soma de Sequência Negativa. CB2021

GF 2021 - Teste KS para a distribuição da soma das SN

REE	Valor Crítico KS (5%)	Máx. Diferença Par(p)	Máx. Diferença Par(p)-A	p-valor Par(p)	p-valor Par(p)-A	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)***
SUDESTE	0.121	0.071	0.059	1.0000	1.0000	1.000000
MADEIRA	0.145	0.070	0.081	1.0000	1.0000	1.000000
TPIRES	0.12	0.116	0.090	0.7947	1.0000	1.258336
ITAIPU	0.122	0.095	0.093	1.0000	1.0000	1.000000
PARANA	0.12	0.074	0.065	1.0000	1.0000	1.000000
PRNPANEMA	0.115	0.060	0.048	1.0000	1.0000	1.000000
SUL	0.105	0.077	0.068	1.0000	1.0000	1.000000
IGUACU	0.107	0.066	0.041	1.0000	1.0000	1.000000
NORDESTE	0.138	0.088	0.074	1.0000	1.0000	1.000000
NORTE	0.139	0.065	0.058	1.0000	1.0000	1.000000
BMONTE	0.112	0.115	0.109	0.8074	0.8853	1.096483
MAN-AP	0.122	0.070	0.069	1.0000	1.0000	1.000000

***Média da razão dos p-valores: 1.0296

Tabela 3.33 - Distribuição da Intensidade de Sequência Negativa. CB2020

GF 2021 - Teste KS para a distribuição da soma das SN

REE	Valor Crítico KS (5%)	Máx. Diferença Par(p)	Máx. Diferença Par(p)-A	p-valor Par(p)	p-valor Par(p)-A	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)***
SUDESTE	0.121	0.071	0.059	1.0000	1.0000	1.000000
MADEIRA	0.145	0.070	0.081	1.0000	1.0000	1.000000
TPIRES	0.12	0.116	0.090	0.7947	1.0000	1.258336
ITAIPU	0.122	0.095	0.093	1.0000	1.0000	1.000000
PARANA	0.12	0.074	0.065	1.0000	1.0000	1.000000
PRNPANEMA	0.115	0.060	0.048	1.0000	1.0000	1.000000
SUL	0.105	0.077	0.068	1.0000	1.0000	1.000000
IGUACU	0.107	0.066	0.041	1.0000	1.0000	1.000000
NORDESTE	0.138	0.088	0.074	1.0000	1.0000	1.000000
NORTE	0.139	0.065	0.058	1.0000	1.0000	1.000000
BMONTE	0.112	0.115	0.109	0.8074	0.8853	1.096483
MAN-AP	0.122	0.070	0.069	1.0000	1.0000	1.000000

***Média da razão dos p-valores: 1.0296

Tabela 3.34 - Distribuição da Intensidade de Sequência Negativa. CB2021

GF 2021 - Teste KS para a distribuição da intensidade das SN

REE	Valor Crítico KS (5%)	Máx. Diferença Par(p)	Máx. Diferença Par(p)-A	p-valor Par(p)	p-valor Par(p)-A	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)***
SUDESTE	0.121	0.078	0.070	1.0000000	1.0000000	1.000000
MADEIRA	0.145	0.080	0.073	1.0000000	1.0000000	1.000000
TPIRES	0.12	0.089	0.074	1.0000000	1.0000000	1.000000
ITAIPU	0.122	0.096	0.082	1.0000000	1.0000000	1.000000
PARANA	0.12	0.081	0.075	1.0000000	1.0000000	1.000000
PRNPANEMA	0.115	0.195	0.177	0.1473413	0.2332318	1.582936
SUL	0.105	0.076	0.071	1.0000000	1.0000000	1.000000
IGUACU	0.107	0.067	0.060	1.0000000	1.0000000	1.000000
NORDESTE	0.138	0.133	0.124	0.5944320	0.6966311	1.171927
NORTE	0.139	0.121	0.118	0.7326514	0.7695834	1.050409
BMONTE	0.112	0.077	0.072	1.0000000	1.0000000	1.000000
MAN-AP	0.122	0.048	0.046	1.0000000	1.0000000	1.000000

***Média da razão dos p-valores: 1.0671

3.2.7 Variâncias de Métricas de Sequências Negativas

Os testes de variâncias de métricas das sequencias negativas foram aplicados individualmente para cada REE utilizando como cenários sintéticos as 2000 séries geradas pelo NEWAVE para as simulações finais dos casos estudados conforme descrito no item 2.2.7.

A Tabela 3.35 e Tabela 3.36 apresentam os resultados dos testes de variância para o comprimento de sequencias negativas dos dois casos. A Tabela 3.37 e a Tabela 3.38 apresentam os resultados para soma e a Tabela 3.39 e a Tabela 3.40 para a intensidade. Pode-se observar que a grande maioria dos REEs, as razões de p-valores indicam melhor aderência ao histórico dos cenários do modelo PAR(p)-A para as variâncias do comprimento e da soma. Maior equilíbrio ocorre para as variâncias da intensidade.

Tabela 3.35 - Variância do Comprimento de Sequência Negativa. CB2020

CB2020 - Comprimento das Sequências Negativas

REE	Tam. da amostra Hist.	DP Hist.	DP Par(p)	DP Par(p)-A	p-valor Par(p)	p-valor Par(p)-A	Razão
SUDESTE	124	6,4	5,3	5,8	0,00729	0,16388	22,4801
MADEIRA	87	7,4	5,8	6,3	0,00454	0,05975	13,1608
TPIRES	126	5,4	4,7	5,2	0,04578	0,62741	13,7049
ITAIPU	120	7,9	6,1	6,8	0,00035	0,03571	102,0286
PARANA	125	6,3	5,7	6,2	0,15475	0,88428	5,7142
PRNPANEMA	137	5,1	4,3	4,8	0,01026	0,37825	36,8665
SUL	162	4,3	3,9	4,1	0,10806	0,45327	4,1946
IGUACU	159	3,8	3,9	4,2	0,71514	0,10288	0,1439
NORDESTE	95	9,1	6,7	7,4	0,00022	0,01112	50,5455
NORTE	92	10,2	6,0	6,3	0,00000	0,00000	0,0000
BMONTE	146	4,8	3,8	3,9	0,00032	0,00130	4,0625
MAN-AP	121	6,1	5,1	5,2	0,01187	0,02471	2,0817

Tabela 3.36 - Variância do Comprimento de Sequência Negativa. CB2021

CB2021 - Comprimento das Sequências Negativas

REE	Tam. da amostra Hist.	DP Hist.	DP Par(p)	DP Par(p)-A	p-valor Par(p)	p-valor Par(p)-A	Razão
SUDESTE	126	7,2	5,6	5,9	0,00036	0,00432	12,0000
MADEIRA	88	7,4	5,9	6,4	0,00779	0,08795	11,2901
TPIRES	129	5,2	4,6	5,1	0,07432	0,83729	11,2660
ITAIPU	124	7,8	6,2	6,9	0,00117	0,08091	69,1538
PARANA	128	5,9	5,8	6,2	0,86730	0,49976	0,5762
PRNPANEMA	139	5,1	4,4	4,8	0,02495	0,37399	14,9896
SUL	168	4,2	3,9	4,1	0,21765	0,72894	3,3491
IGUACU	161	3,8	3,9	4,2	0,71256	0,10049	0,1410
NORDESTE	97	10,1	6,8	7,6	0,00000	0,00048	Inf
NORTE	95	10,0	6,0	6,4	0,00000	0,00000	0,0000
BMONTE	147	4,9	3,8	3,9	0,00009	0,00041	4,5556
MAN-AP	124	6,0	5,2	5,3	0,04126	0,07731	1,8737

Tabela 3.37 - Variância da Soma de Sequência Negativa. CB2020

CB2020 - Somas das Sequências Negativas

REE	Tipo	Média	D. Padrão	Tam. da amostra	N. médio de seg./int.	Máximo	Mínimo	Estat. F	Estat. Qui-Quadrado	p-valor	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)
SUDESTE	Hist.	6,066.8	13,151.6	124	124	131,956.2	15.514				
SUDESTE	Par(p)	6,611.6	9,930.4	52796	26	131,154.9	0.043	0,5701332	70,69651	0,00008	
SUDESTE	Par(p)-A	6,619.6	11,063.2	53026	26	182,108.6	0.024	0,7076269	87,74574	0,01374	**171,7500**
MADEIRA	Hist.	5,850.6	9,718.4	87	87	59,558.0	48.813				
MADEIRA	Par(p)	4,968.3	7,940.3	46550	23	102,834.1	0.014	0,6675507	58,07691	0,01808	
MADEIRA	Par(p)-A	5,012.5	8,908.6	46102	23	182,776.9	0.023	0,8402904	73,10526	0,32431	**17,9375**
TPIRES	Hist.	1,711.5	3,334.9	126	126	22,423.5	1.284				
TPIRES	Par(p)	1,797.5	2,480.0	54772	27	30,247.6	0.006	0,5530160	69,68002	0,00003	
TPIRES	Par(p)-A	1,820.7	2,919.9	54451	27	44,579.0	0.013	0,7666027	96,59194	0,05597	**1865,6667**
ITAIPU	Hist.	6,228.8	14,005.8	120	120	77,882.7	8.417				
ITAIPU	Par(p)	5,943.4	11,503.4	56494	28	155,118.6	0.078	0,6745849	80,95019	0,00599	
ITAIPU	Par(p)-A	5,874.6	13,814.2	56473	28	480,382.2	0.027	0,9728271	116,73925	0,91703	**153,0935**
PARANA	Hist.	21,212.7	44,442.0	125	125	351,307.0	19.916				
PARANA	Par(p)	24,043.3	40,176.0	52352	26	499,250.8	0.021	0,8172336	102,15420	0,15122	
PARANA	Par(p)-A	24,274.1	44,907.8	52062	26	695,760.7	0.071	0,9793629	122,42036	0,95348	**6,3053**
PRNPANEMA	Hist.	4,061.0	6,286.7	137	137	41,350.2	21.743				
PRNPANEMA	Par(p)	4,239.2	5,676.2	64177	32	73,430.3	0.015	0,8152108	111,68387	0,12561	
PRNPANEMA	Par(p)-A	4,275.4	6,544.6	63774	31	116,651.0	0.030	0,9227398	126,41535	0,57909	**4,6102**
SUL	Hist.	8,108.8	11,743.2	162	162	94,166.3	4.599				
SUL	Par(p)	8,336.4	10,235.2	70561	35	117,689.5	0.049	0,7596609	123,06506	0,02324	
SUL	Par(p)-A	8,354.9	10,890.5	70347	35	152,408.2	0.020	0,8600481	139,32779	0,21906	**9,4260**
IGUACU	Hist.	7,874.4	9,915.2	159	159	52,237.1	31.269				
IGUACU	Par(p)	8,221.1	9,737.9	69350	34	108,320.9	0.055	0,9645565	153,36448	0,82139	
IGUACU	Par(p)-A	8,337.8	11,085.9	69019	34	188,453.8	0.226	0,7999467	127,19152	0,06839	**0,0833**
NORDESTE	Hist.	13,756.4	32,809.6	95	95	306,814.1	16.986				
NORDESTE	Par(p)	14,431.3	22,529.4	43029	21	285,367.9	0.017	0,4715170	44,79412	0,00001	
NORDESTE	Par(p)-A	14,520.1	25,844.8	42868	21	372,028.0	0.067	0,6205038	58,94787	0,00352	**352,0000**
NORTE	Hist.	9,648.0	21,590.5	92	92	181,013.1	34.289				
NORTE	Par(p)	9,120.8	14,087.3	45669	22	205,709.3	0.015	0,4257260	39,16679	0,00000	
NORTE	Par(p)-A	9,182.4	14,925.8	45422	22	219,660.0	0.036	0,4779141	43,96810	0,00002	**Inf**
BMONTE	Hist.	6,232.9	11,038.7	146	146	71,440.2	7.023				
BMONTE	Par(p)	6,429.8	8,726.2	64803	32	112,759.3	0.010	0,6249057	91,23623	0,00029	
BMONTE	Par(p)-A	6,362.7	8,829.4	65251	32	120,313.4	0.004	0,6397739	93,40699	0,00056	**1,9310**
MAN-AP	Hist.	799.3	1,497.8	121	121	8,235.2	0.083				
MAN-AP	Par(p)	743.2	1,256.7	56416	28	19,753.5	0.000	0,7039723	85,18065	0,01362	
MAN-AP	Par(p)-A	756.1	1,300.7	55823	27	19,251.1	0.000	0,7541307	91,24982	0,04715	**3,4618**

Tabela 3.38 - Variância da Soma de Sequência Negativa. CB2021

CB2021 - Somas das Sequências Negativas

REE	Tipo	Média	D. Padrão	Tam. da amostra	N. médio de seg./int.	Máximo	Mínimo	Estat. F	Estat. Qui-Quadrado	p-valor	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)
SUDESTE	Hist.	6,088.4	15,063.2	126	126	157,855.4	3.907				
SUDESTE	Par(p)	6,785.1	10,712.9	52221	26	146,437.3	0.012	0,5058009	63,73092	0,00000	
SUDESTE	Par(p)-A	6,765.5	11,456.8	52456	26	187,009.7	0.024	0,5784851	72,88912	0,00011	**Inf**
MADEIRA	Hist.	5,849.3	9,729.3	88	88	59,822.9	7.094				
MADEIRA	Par(p)	5,068.3	8,151.7	46318	23	104,503.3	0.019	0,7019937	61,77544	0,03711	
MADEIRA	Par(p)-A	5,116.1	9,090.8	45795	22	187,151.9	0.068	0,8730538	76,82874	0,45188	**12,1768**
TPIRES	Hist.	1,686.5	3,286.3	129	129	22,392.8	3.451				
TPIRES	Par(p)	1,793.6	2,465.9	54876	27	30,123.2	0.002	0,5630364	72,63170	0,00004	
TPIRES	Par(p)-A	1,789.2	2,838.4	55020	27	44,439.9	0.003	0,7459896	96,23266	0,03268	**817,0000**
ITAIPU	Hist.	6,076.3	13,839.8	124	124	78,028.9	7.114				
ITAIPU	Par(p)	5,963.8	11,613.0	56463	28	162,758.1	0.028	0,7040917	87,30737	0,01245	
ITAIPU	Par(p)-A	5,957.8	13,867.1	56512	28	476,657.9	0.064	0,9960665	123,51225	1,05988	**85,1309**
PARANA	Hist.	20,974.3	42,673.8	128	128	348,233.8	25.429				
PARANA	Par(p)	24,020.5	40,734.1	52368	26	513,749.3	0.051	0,9111578	116,62820	0,53049	
PARANA	Par(p)-A	24,520.1	45,494.7	51664	25	705,987.7	0.004	0,8798346	112,61883	0,36993	**0,6973**
PRNPANEMA	Hist.	4,037.1	6,204.8	139	139	41,034.1	1.878				
PRNPANEMA	Par(p)	4,229.4	5,826.3	64215	32	80,648.9	0.021	0,8817188	122,55892	0,35443	
PRNPANEMA	Par(p)-A	4,284.8	6,592.1	63652	31	116,576.3	0.101	0,8859475	123,14671	0,37465	**1,0570**
SUL	Hist.	7,897.2	11,590.5	168	168	93,946.9	9.936				
SUL	Par(p)	8,313.1	10,201.3	70673	35	117,366.9	0.031	0,7746521	130,14155	0,03151	
SUL	Par(p)-A	8,350.8	10,857.8	70356	35	150,573.1	0.245	0,8775651	147,43093	0,28065	**8,9067**
IGUACU	Hist.	7,766.3	9,741.9	161	161	51,367.3	24.884				
IGUACU	Par(p)	8,100.4	9,593.5	69406	34	107,092.6	0.283	0,9697657	156,13228	0,85666	
IGUACU	Par(p)-A	8,221.6	10,914.7	69065	34	183,577.7	0.024	0,7966430	128,25952	0,06155	**0,0718**
NORDESTE	Hist.	13,707.3	36,794.3	97	97	352,718.7	6.808				
NORDESTE	Par(p)	14,564.6	22,763.5	42814	21	289,032.7	0.097	0,3827516	37,12690	0,00000	
NORDESTE	Par(p)-A	14,746.5	26,686.8	42574	21	383,274.2	0.052	0,5260559	51,02742	0,00009	**Inf**
NORTE	Hist.	9,448.1	21,120.9	95	95	179,152.4	28.279				
NORTE	Par(p)	9,117.2	14,062.9	45671	22	199,818.3	0.009	0,4433278	42,11614	0,00000	
NORTE	Par(p)-A	9,212.8	15,034.2	45488	22	219,869.1	0.060	0,5066824	48,13483	0,00005	**Inf**
BMONTE	Hist.	6,221.9	11,101.1	147	147	71,125.0	5.796				
BMONTE	Par(p)	6,410.1	8,686.5	64825	32	109,850.9	0.026	0,6122906	90,00672	0,00015	
BMONTE	Par(p)-A	6,369.6	8,880.0	65256	32	119,287.2	0.006	0,6398732	94,06136	0,00054	**3,6000**
MAN-AP	Hist.	791.4	1,492.6	124	124	8,304.2	0.444				
MAN-AP	Par(p)	780.3	1,319.7	55144	27	20,569.2	0.001	0,7817422	96,93603	0,07962	
MAN-AP	Par(p)-A	782.2	1,331.2	55016	27	19,551.2	0.000	0,7954259	98,63282	0,10380	**1,3037**

Tabela 3.39 - Variância da Intensidade de Sequência Negativa. CB2020

CB2020 - Intensidade das Sequências Negativas

REE	Tipo	Média	D. Padrão	Tam. da amostra	N. médio de seg./int.	Máximo	Mínimo	Estat. F	Estat. Qui-Quadrado	p-valor	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)
SUDESTE	Hist.	990.4	755.0	124	124	3,081.2	15.514				
SUDESTE	Par(p)	1,140.4	941.5	52796	26	6,611.7	0.043	0,6430626	79,73976	0,00177	
SUDESTE	Par(p)-A	1,126.1	932.4	53026	26	7,171.9	0.024	0,6556761	81,30384	0,00276	**1,5593**
MADEIRA	Hist.	583.2	397.5	87	87	1,701.7	48.813				
MADEIRA	Par(p)	639.1	448.0	46550	23	3,191.1	0.014	0,7872601	68,49163	0,16563	
MADEIRA	Par(p)-A	625.2	440.8	46102	23	3,197.9	0.023	0,8131882	70,74738	0,23474	**1,4173**
TPIRES	Hist.	290.9	215.4	126	126	970.8	1.284				
TPIRES	Par(p)	317.9	222.6	54772	27	1,753.6	0.006	0,9363562	117,98088	0,68170	
TPIRES	Par(p)-A	312.9	222.2	54451	27	1,725.6	0.013	0,9397304	118,40603	0,70228	**1,0302**
ITAIPU	Hist.	833.9	582.5	120	120	3,115.6	8.417				
ITAIPU	Par(p)	901.1	561.4	56494	28	3,320.4	0.078	0,9288658	111,46389	0,64858	
ITAIPU	Par(p)-A	877.8	554.1	56473	28	3,327.5	0.027	0,9048664	108,58396	0,51415	**0,7927**
PARANA	Hist.	3,255.3	2,701.1	125	125	12,902.2	19.916				
PARANA	Par(p)	3,712.6	2,939.9	52352	26	23,320.6	0.021	0,8441434	105,51792	0,23221	
PARANA	Par(p)-A	3,669.9	2,930.7	52062	26	26,063.8	0.071	0,8494515	106,18144	0,25103	**1,0810**
PRNPANEMA	Hist.	649.6	379.0	137	137	1,781.5	21.743				
PRNPANEMA	Par(p)	798.1	448.5	64177	32	3,214.9	0.015	0,7140909	97,83046	0,01129	
PRNPANEMA	Par(p)-A	783.0	452.2	63774	31	3,205.9	0.030	0,7024531	96,23607	0,00793	**0,7024**
SUL	Hist.	1,692.6	901.1	162	162	4,353.1	4.599				
SUL	Par(p)	1,743.9	935.7	70561	35	5,652.5	0.049	0,9274120	150,24075	0,56454	
SUL	Par(p)-A	1,726.8	939.3	70347	35	5,671.4	0.020	0,9203168	149,09132	0,51999	**0,9211**
IGUACU	Hist.	1,593.4	765.1	159	159	3,754.1	31.269				
IGUACU	Par(p)	1,658.5	824.5	69350	34	4,989.7	0.055	0,8611030	136,91537	0,22803	
IGUACU	Par(p)-A	1,645.8	839.0	69019	34	4,956.6	0.226	0,8315962	132,22379	0,13380	**0,5868**
NORDESTE	Hist.	1,593.3	1,154.9	95	95	5,296.1	16.986				
NORDESTE	Par(p)	1,858.5	1,423.5	43029	21	11,748.2	0.017	0,6582242	62,53130	0,01027	
NORDESTE	Par(p)-A	1,834.0	1,423.0	42868	21	12,387.2	0.067	0,6586868	62,57525	0,01039	**1,0117**
NORTE	Hist.	1,065.9	758.7	92	92	3,522.7	34.289				
NORTE	Par(p)	1,269.9	1,023.1	45669	22	7,565.8	0.015	0,5499257	50,59316	0,00038	
NORTE	Par(p)-A	1,271.8	1,018.2	45422	22	7,717.5	0.036	0,5552314	51,08128	0,00046	**1,2105**
BMONTE	Hist.	1,174.3	1,041.2	146	146	4,232.0	7.023				
BMONTE	Par(p)	1,387.2	1,323.7	64803	32	10,962.6	0.010	0,6187129	90,33209	0,00022	
BMONTE	Par(p)-A	1,366.9	1,318.6	65251	32	10,967.0	0.004	0,6235082	91,03220	0,00027	**1,2273**
MAN-AP	Hist.	125.0	94.5	121	121	409.6	0.083				
MAN-AP	Par(p)	124.6	95.5	56416	28	682.0	0.000	0,9791672	118,47924	0,95575	
MAN-AP	Par(p)-A	124.7	95.1	55823	27	699.0	0.000	0,9874215	119,47800	1,00744	**1,0541**

Tabela 3.40 - Variância da Intensidade de Sequência Negativa. CB2021

CB2020 - Intensidade das Sequências Negativas

REE	Tipo	Média	D. Padrão	Tam. da amostra	N. médio de seg./int.	Máximo	Mínimo	Estat. F	Estat. Qui-Quadrado	p-valor	Razão entre p-valores Par(p)-A e Par(p)
SUDESTE	Hist.	990.4	755.0	124	124	3,081.2	15.514				
SUDESTE	Par(p)	1,140.4	941.5	52796	26	6,611.7	0.043	0,6430626	79,73976	0,00177	
SUDESTE	Par(p)-A	1,126.1	932.4	53026	26	7,171.9	0.024	0,6556761	81,30384	0,00276	**1,5593**
MADEIRA	Hist.	583.2	397.5	87	87	1,701.7	48.813				
MADEIRA	Par(p)	639.1	448.0	46550	23	3,191.1	0.014	0,7872601	68,49163	0,16563	
MADEIRA	Par(p)-A	625.2	440.8	46102	23	3,197.9	0.023	0,8131882	70,74738	0,23474	**1,4173**
TPIRES	Hist.	290.9	215.4	126	126	970.8	1.284				
TPIRES	Par(p)	317.9	222.6	54772	27	1,753.6	0.006	0,9363562	117,98088	0,68170	
TPIRES	Par(p)-A	312.9	222.2	54451	27	1,725.6	0.013	0,9397304	118,40603	0,70228	**1,0302**
ITAIPU	Hist.	833.9	582.5	120	120	3,115.6	8.417				
ITAIPU	Par(p)	901.1	561.4	56494	28	3,320.4	0.078	0,9288658	111,46389	0,64858	
ITAIPU	Par(p)-A	877.8	554.1	56473	28	3,327.5	0.027	0,9048664	108,58396	0,51415	**0,7927**
PARANA	Hist.	3,255.3	2,701.1	125	125	12,902.2	19.916				
PARANA	Par(p)	3,712.6	2,939.9	52352	26	23,320.6	0.021	0,8441434	105,51792	0,23221	
PARANA	Par(p)-A	3,669.9	2,930.7	52062	26	26,063.8	0.071	0,8494515	106,18144	0,25103	**1,0810**
PRNPANEMA	Hist.	649.6	379.0	137	137	1,781.5	21.743				
PRNPANEMA	Par(p)	798.1	448.5	64177	32	3,214.9	0.015	0,7140909	97,83046	0,01129	
PRNPANEMA	Par(p)-A	783.0	452.2	63774	31	3,205.9	0.030	0,7024531	96,23607	0,00793	**0,7024**
SUL	Hist.	1,692.6	901.1	162	162	4,353.1	4.599				
SUL	Par(p)	1,743.9	935.7	70561	35	5,652.5	0.049	0,9274120	150,24075	0,56454	
SUL	Par(p)-A	1,726.8	939.3	70347	35	5,671.4	0.020	0,9203168	149,09132	0,51999	**0,9211**
IGUACU	Hist.	1,593.4	765.1	159	159	3,754.1	31.269				
IGUACU	Par(p)	1,658.5	824.5	69350	34	4,989.7	0.055	0,8611030	136,91537	0,22803	
IGUACU	Par(p)-A	1,645.8	839.0	69019	34	4,956.6	0.226	0,8315962	132,22379	0,13380	**0,5868**
NORDESTE	Hist.	1,593.3	1,154.9	95	95	5,296.1	16.986				
NORDESTE	Par(p)	1,858.5	1,423.5	43029	21	11,748.2	0.017	0,6582242	62,53130	0,01027	
NORDESTE	Par(p)-A	1,834.0	1,423.0	42868	21	12,387.2	0.067	0,6586868	62,57525	0,01039	**1,0117**
NORTE	Hist.	1,065.9	758.7	92	92	3,522.7	34.289				
NORTE	Par(p)	1,269.9	1,023.1	45669	22	7,565.8	0.015	0,5499257	50,59316	0,00038	
NORTE	Par(p)-A	1,271.8	1,018.2	45422	22	7,717.5	0.036	0,5552314	51,08128	0,00046	**1,2105**
BMONTE	Hist.	1,174.3	1,041.2	146	146	4,232.0	7.023				
BMONTE	Par(p)	1,387.2	1,323.7	64803	32	10,962.6	0.010	0,6187129	90,33209	0,00022	
BMONTE	Par(p)-A	1,366.9	1,318.6	65251	32	10,967.0	0.004	0,6235082	91,03220	0,00027	**1,2273**
MAN-AP	Hist.	125.0	94.5	121	121	409.6	0.083				
MAN-AP	Par(p)	124.6	95.5	56416	28	682.0	0.000	0,9791672	118,47924	0,95575	
MAN-AP	Par(p)-A	124.7	95.1	55823	27	699.0	0.000	0,9874215	119,47800	1,00744	**1,0541**

3.2.8 Máximos de Métricas de Sequências Negativas

As avaliações de máximos de métricas de sequencias negativas foram aplicadas individualmente para cada REE utilizando como cenários sintéticos 200 séries forward geradas pelo GEVAZP como o mesmo comprimento do histórico. Para cada uma das 200 séries foram definidas as sequencias negativas, calculadas as suas métricas e obtidos os respectivos valores máximos. Para cada métrica, os 200 máximos gerados foram comparados com o máximo histórico respectivo.

A Figura 3.27 e a Figura 3.28 comparam para cada REE as frequências de máximos comprimentos dentre os 200 gerados inferiores ao respectivo máximo histórico de cada modelo. Pode-se notar que o modelo PAR(p)-A consegue gerar valores superiores com maior frequência que o modelo PAR(p).

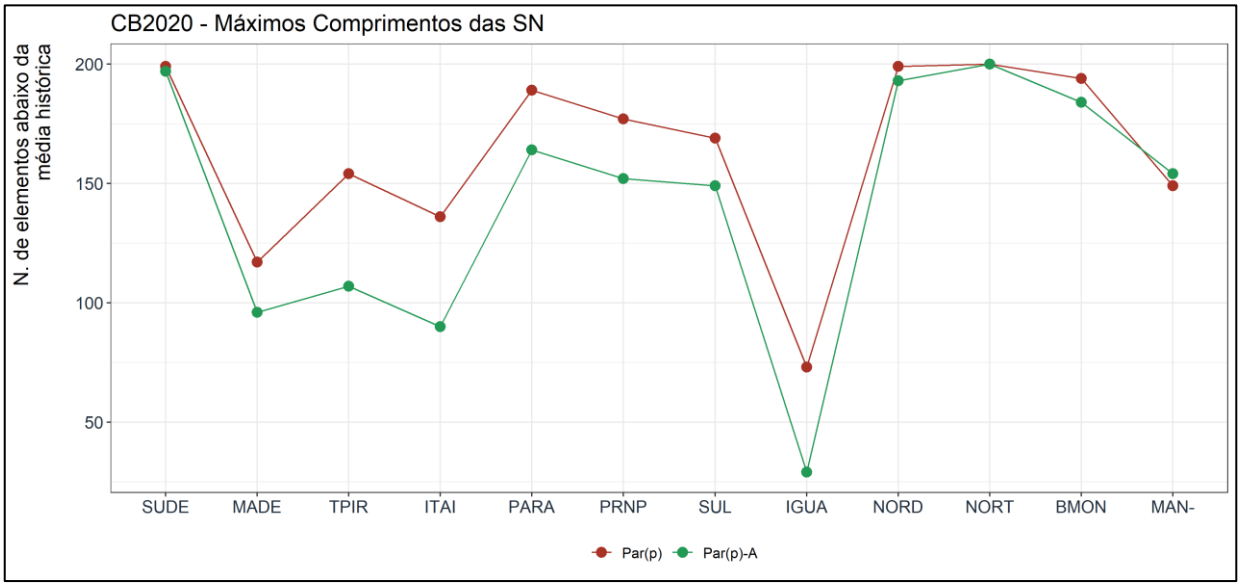


Figura 3.27 - Frequências de Máximo Comprimento de Sequência Negativa < Histórico. CB2020

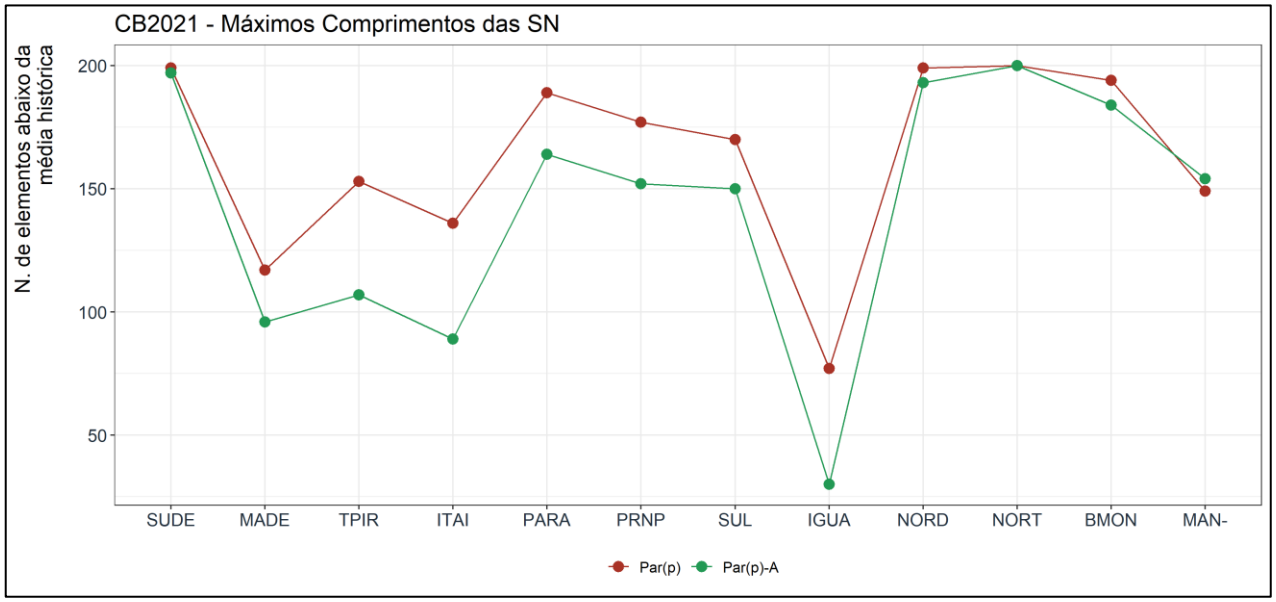


Figura 3.28 - Frequências de Máximo Comprimento de Sequência Negativa < Histórico. CB2021

As Figura 3.29,Figura 3.30, Figura 3.31 e Figura 3.32 comparam para as métricas de média das máximas somas e médias das máximas intensidades dos valores gerados com os valores históricos. Pode-se observar que as médias das máximas de soma do modelo PAR(p)-A se aproxima mais do valor histórico. Para a métrica de média das máximas intensidades, os dois modelos se equivalem.

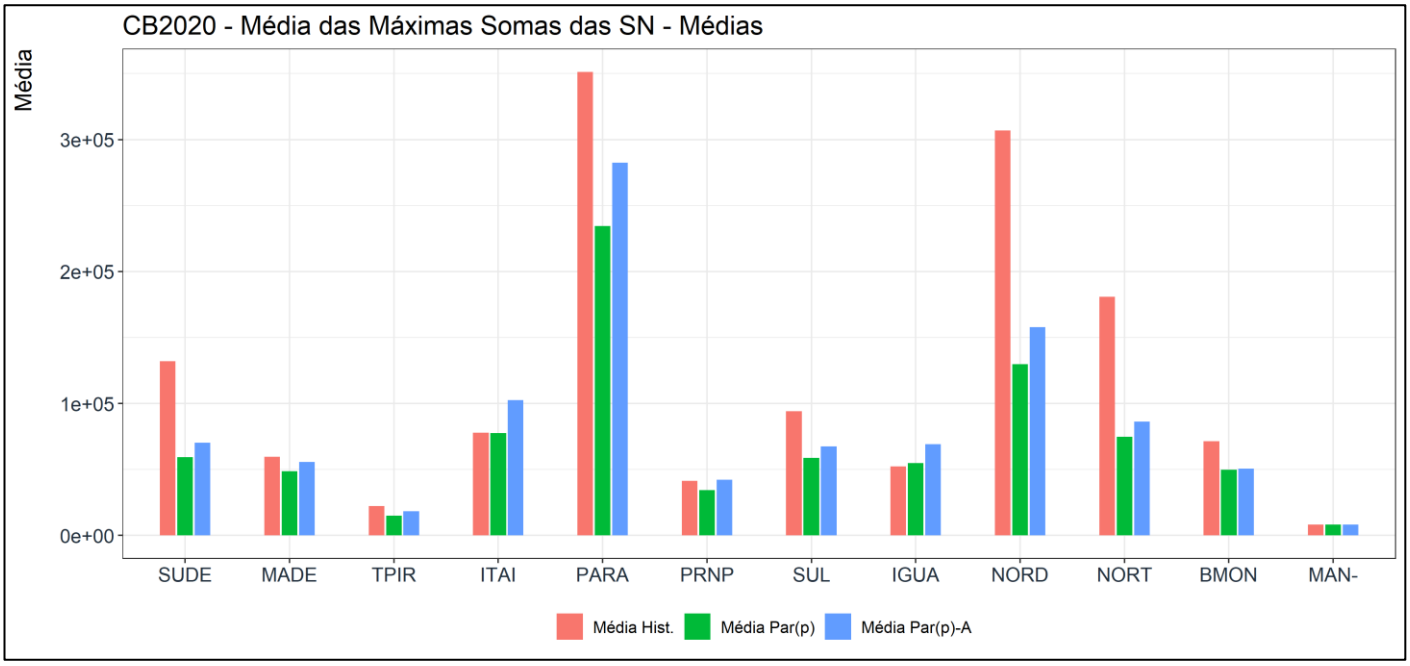


Figura 3.29 - Médias das Máximas Somas das Sequências Negativas. CB2020

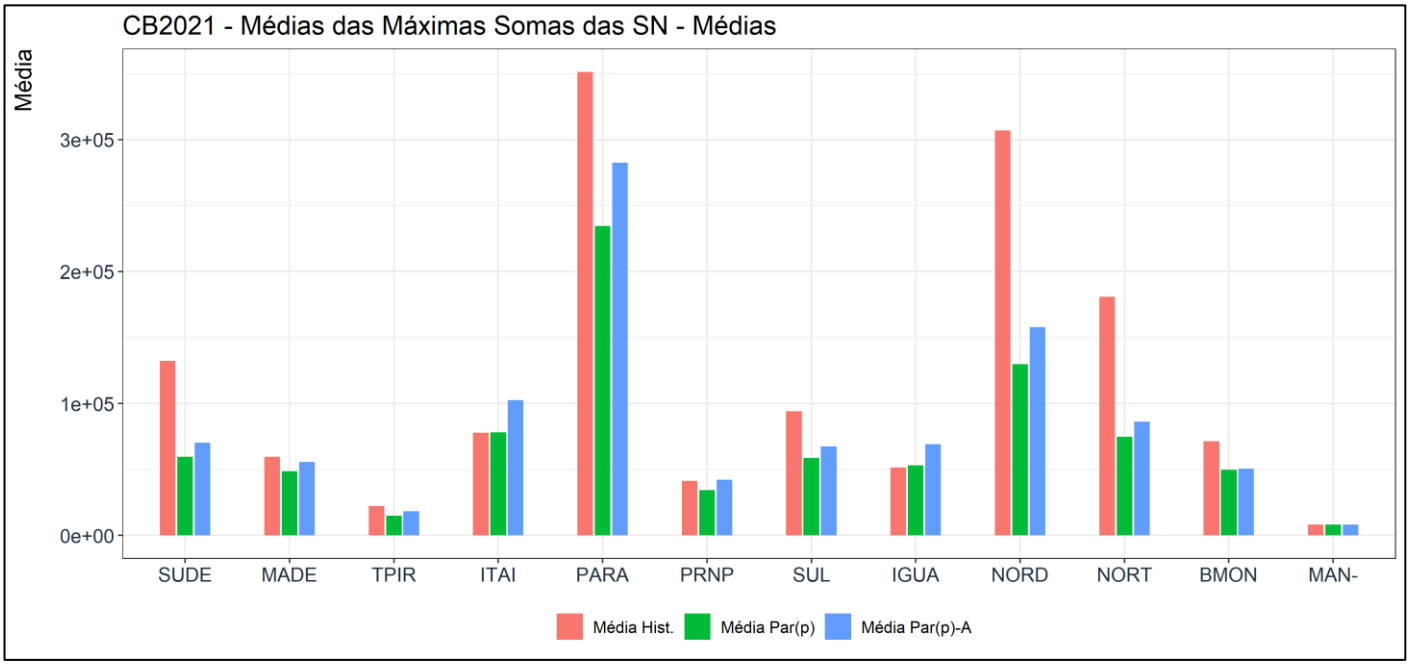


Figura 3.30 - Médias das Máximas Somas das Sequências Negativas. CB2021

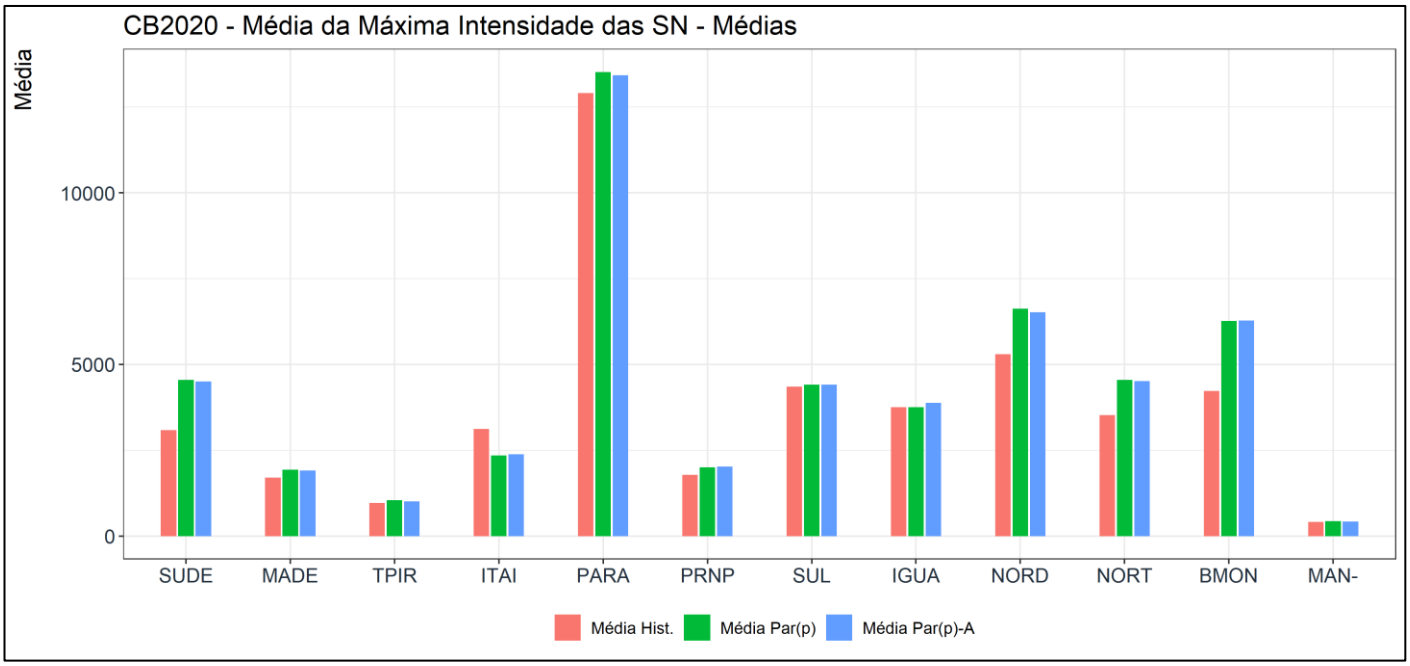


Figura 3.31 - Médias das Máximas Intensidades das Sequências Negativas. CB2020

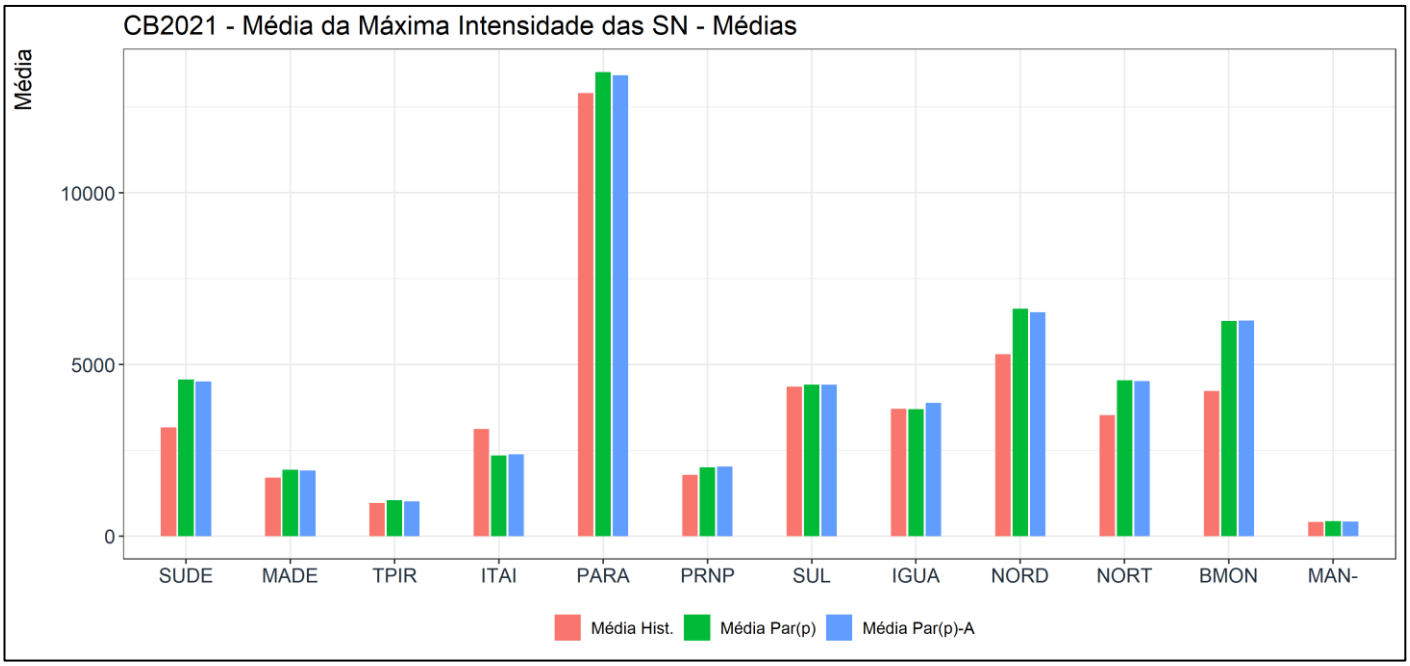


Figura 3.32 - Médias das Máximas Intensidades das Sequências Negativas. CB2021

4 CONCLUSÕES

Esse relatório apresentou uma extensão do conjunto de procedimentos de avaliação de aderência ao histórico utilizados pelo modelo GEVAZP e uma aplicação desta extensão para a avaliação comparativa da modelagem PAR(p) utilizada nos modelos NEWAVE e DECOMP e da sua modificação, modelagem PAR(p)-A.

Objetivou-se fazer um conjunto de testes estatísticos formais para avaliar e comparar a aderência ao histórico de cenários sintéticos produzidos por modelos de séries temporais. Ademais, também se descreveu a aplicação da metodologia para a avaliação do impacto na aderência ao histórico causada pela troca do modelo PAR(p) pelo modelo PAR(p)-A.

As análises apresentadas apontam para as seguintes conclusões:

- Os dois modelos apresentaram boa performance para todos os REEs e meses nas análises de desvios entre estatísticas históricas e geradas de médias e desvios-padrão das afluências mensais nas amostras da simulação final, comprovando a qualidade das implementações computacionais.
- Nos estudos com as afluências geradas para a forward verificou-se desempenho semelhante dos dois modelos na aderência ao histórico das médias e desvio-padrão.
- A troca do modelo PAR(p) pelo modelo PAR(p)-A, de forma geral, não afetou negativamente ou positivamente a aderência ao histórico em termos das distribuições de afluências mensais.
- Os períodos e REEs com menor ou maior aderência de médias, desvios padrões ou distribuições de afluências mensais da modelagem PAR(p) foram mantidos na modelagem PAR(p)-A.
- As aderências ao histórico das autocorrelações mensais até defasagem 11 e da autocorrelação anual defasagem 1 do modelo PAR(p)A é bem superior às aderências do modelo PAR(p). A implementação do PAR(p)-A buscou exatamente o aprimoramento da representação da estrutura de autocorrelação.
- Aderência ao histórico das correlações espaciais (anuais e mensais) dos modelos PAR(p) e PAR(p)-A são equivalentes
- A aderência do PAR(p)-A ao histórico em termos de dispersão de métricas de sequências negativas mostrou-se superior.
- O PAR(p)-A apresenta máximos de comprimento acima do máximo histórico com maior frequência que o PAR(p).
- As médias dos máximos da soma do modelo PAR(p)-A são mais aderentes ao histórico.
- As médias de máximos de intensidade dos dois modelos mostraram a mesma aderência.
- Em resumo, o modelo PAR(p)-A melhora a reprodução das estruturas de dependência temporal das séries históricas sem prejuízo da representação das médias, desvio padrão e distribuição das afluências mensais e das estruturas de correlação espacial mensal ou anual.

5 APÊNDICE

Abaixo são apresentados os correlogramas espaciais anuais para todos os REEs, com exceção dos REEs Sudeste e Madeira (seção 3.2.4). Também são apresentados correlogramas históricos e sintéticos de afluências mensais para os 12 REEs. As correlações sintéticas foram calculadas a partir do caso CB2020.

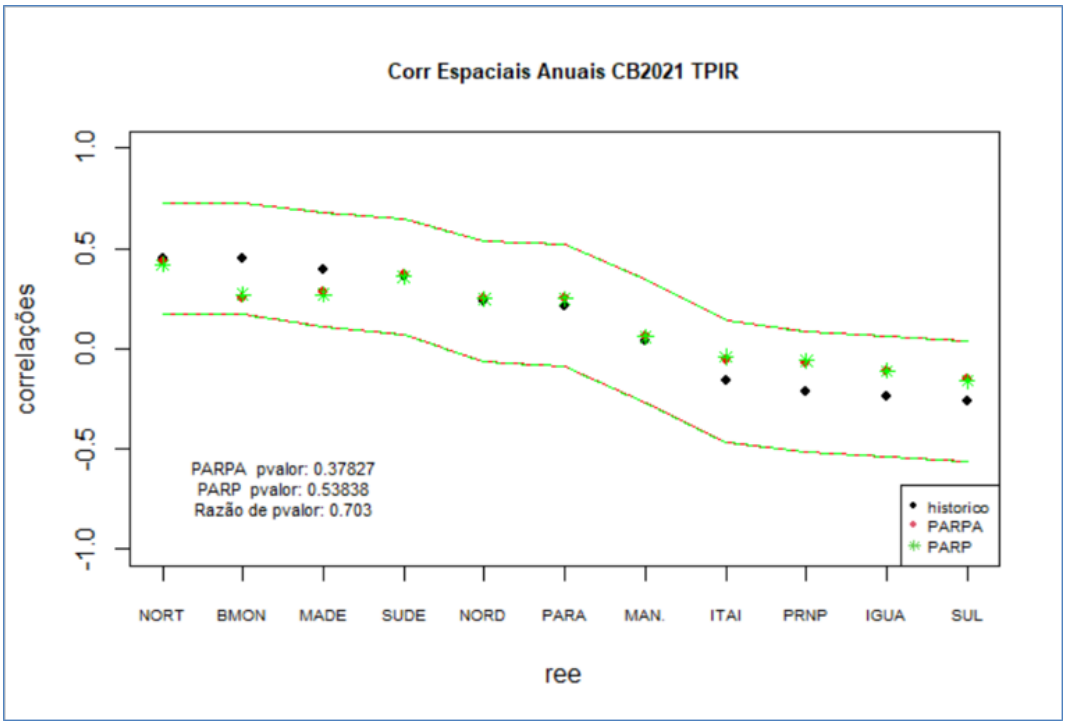


Figura 5.1 – Correlação espacial anual entre o REE Teles Pires e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

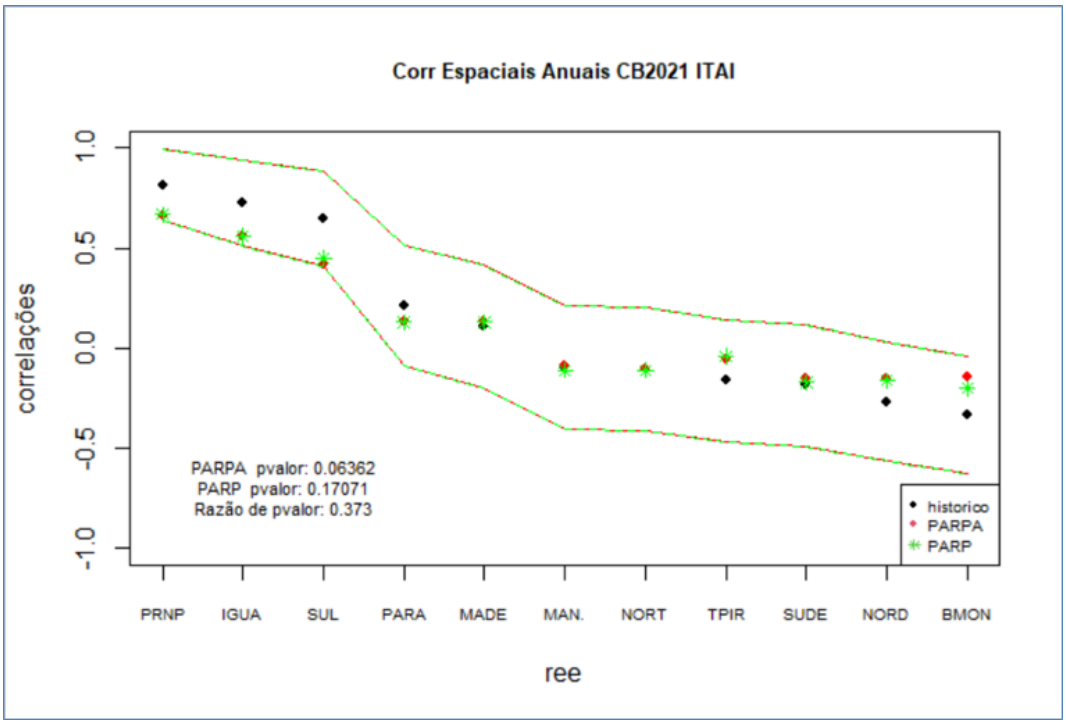


Figura 5.2 – Correlação espacial anual entre o REE Itaipu e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

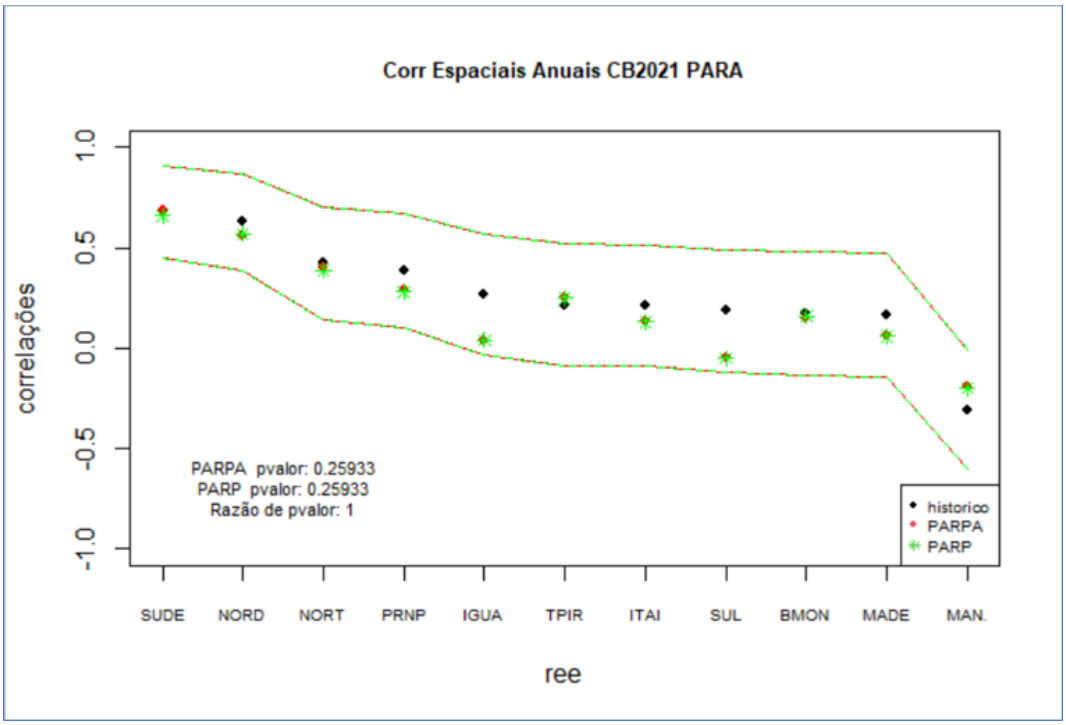


Figura 5.3 – Correlação espacial anual entre o REE Paraná e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

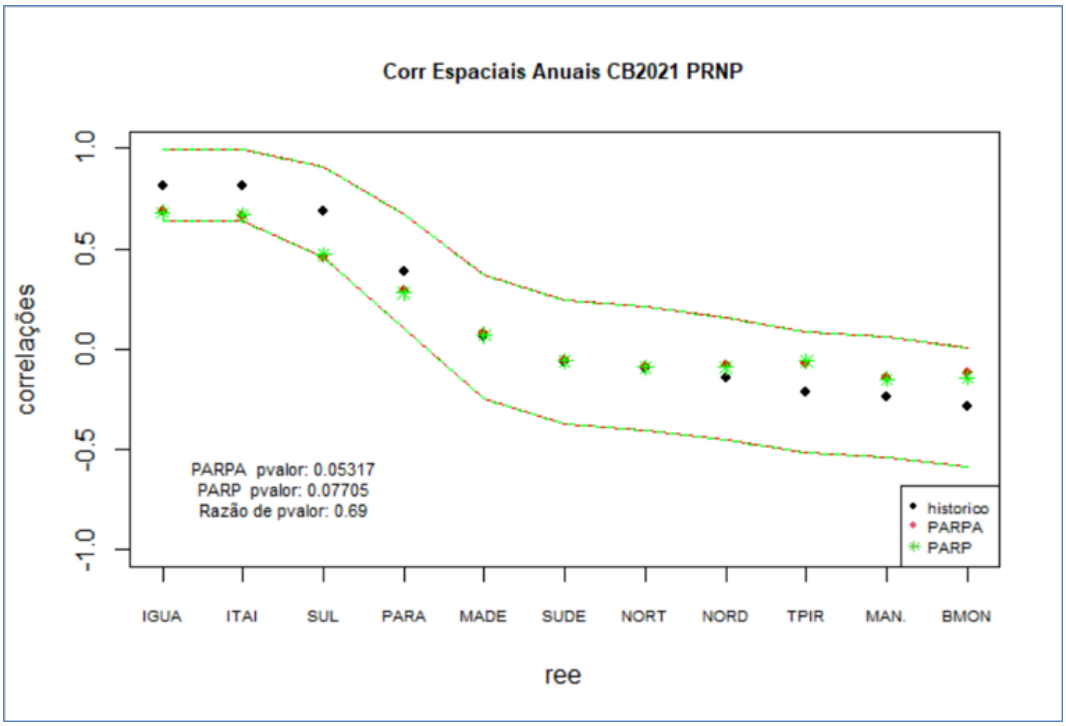


Figura 5.4 – Correlação espacial anual entre o REE Paranapanema e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

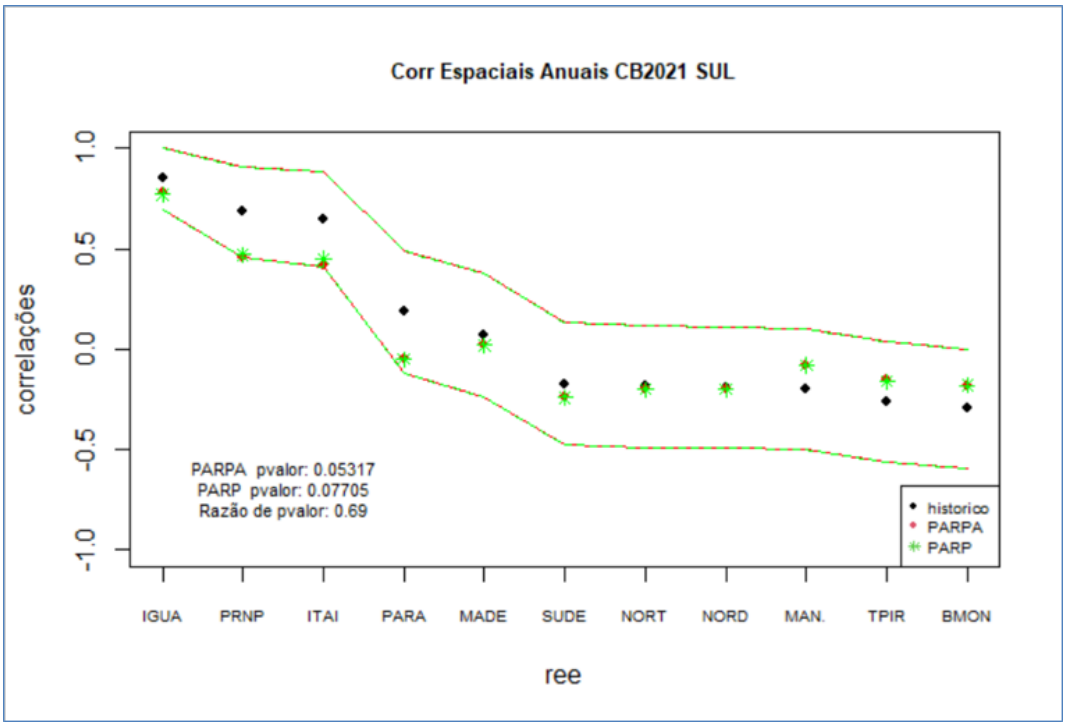


Figura 5.5 – Correlação espacial anual entre o REE Sul e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

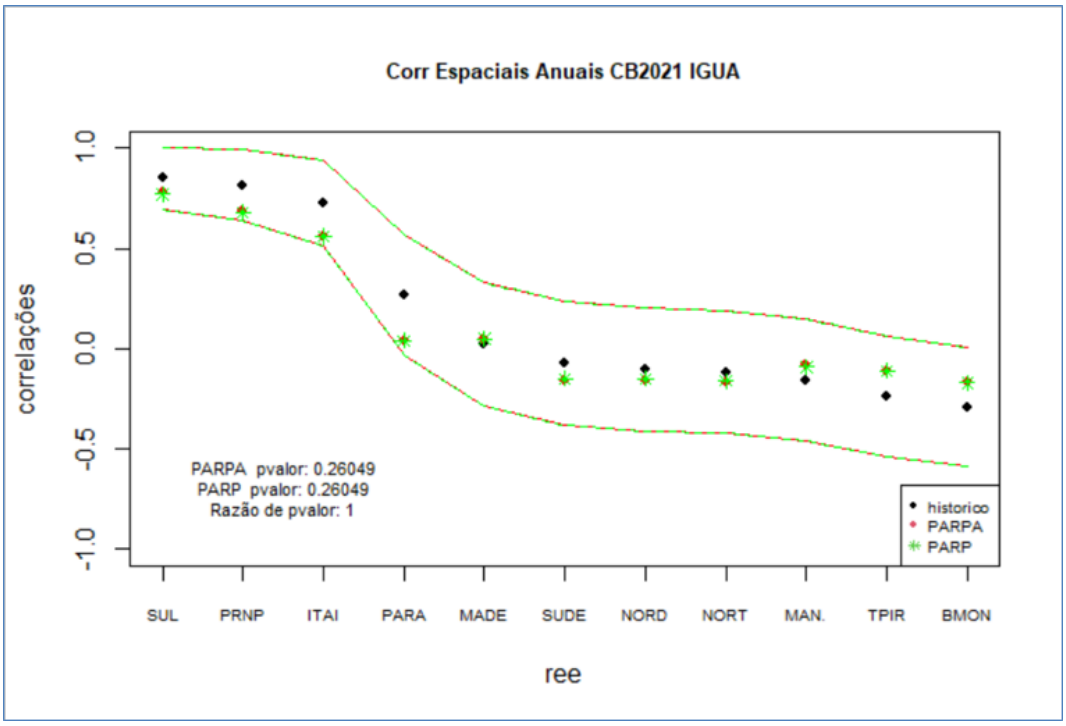


Figura 5.6 – Correlação espacial anual entre o REE Iguaçu e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

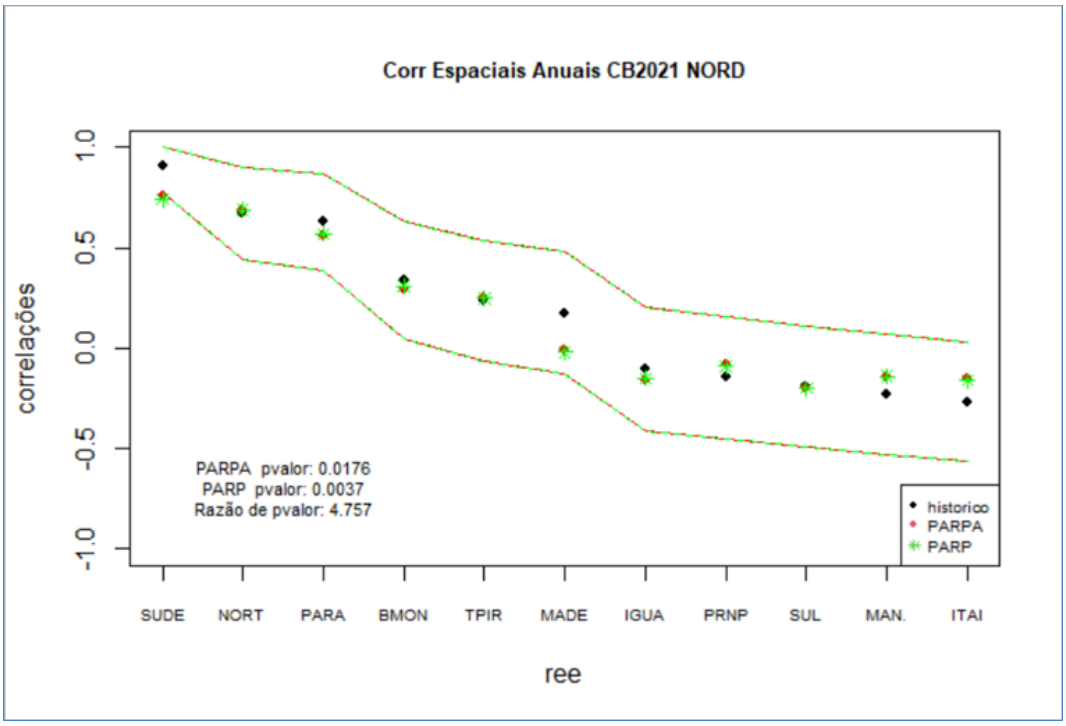


Figura 5.7 – Correlação espacial anual entre o REE Nordeste e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

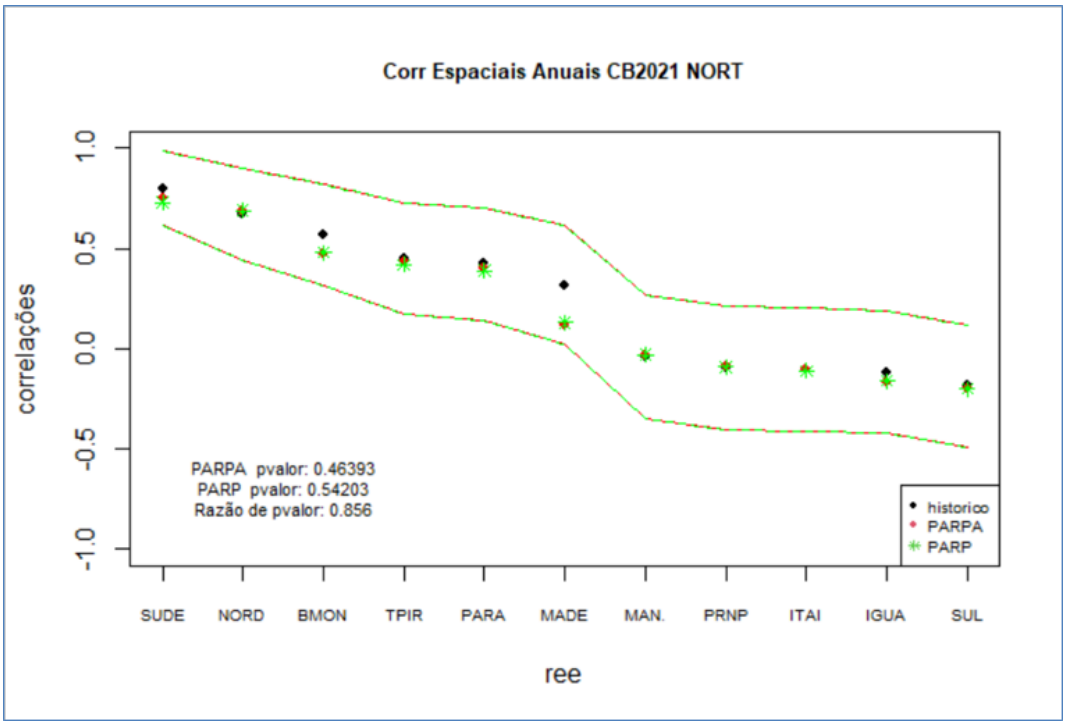


Figura 5.8 – Correlação espacial anual entre o REE Norte e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

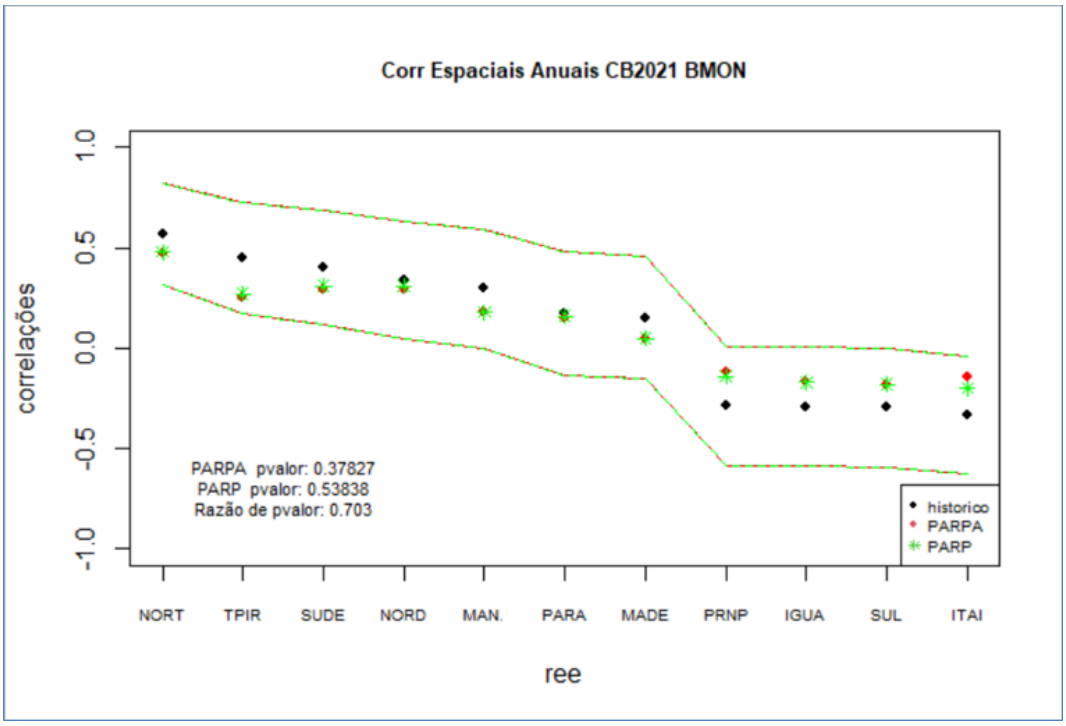


Figura 5.9 – Correlação espacial anual entre o REE Belo Monte e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

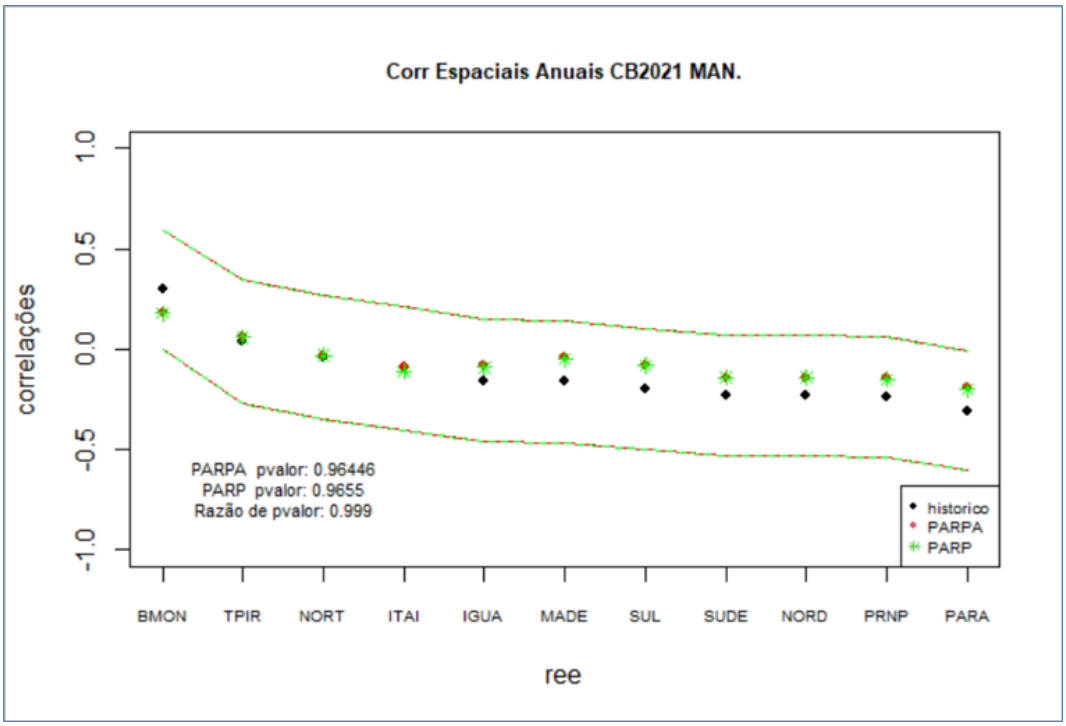


Figura 5.10 – Correlação espacial anual entre o REE Manaus-Amapá e demais REEs para os cenários gerados e o histórico.

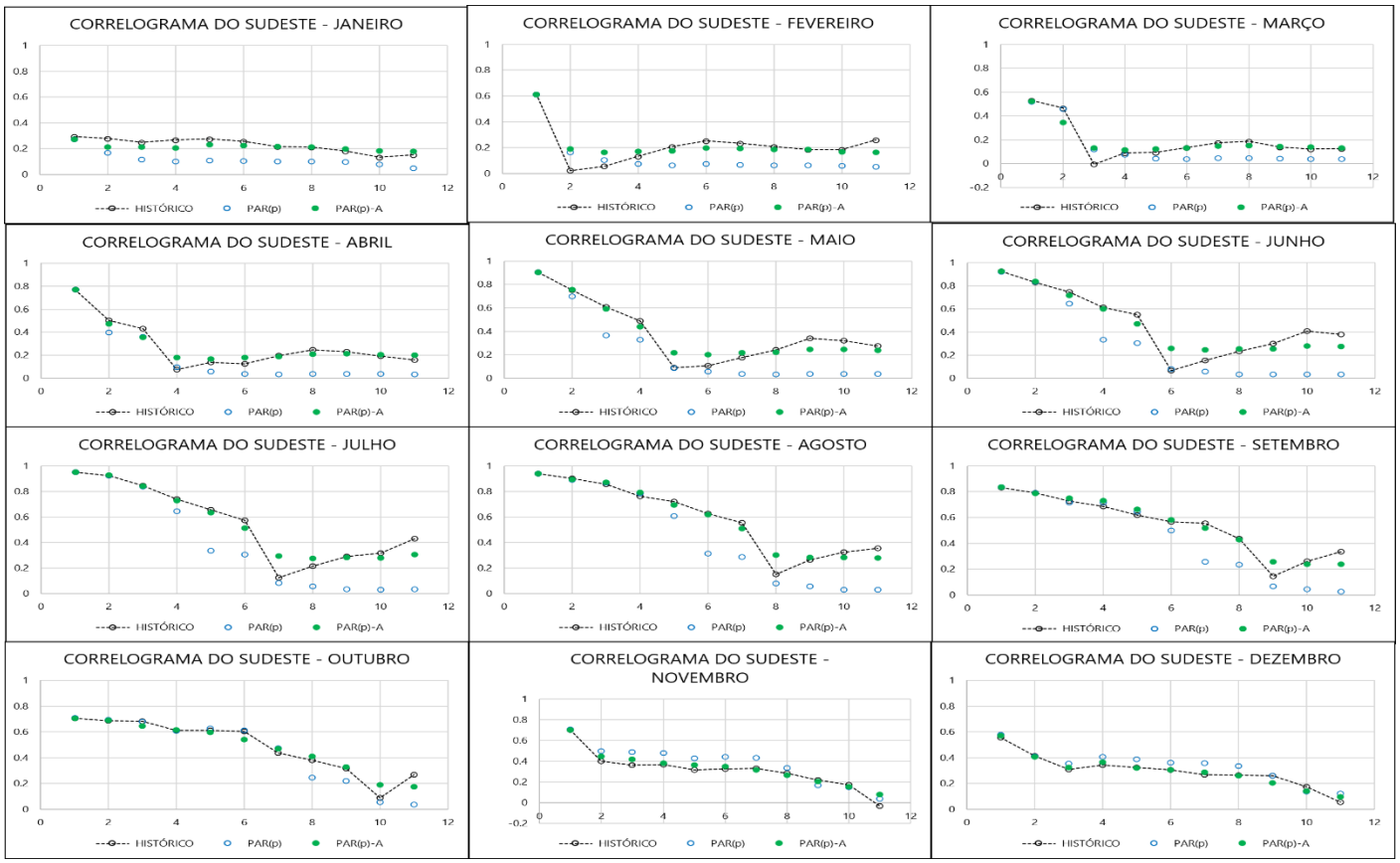


Figura 5.11 - Correlogramas mensais para o REE Sudeste

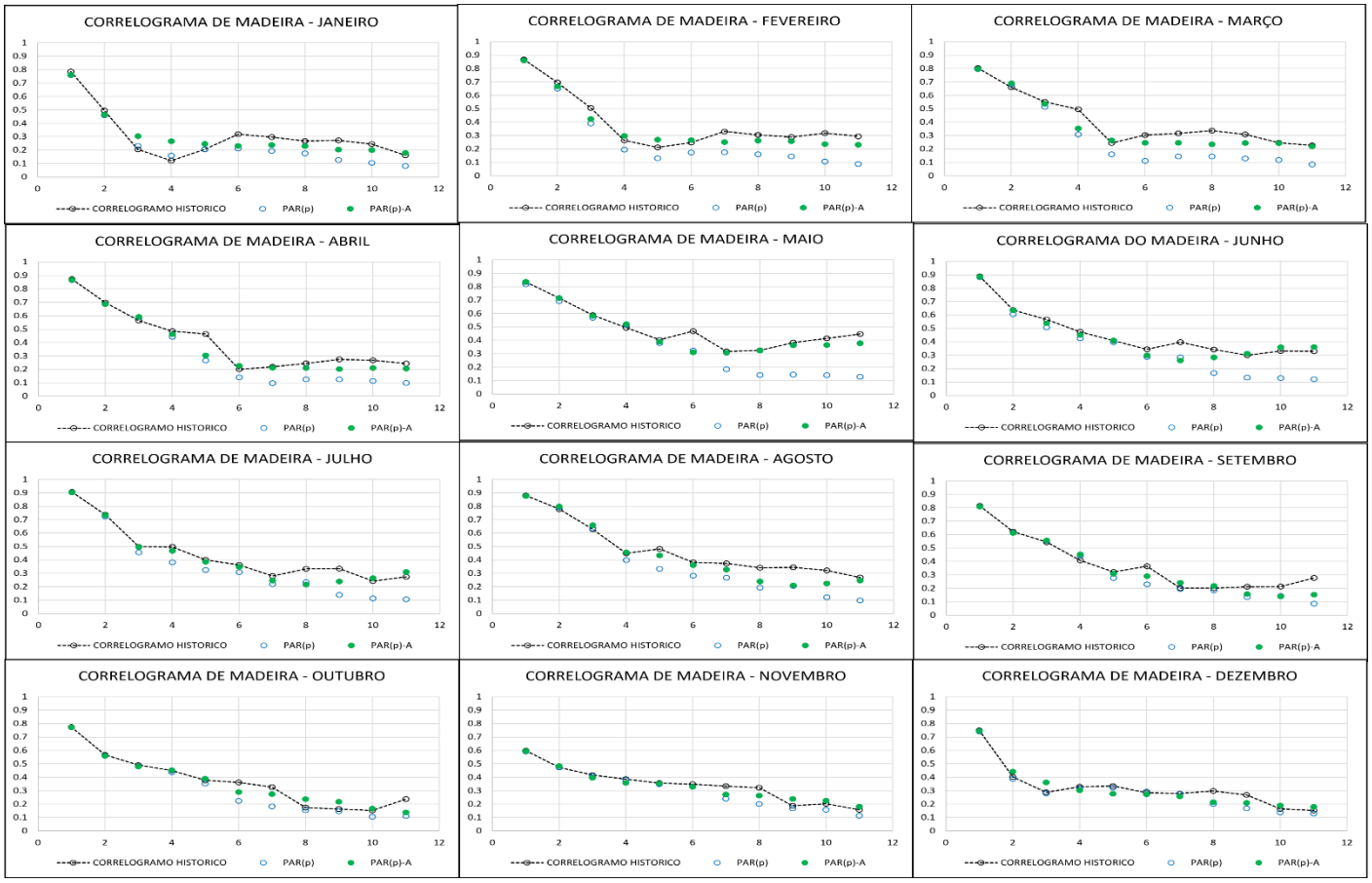


Figura 5.12 – Correlogramas mensais para o REE Madeira

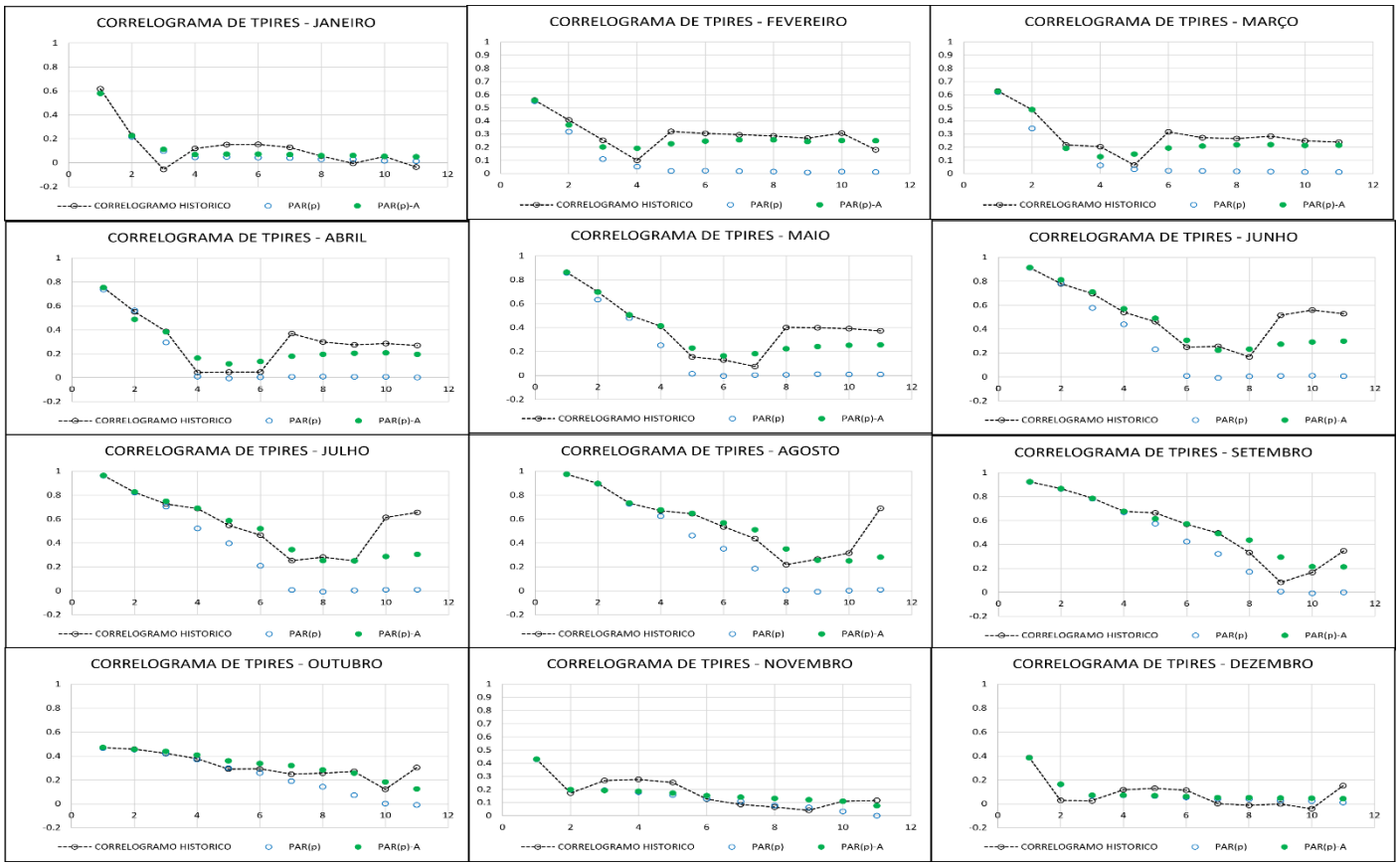


Figura 5.13 – Correlogramas mensais para o REE Teles Pires

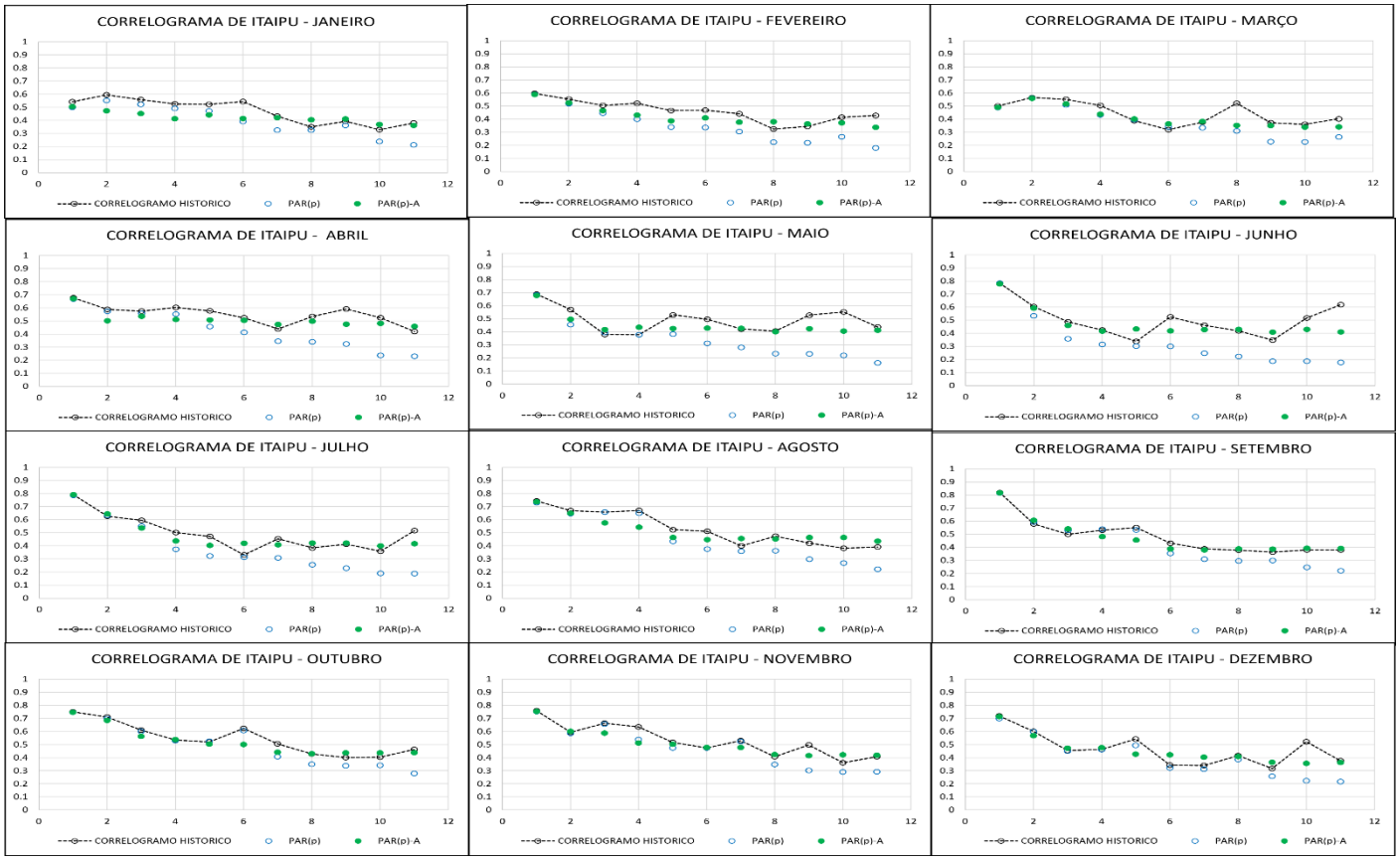


Figura 5.14 – Correlogramas mensais para o REE Itaipu

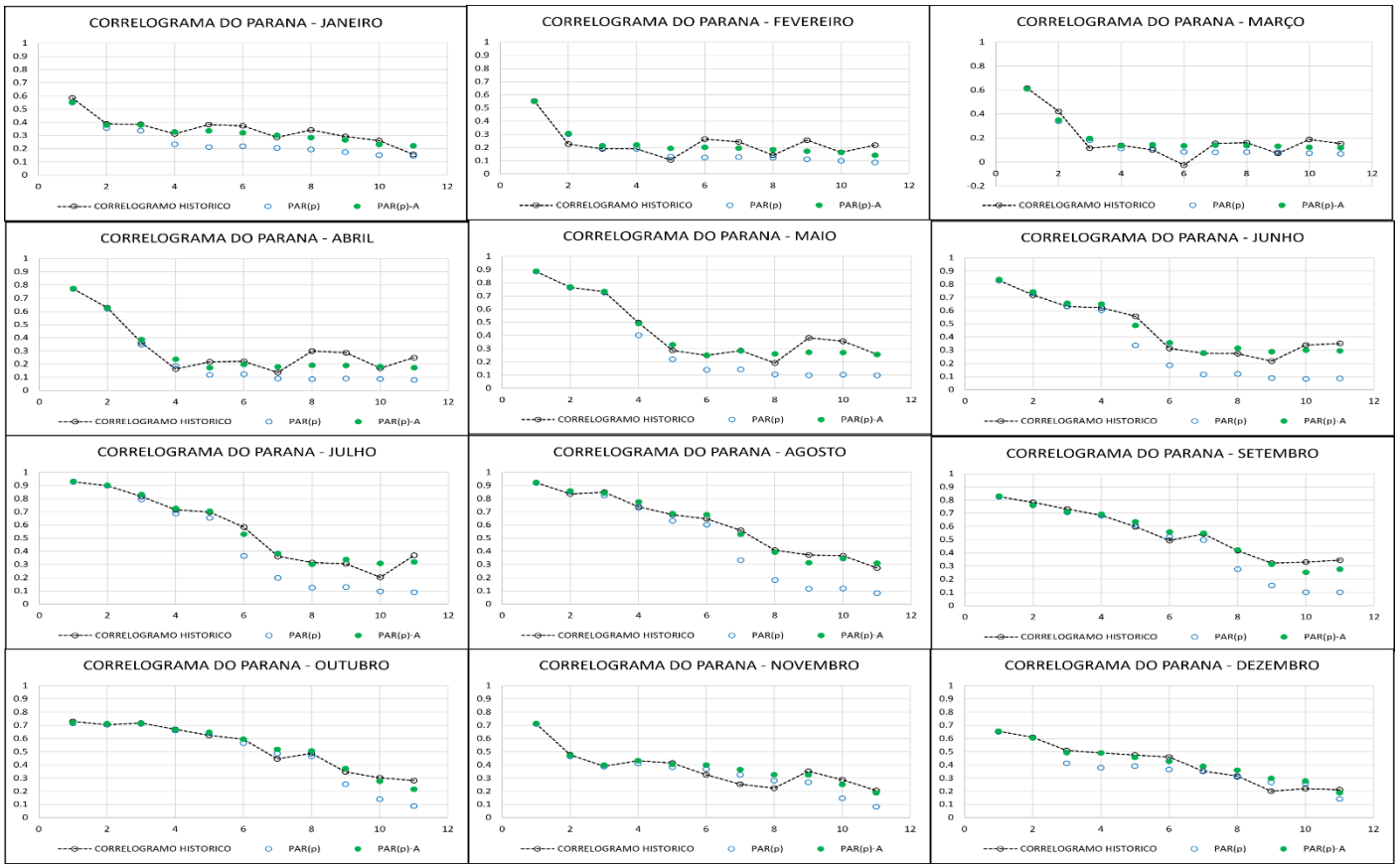


Figura 5.15 - Correlogramas mensais para o REE Paraná

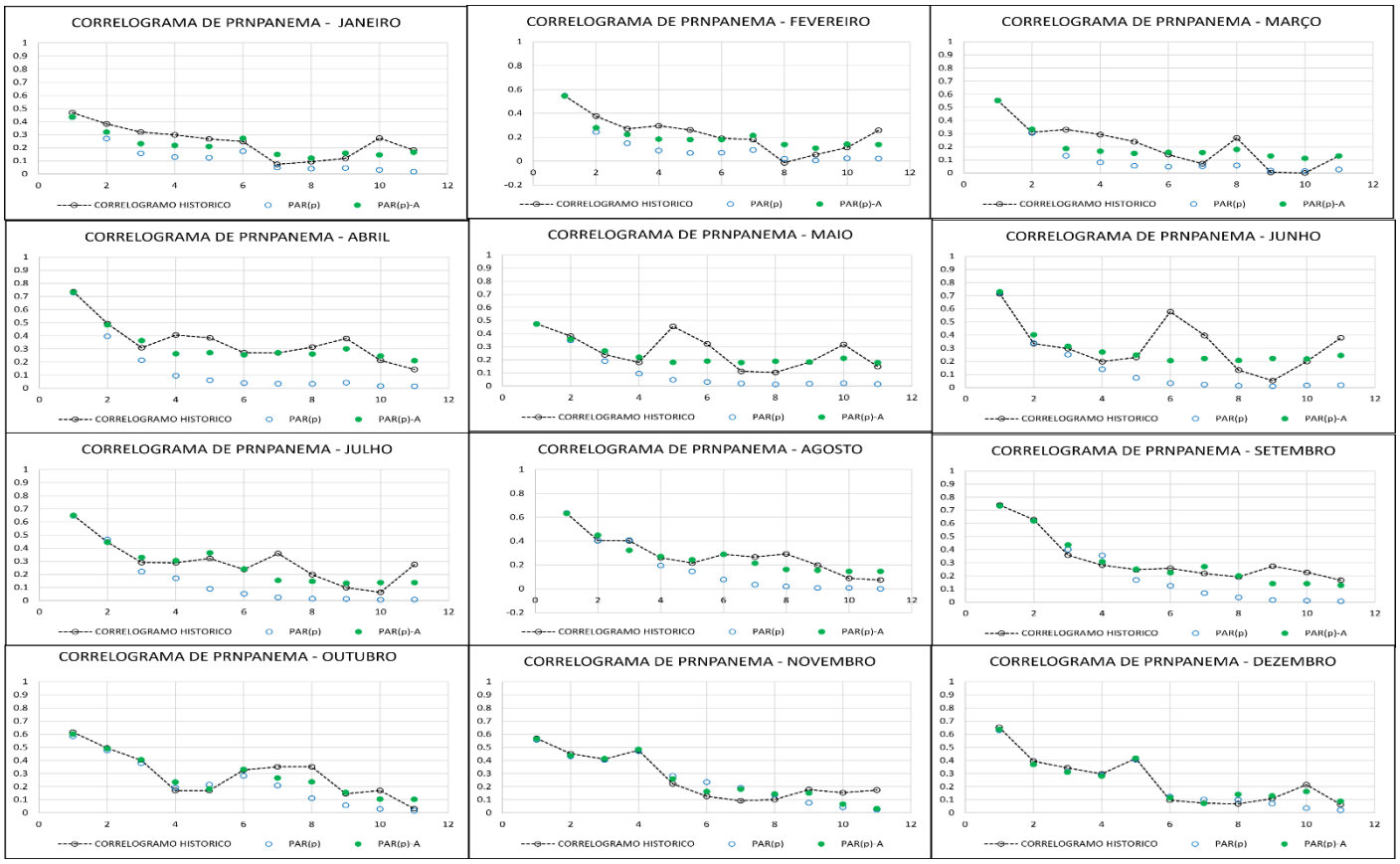


Figura 5.16 - Correlogramas mensais para o REE Paranapanema.

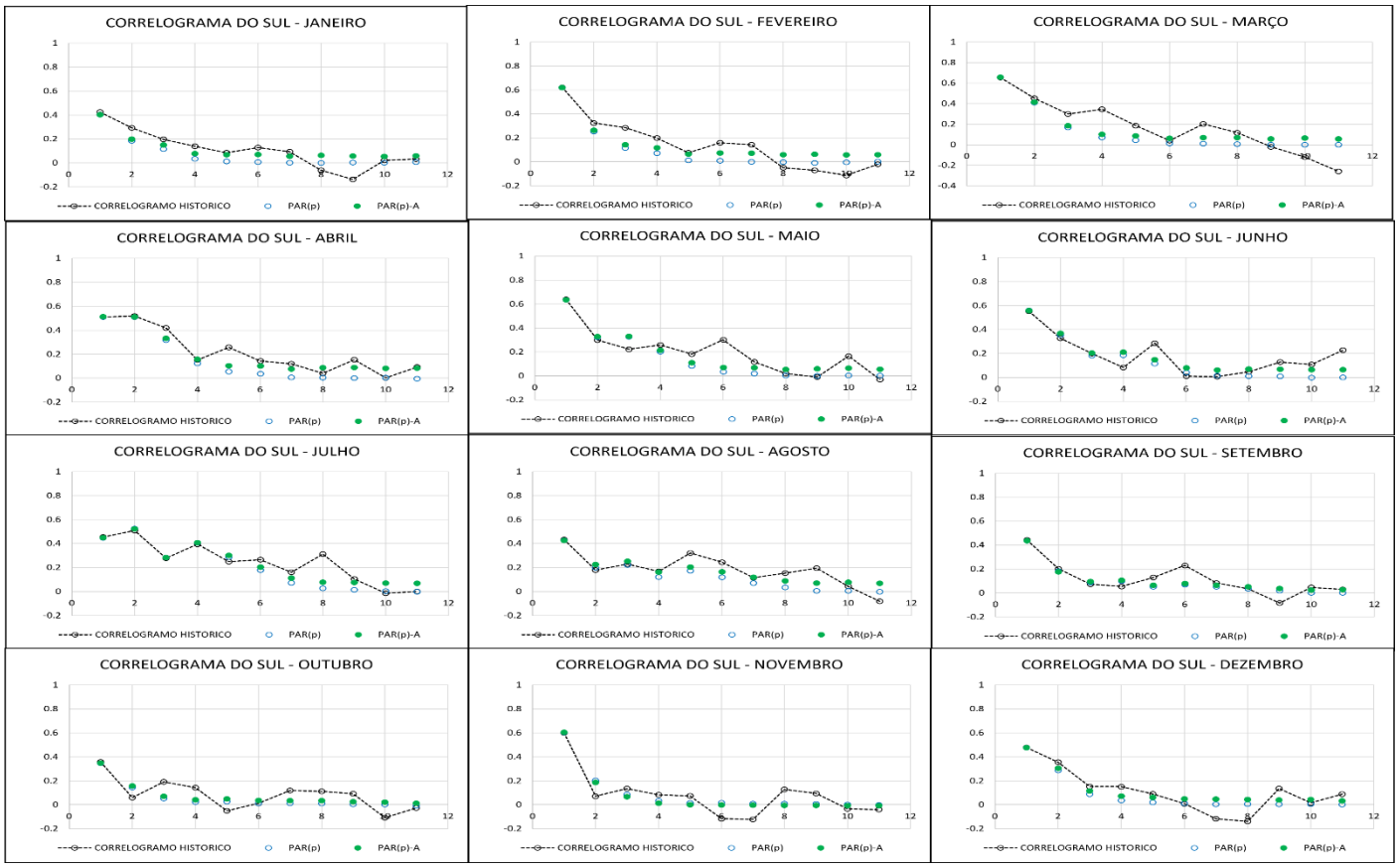


Figura 5.17 - Correlogramas mensais para o REE Sul.

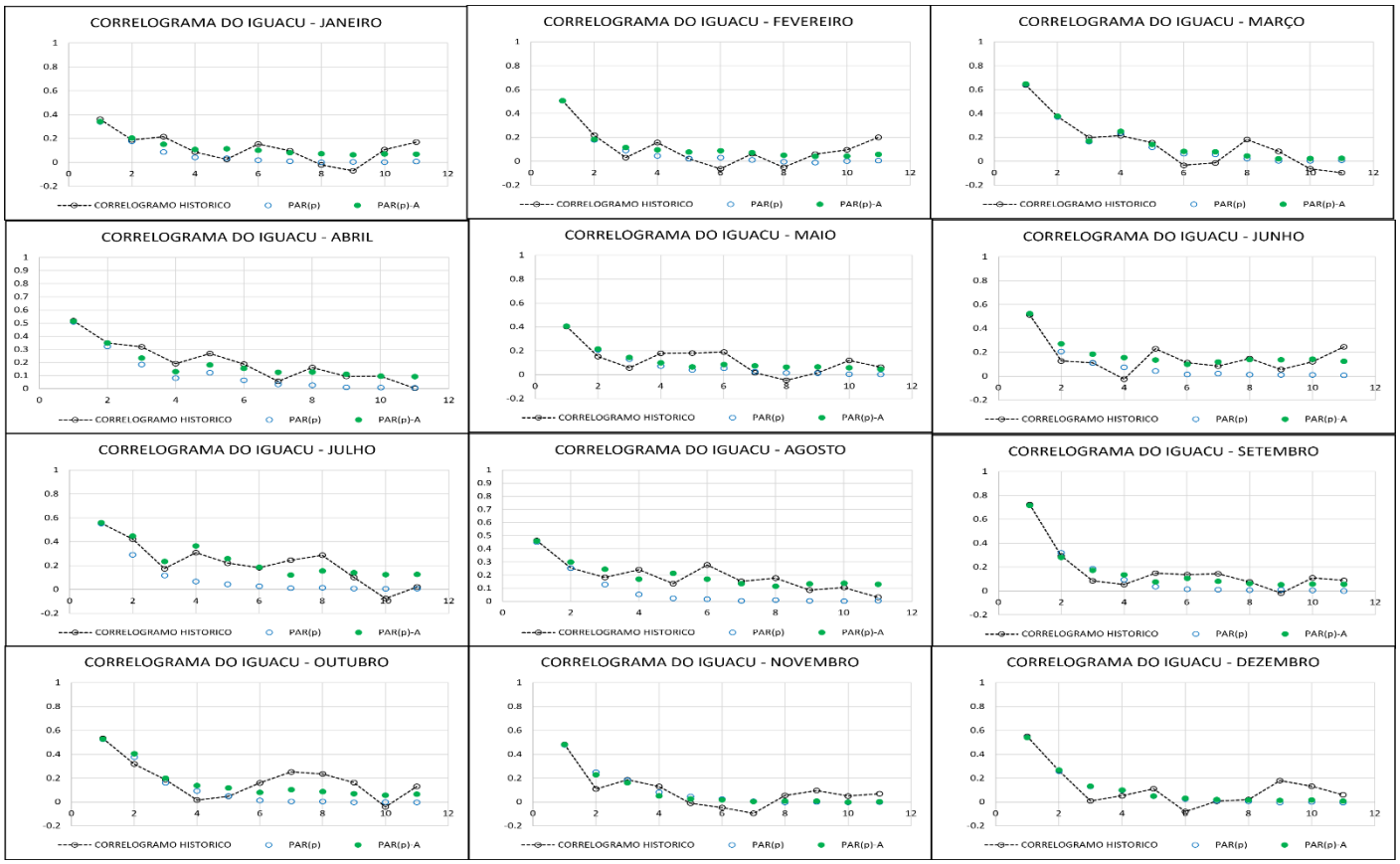


Figura 5.18 - Correlogramas mensais para o REE Iguaçu.

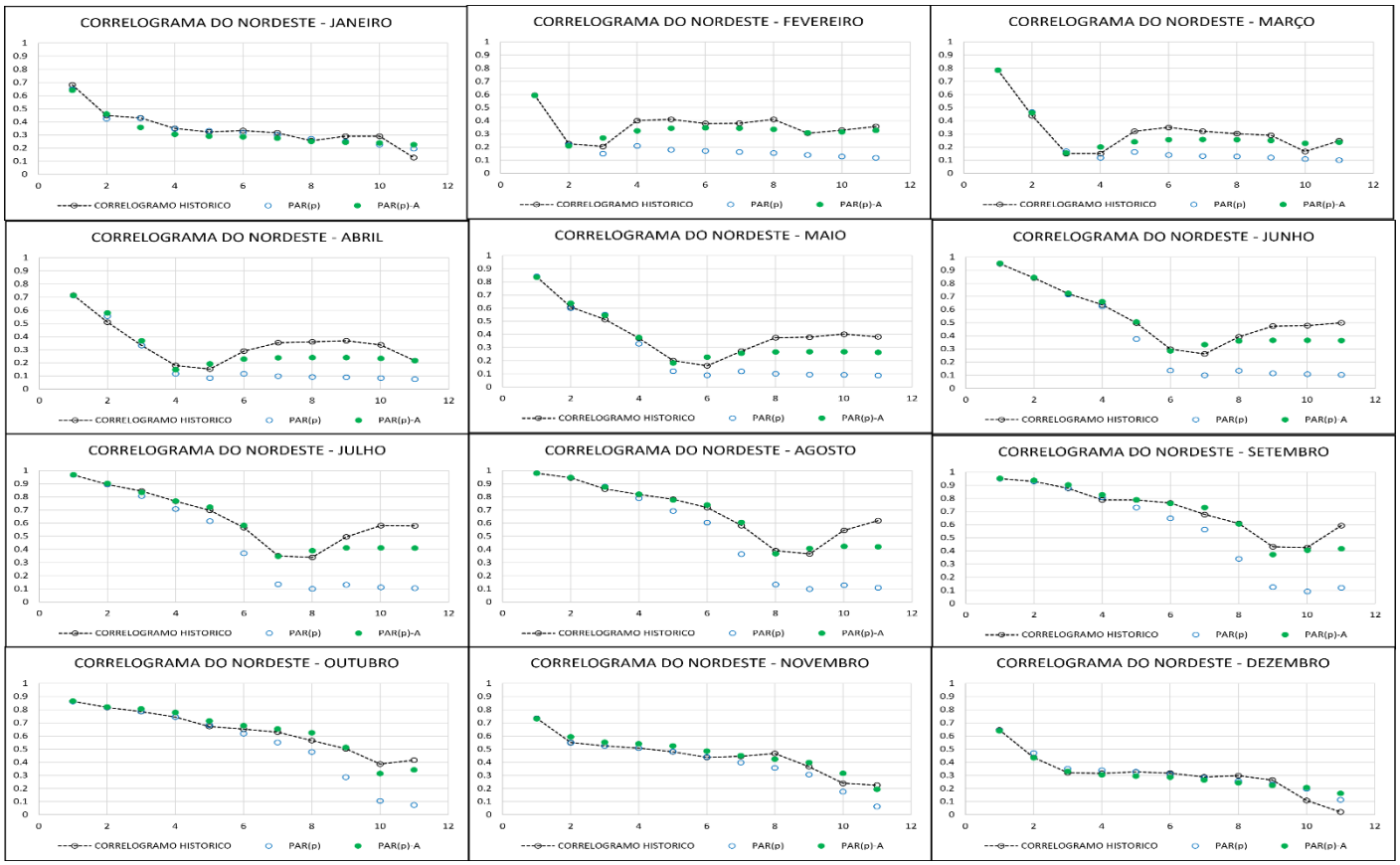


Figura 5.19 - Correlogramas mensais para o REE Nordeste

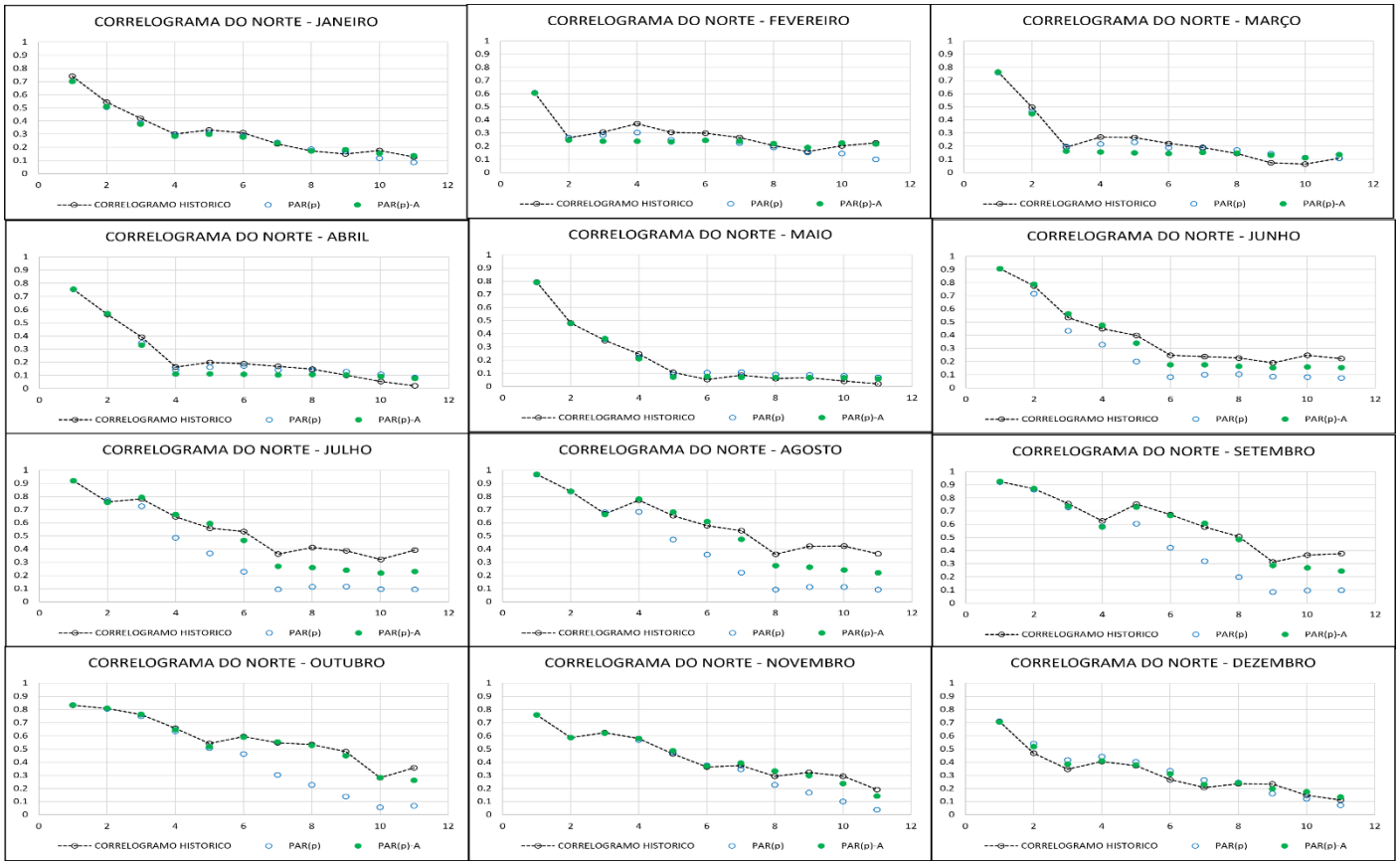


Figura 5.20 - Correlogramas mensais para o REE Norte.

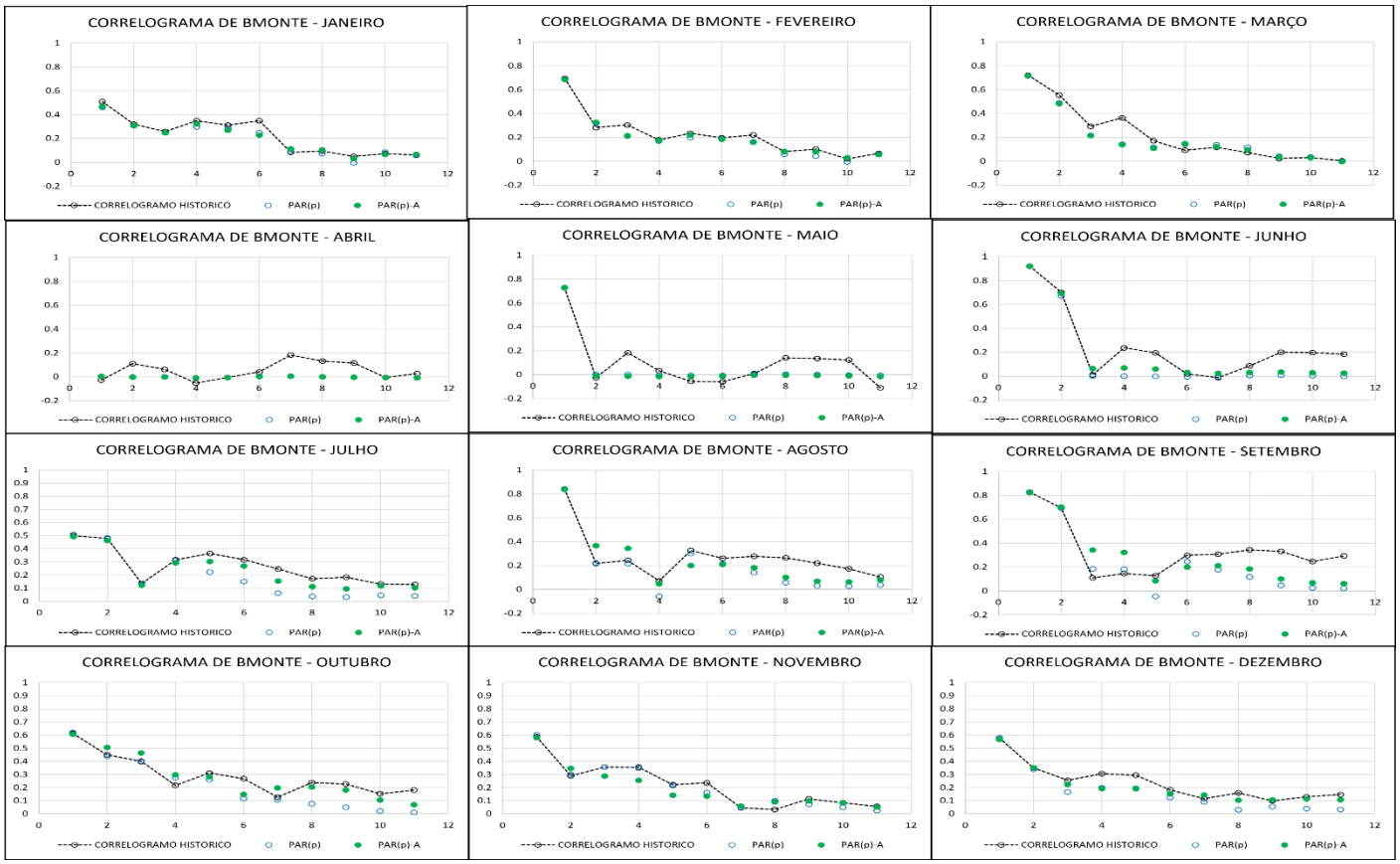


Figura 5.21 - Correlogramas mensais para o REE Belo Monte.

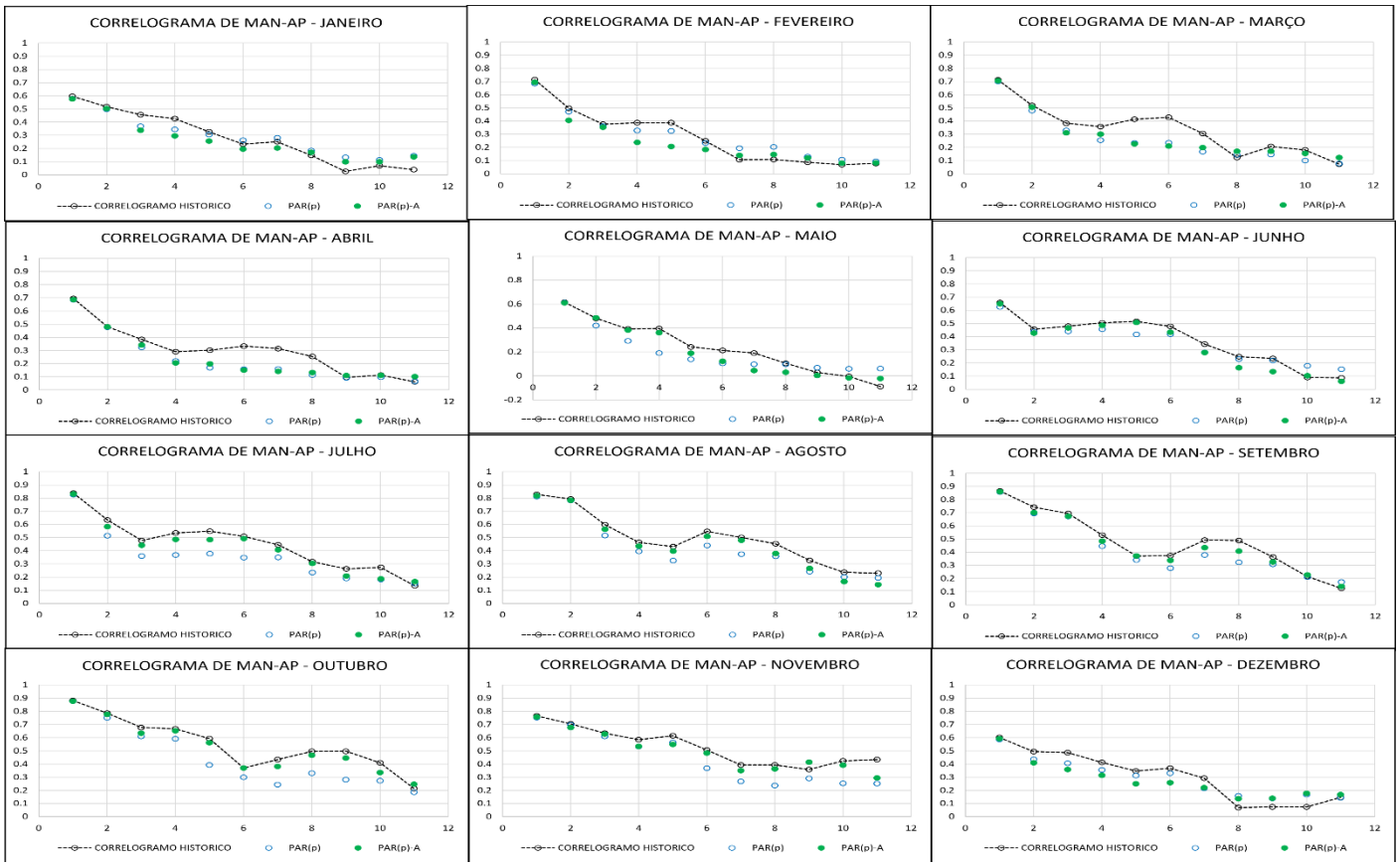


Figura 5.22 - Correlogramas mensais para o REE Manaus-Amapá.

6 REFERÊNCIAS

[1] Maceira, M. E., & Bezerra, C. (2000). Modelo de Geração de Séries Sintéticas de Energias e Vazões (Gevazp) - Manual de Metodologia. Rio de Janeiro: CEPEL.

[2] Maceira, M. E., & Jardim, D. L. (2001). Modelo de Geração de Séries Sintéticas de Energias e vazões- GEVAZP. Manual do Usuário. Rio de Janeiro: CEPEL.

[3] Penna, D., Maceira, M. E., Damázio, J. M., Treistman, F., & Araújo, H. S. (2018). Modelo de Geração de Séries Sintéticas de Energias e Vazões. Rio de Janeiro: CEPEL.

[4] Pineiro, M. E., & Penna, D. D. (2005). Modelo de Geração de Séries Sintéticas de Energias e Vazões - Manual de Referência. Rio de Janeiro: CEPEL.

[5] Treistman, F., Maceira, M. E., Damazio, J., & Cruz, C. (2020). Proposta Metodologia para o Aprimoramento da Memória de Modelos Autorregressivos Periódicos. Rio de Janeiro: CEPEL.