



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA

MARLON HESLY DE SOUZA AMARAL

**APLICAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE PARA O MONITORAMENTO DE
INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª
REGIÃO**

Recife - PE

2022

MARLON HESLY DE SOUZA AMARAL

**APLICAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE PARA O MONITORAMENTO DE
INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª
REGIÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Estatística da Universi-
dade Federal de Pernambuco como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em Estatística.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Quintas S. Maior

Recife - PE

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Amaral, Marlon Hesly de Souza.

Aplicação de gráficos de controle para o monitoramento de indicadores de eficiência do Tribunal Regional Federal da 5ª Região. / Marlon Hesly de Souza Amaral. - Recife, 2022.

30p : il., tab.

Orientador(a): Vinícius Quintas Souto Maior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Estatística - Bacharelado, 2022.

1. Gráficos de controle. 2. Taxa de congestionamento. 3. Tempo médio. 4. Processos autocorrelacionados. I. Souto Maior, Vinícius Quintas. (Orientação). II. Título.

310 CDD (22.ed.)

MARLON HESLY DE SOUZA AMARAL

**APLICAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE PARA O MONITORAMENTO DE
INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª
REGIÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Estatística da
Universidade Federal de Pernambuco como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Estatística.

Aprovado em: 20/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 VINICIUS QUINTAS SOUTO MAIOR
Data: 25/10/2022 22:09:10-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Vinícius Quintas S. Maior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Documento assinado digitalmente
 CRISTIANO FERRAZ
Data: 27/10/2022 09:00:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Cristiano Ferraz (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Documento assinado digitalmente
 TITO LIVIO DA CUNHA LOPES
Data: 25/10/2022 19:45:34-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Me. Tito Lívio da C. Lopes (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial meus pais, que contribuíram muito na minha formação e me ajudaram a chegar até aqui.

Ao meu orientador, Vinícius Maior, obrigado por aceitar a proposta de me orientar "logo de primeira" e pela paciência até aqui.

À minha namorada, Mayara, por me dar apoio em toda a minha jornada desde antes da vida acadêmica, por estar sempre ao meu lado quando mais precisei e por sempre me incentivar a seguir em frente. Sem você, nada disso seria possível. Te amo muito!

Aos amigos da jornada acadêmica. Integrantes d'O Bonde da Saudade e minha primeira turma: Aline, Paulo, Filipe, Ludmila, Mateus e Victor. Aos que continuaram comigo pelo restante do curso: Em especial Ben Hur, com quem desenvolvi fortes sentimentos de amizade ao longo do curso, proporcionando boas risadas e trabalhos em equipe que não foram estressantes, Alvaro, Byanka e Vinícius. Obrigado pelas boas memórias e por estarem sempre por perto.

Aos meus chefes do TRF5: Tito e Laryssa, obrigado por toda ajuda, ensinamentos, principalmente pela paciência, pois sem vocês esse TCC não seria possível.

Ao grupo Game Zone e amigos: obrigado, em especial, à Higor, Magnum, Paulo e Rafael, pelas noites em claro e divertidas.

À minha filha caramela, Ariel, que sempre me proporcionou felicidades e amor desde o dia em que chegou.

RESUMO

Abordando o período considerado pandêmico no Brasil, onde os dados têm início em fevereiro de 2020 e seguem até junho de 2022, serão feitas análises para dois dos mais importantes indicadores do Tribunal Regional Federal da 5ª Região (TRF5): o Tempo médio de tramitação dos processos de execução baixados no 1º Grau (TmBaixEx1º) e a Taxa de Congestionamento (TC). Utilizando o software (RStudio Team, 2022) e gráficos de controle, será feito o monitoramento dessas variáveis entre os anos de 2020 e 2021 para compará-las com a primeira metade de 2022. Levando em consideração a característica dos dados de cada indicador, serão considerados diferentes abordagens gráficas voltadas a avaliar a estabilidade dos mesmos. Os gráficos de controle considerados são: Gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais e Gráficos de controle para processos autocorrelacionados, respectivamente. A aplicação de técnicas de controle estatístico de processos irá gerar limites que permitirão identificar uma mudança de comportamento na dinâmica associada aos indicadores. Além de gerar previsões para o restante do ano de acordo com os resultados apontados e possíveis melhorias. Para calibração dos gráficos (Fase I) serão utilizados os dados referentes aos anos de 2020 e 2021, período de maior agravamento da pandemia de COVID-19 no Brasil, enquanto que a primeira metade de 2022 com dados observados e a previsão para o restante do mesmo será tomado para o monitoramento dos indicadores (Fase II). Esta abordagem permitirá detectar se ocorreram mudanças significativas esses indicadores após o período de maior agravamento da pandemia. Além disso, os gráficos de controle possibilitam definir limites de flutuação máximo e mínimo na qual os indicadores poderão ser considerados estáveis.

Palavras-chaves: Gráficos de controle; Taxa de congestionamento; Tempo médio; Processos autocorrelacionados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Boxplot do tempo médio dos processos (em dias) para cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2021.	14
Figura 2 – Séries temporais do tempo médio processual (em dias e em cor preta) em comparação com os valores máximos, mínimos (em azul) e médios (vermelho) no período entre Fev/2020 e Dez/2021.	16
Figura 3 – Boxplots da taxa de congestionamento para cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2021.	18
Figura 4 – Funções de autocorrelação amostral para a Taxa de Congestionamento em cada Seção Judiciária entre Fev/2020 e Dez/2021.	19
Figura 5 – Funções de autocorrelação parcial para a Taxa de Congestionamento em cada Seção Judiciária entre Fev/2020 e Dez/2021.	20
Figura 6 – Gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais em cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2022. As linhas azuis indicam os limites de controle, enquanto a vermelha indica a média. Pontos roxos são as medidas previstas.	25
Figura 7 – Gráfico de controle de Shewhart para o modelo ARIMA na SJ de Pernambuco. Linhas azuis indicam os limites de controle, enquanto a vermelha indica a média.	27
Figura 8 – Gráfico de controle para processos autocorrelacionados para a taxa de congestionamento em cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2022. Linhas azuis indicam os limites de controle, enquanto a vermelha indica a média. Pontos roxos são as taxas previstas.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medidas resumo mensal do $\bar{T}$ para cada Seção Judiciária (SJ) em dias no período entre Fev/20 e Dez/21.	14
Tabela 2 – Testes de Shapiro para normalidade aplicados nos dados de tempo médio em cada Seção Judiciária.	15
Tabela 3 – Medidas resumo da taxa de congestionamento no período entre Fev/2020 e Dez/2021.	17
Tabela 4 – Limites inferior e superior de controle juntamente com as médias e resultados do teste de Mann-Whitney para a diferença de medianas entre os dados de 2020-2021 e 2022.	25
Tabela 5 – Modelos ARIMA encontrados para as Seções Judiciárias e valores AIC correspondentes.	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
CMS	Comprimento Médio de Sequência
CNJ	Conselho Nacional de Justiça
CP	Casos Pendentes
FAC	Função de autocorrelação
FACP	Função de autocorrelação parcial
LC	Linha Central
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
OMS	Organização Mundial de Saúde
SIESPJ	Sistema de Estatística do Poder Judiciário
SJ	Seção Judiciária
TBaix	Total de Processos Baixados
TC	Taxa de Congestionamento
TmBaixEx1º	Tempo médio de tramitação dos processos de execução baixados no 1º Grau
TRF5	Tribunal Regional Federal da 5ª Região

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
3	INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª REGIÃO	13
3.1	TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª REGIÃO	13
3.2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA	13
3.2.1	Tempo médio de tramitação dos processos de execução baixados no 1º Grau	13
3.2.2	Taxa de Congestionamento	17
4	GRÁFICOS DE CONTROLE PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS	21
4.1	GRÁFICOS DE CONTROLE DE SHEWHART PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS	21
4.2	GRÁFICOS DE CONTROLE PARA PROCESSOS AUTOCORRELACIONADOS	22
5	RESULTADOS	24
5.1	GRÁFICOS DE CONTROLE PARA O TEMPO MÉDIO DE TRAMITAÇÃO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO BAIXADOS NO 1º GRAU	24
5.2	GRÁFICO DE CONTROLE PARA A TAXA DE CONGESTIONAMENTO	26
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o termo "pandemia" empregado para a COVID-19 foi citado pela primeira vez em março de 2020. Identificada em fevereiro de 2020 no Brasil, como retratado em (DIAS-SCOPEL; SCOPEL; DIEHL, 2021), a COVID-19 afetou o país como um todo, forçando as pessoas à terem novas práticas em relação a trabalho, convivência e afins. Dentro desse contexto diversas empresas tiveram de se adequar à nova vida, adotando o teletrabalho como recurso fundamental, e com base nesse aspecto surgiu o interesse de análises de alguns indicadores.

Monitorar indicadores pode ser considerada a principal ferramenta gerencial em qualquer processo, pois serão as oscilações destes indicadores que apontarão a presença de anomalias, permitindo que elas sejam identificadas, eliminadas e o processo retorne rapidamente ao ciclo normal. Quando se trata de eficiência, os indicadores são indispensáveis para os gestores que desejam monitorar o andamento das tarefas da equipe e garantir melhores resultados para a área. Com o objetivo de subsidiar a gestão judiciária brasileira, o Conselho Nacional de Justiça (CNJ), através do Relatório Justiça em Números, "divulga anualmente, desde 2004, a realidade dos tribunais brasileiros com muitos detalhamentos da estrutura e litigiosidade, além de indicadores relacionados a gestão." (CNJ, 2022). Uma questão que surge naturalmente quando tratamos de indicadores é a especificação de limites aceitáveis de oscilação. Além disso, busca-se estabelecer metas de melhorias e planos de ação para situações consideradas fora de controle. Segundo os dados disponibilizados pelo CNJ, atualmente no âmbito da justiça federal, em média, são necessários 6 anos e 11 meses para que ocorra a baixa em processos de execução no 1º grau, implicando também em uma alta TC. Também segundo o CNJ, entre todos os tribunais federais, o TRF5 é o que apresenta a menor TC, correspondendo à 62% na instância do 1º grau. O elevado nível em que esses indicadores encontram-se motiva o estudo mais aprofundado sobre o tema.

Os gráficos de controles são uma importante ferramenta para identificar e medir as oscilações que ocorrem durante o processo. Os gráficos apresentam Linha Central (LC), Limite Inferior de Controle (LIC) e Limite Superior de Controle (LSC), onde é possível verificar a normalidade dos processos, e caso necessário, aplicar melhorias. Há dois tipos de gráficos de controles: gráficos por variáveis e gráficos por atributos. No primeiro gráfico as características da qualidade avaliadas se manifestam por meio quantitativo e no segundo gráfico as

características se manifestam por meio qualitativo (MONTGOMERY, 2016).

Este trabalho propõe a aplicação de gráficos de controle para monitoramento dos indicadores de eficiência TC e TmBaixEx1º dos processos vinculados ao TRF5 nos estados de Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe operando no período pandêmico enfrentado.

2 OBJETIVOS

O presente estudo tem como principal objetivo propor gráficos de controle para monitorar indicadores de eficiência utilizados no TRF5. Além disso, pretende-se sugerir um plano de ação para situações considerados "fora de controle", ou seja, quando o valor obtido pelo indicador ultrapassa os limiares mínimo e máximo de estabilidade.

3 INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª REGIÃO

3.1 TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 5ª REGIÃO

Sediado em Recife, o TRF5 é um dos seis tribunais regionais federais do Brasil e cabe ao mesmo julgar os recursos contra decisões de competência federal. Ele é composto por seis estados, onde cada uma corresponde à uma SJ, sendo: Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe. Cada Seção Judiciária é composta por várias Varas Federais, das quais são atreladas à certas competências.

3.2 INDICADORES DE EFICIÊNCIA

O monitoramento das atividades organizacionais no TRF5 é feito por meio de indicadores de eficiência disponibilizados pelo CNJ. Os indicadores podem oferecer diversos tipos de resultados, sejam eles quantitativos ou qualitativos, fato é que, com o auxílio deles, a instituição pode modificar ou melhorar o desempenho e até fazer previsões. O presente estudo considera dois desses indicadores para elaboração de gráficos de controle estatístico, gerando informações úteis para tomada de decisão.

3.2.1 Tempo médio de tramitação dos processos de execução baixados no 1º Grau

Na Resolução Nº 76 de 12/05/2009 do CNJ, onde "dispõe sobre os princípios do Sistema de Estatística do Poder Judiciário, estabelece seus indicadores, fixa prazos, determina penalidades e dá outras providências."(CNJ, 2009). De acordo com o Sistema de Estatística do Poder Judiciário (SIESPJ), o TmBaixEx1º visa "indicar o tempo efetivo de duração dos processos de execução que foram baixados no 1º grau durante o ano-base, decorrido entre a data do início da execução ou liquidação e a data da primeira baixa de execução."(SIESPJ, 2015). Logo, consideramos o mês em que o processos foi distribuído e o período que ele ficou tramitando até ser baixado. A partir disso, obtém-se a seguinte fórmula:

$$\bar{T}_{SJ, j} = \frac{\sum_{i=1}^N TpBaixEx1^{\circ}_i}{N} \quad i = 0, 1, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, M$$

em que N é a quantidade de processos é distribuído em cada mês, M é o número de meses

considerados no ano e SJ corresponde a cada Seção Judiciária.

Com a base de dados disponibilizada pelo TRF5 e utilizando aproximadamente 96.500 processos, apresentamos as seguintes análises:

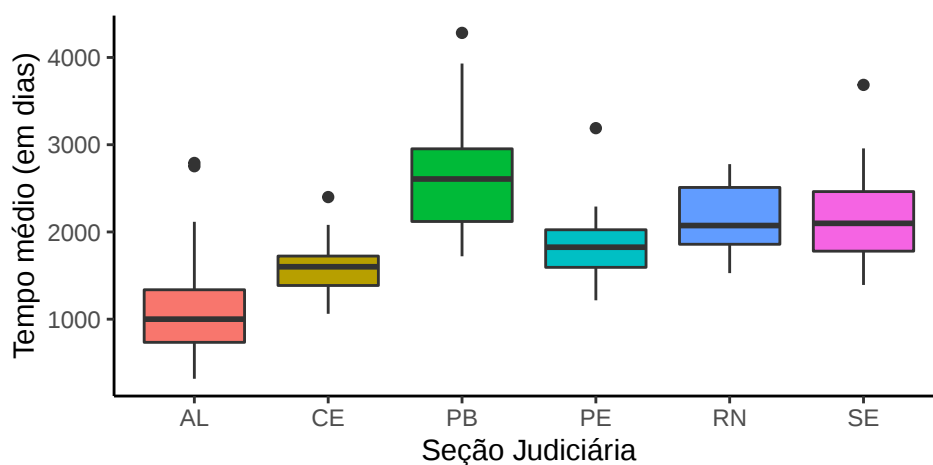
Tabela 1 – Medidas resumo mensal do $\bar{T}$ para cada SJ em dias no período entre Fev/20 e Dez/21.

SJ	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Nº de processos
AL	317	2.791	1.140	1.000	659,5	434.930	17.464
CE	1.062	2.400	1.580	1.601	322,8	104.188	15.983
PB	1.721	4.282	2.605	2.607	685,9	470.393	13.961
PE	1.217	3.190	1.858	1.825	391,4	153.216	27.953
RN	1.528	2.777	2.120	2.073	392,7	154.234	13.174
SE	1.392	3.686	2.154	2.099	542,4	294.240	7.935
TRF5	317	4.282	1.909	1.855	689,5	475.463	96.470

Fonte: BI/TRF5 (2022).

O resumo descrito na Tabela 1 aponta que a Seção Judiciária de Alagoas foi a que teve uma menor média mensal do $\bar{T}$ (1.140 dias), seguido da SJ do Ceará (1.580 dias) e Pernambuco (1.858 dias). A SJ com maior média mensal de $\bar{T}$ foi Paraíba, em que os processos de 1º grau levaram em média 2.605 dias para serem baixados. Para o mesmo período, a média mensal do $\bar{T}$ em todo TRF5 foi de 1.909 dias. Vale destacar que Alagoas obteve o menor $\bar{T}$ entre todas as seções (317 dias), enquanto a Paraíba apresentou o maior.

Figura 1 – Boxplot do tempo médio dos processos (em dias) para cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2021.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do BI/TRF5 (2022).

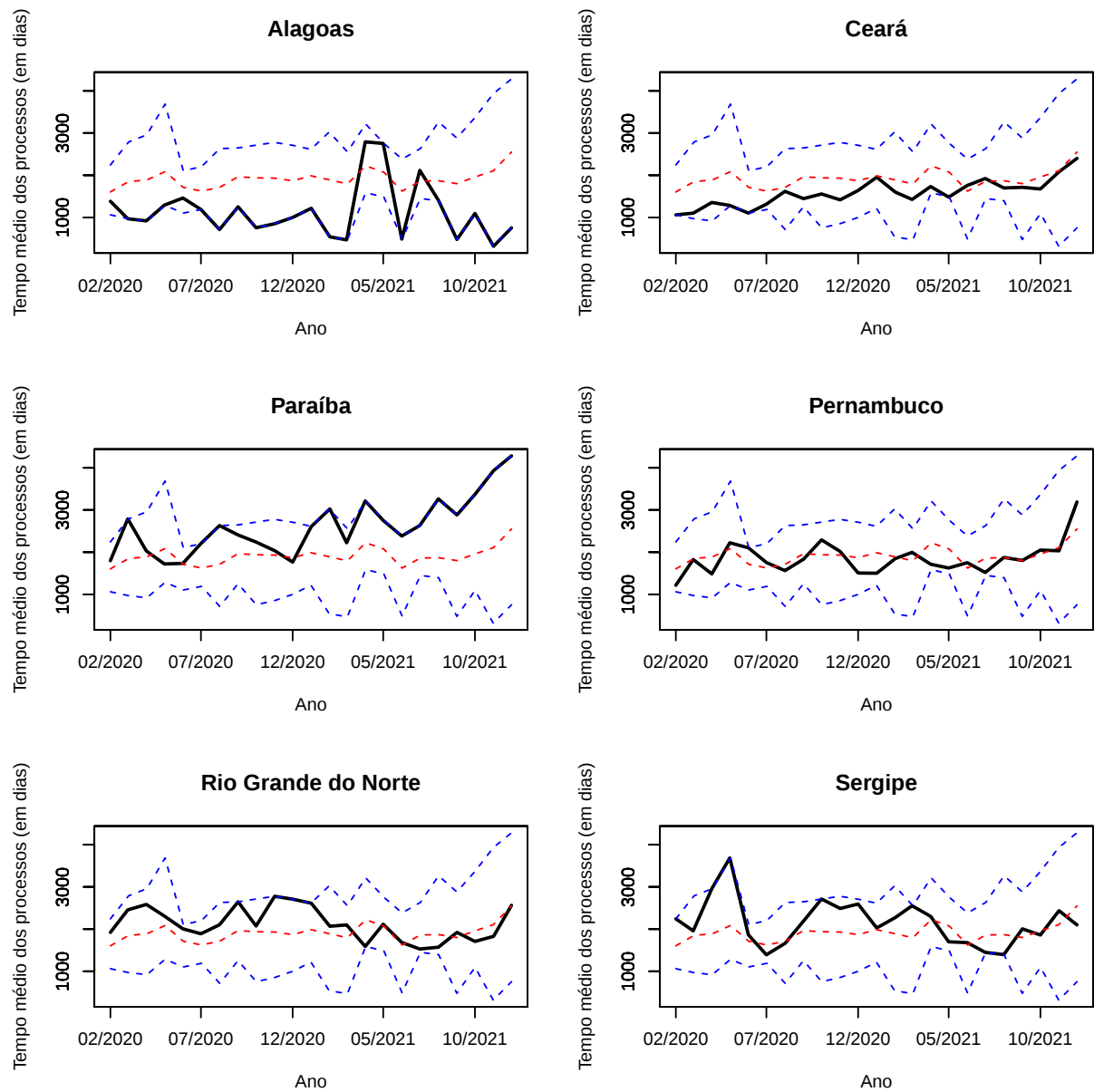
Tabela 2 – Testes de Shapiro para normalidade aplicados nos dados de tempo médio em cada Seção Judiciária.

SJ	<i>p</i>-valor
AL	0,3940584
CE	0,6282884
PB	0,1846046
PE	0,9059440
RN	0,1473594
SE	0,2323853

Da Figura 1 nota-se que, com exceção do Rio Grande do Norte, as SJ's obtiveram processos que se destacaram dos demais com relação ao elevado número de dias para serem baixados, o que pode ser considerado algo atípico. O resumo descritivo dos tempos destacados na Figura 1 é apresentada em mais detalhes na Tabela 1. Além disso, em todas as SJ's a distribuição do tempo médio pode ser considerada aproximadamente normal. De fato, pela Tabela 2 com os testes de Shapiro aplicados, que foram realizados no software (RStudio Team, 2022), não rejeitamos a hipótese de normalidade pois os *p*-valores apresentados ficaram acima dos níveis de significância (0,01, 0,05, 0,1), como descrito em (SHAPIRO; WILK, 1965), portanto os gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais poderão ser aplicados com confiança de que temos poucas chances de obter um alarme falso.

Para as séries temporais em questão foram considerados a variação dos tempos médios dos processos nos estados entre fevereiro de 2020 e dezembro de 2021, considerando o período pandêmico no Brasil. Junto com ele, também foram apresentadas mais três tipos de séries temporais para efeitos de comparação, sendo elas as de linhas tracejadas em azul, as quais indicam os valores mínimos e máximos dos tempos médios processuais entre todos os estados em determinado mês, e a linha tracejada em vermelha indicando a média entre os estados.

Figura 2 – Séries temporais do tempo médio processual (em dias e em cor preta) em comparação com os valores máximos, mínimos (em azul) e médios (vermelho) no período entre Feb/2020 e Dez/2021.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do BI/TRF5 (2022).

De acordo com os gráficos da Figura 2, pode ser destacada a presença de algumas SJ's próximas aos limites máximo e mínimo. Todas apresentaram tais variações, em especial, a de Alagoas possuindo praticamente todos os menores tempos médios no intervalo apresentado, enquanto a Paraíba, fornece quase todos os valores máximos. A SJ de Pernambuco possui média de tempos bem próximas as médias indicadas.

3.2.2 Taxa de Congestionamento

Presente na Resolução de Nº 219 de 26/04/2016 do CNJ, onde na ementa temos: "a distribuição de servidores, de cargos em comissão e de funções de confiança nos órgãos do Poder Judiciário de primeiro e segundo graus e outras providências." (CNJ, 2016). A TC é apurada com base no número de processos pendentes em relação ao total que foi tramitado, como é mostrado na fórmula a seguir:

$$TC_{SJ, j} = \frac{CP_{(j-1)}}{\sum_{i=j-12}^{j-1} TBaix_i + CP_{(j-1)}} \quad i = (j - 12), (j - 11), \dots, (j - 1) ; j = 1, 2, \dots, M$$

Em que, Casos Pendentes (CP) representa os processos que não foram baixados até o final do ano-base. Ou seja, é considerado o último valor observado do período (último mês). Total de Processos Baixados (TBaix) indica o soma total de processos baixados durante o ano-base (últimos 12 meses), M a quantidade de meses à serem abordados e SJ corresponde às Seções Judiciárias. Logo, para este estudo, as taxas referente à Fev/2020 é feita com base nos dados de Fev/2019 à Jan/2020, para Mar/2020 consideramos os dados de Mar/2019 à Fev/2020 e assim por diante.

A taxa de congestionamento implica num eventual remanejamento provisório de força de trabalho de um grau de jurisdição para outro, onde o tribunal irá providenciar distribuição de força extra para o grau mais congestionado. Para este indicador, quanto menor for o valor da taxa, melhor, pois isso indica que determinada SJ consegue dar vazão às demandas de processos, caso contrário, mais congestionada será a mesma. Com isso, abordando o período descrito é possível identificar as seguintes descritivas:

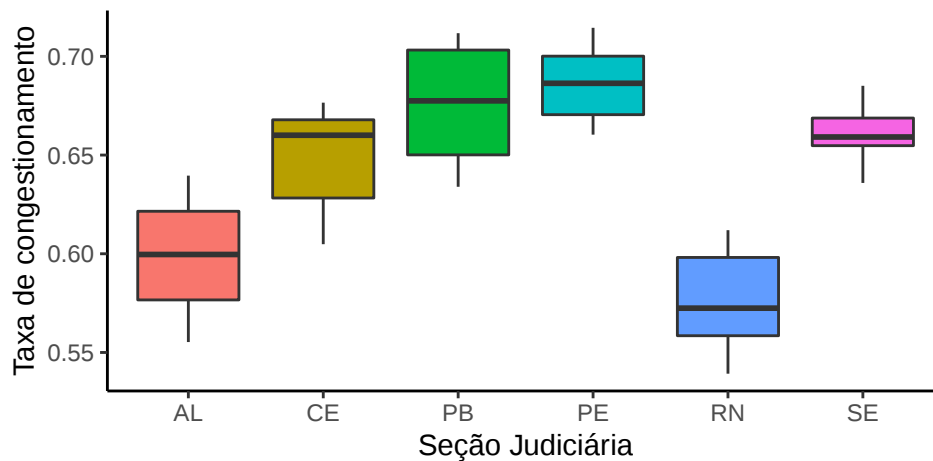
Tabela 3 – Medidas resumo da taxa de congestionamento no período entre Fev/2020 e Dez/2021.

SJ	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
AL	0,5553	0,6396	0,5980	0,5996	0,0263
CE	0,6048	0,6765	0,6497	0,6600	0,0243
PB	0,6339	0,7117	0,6762	0,6775	0,0275
PE	0,6603	0,7145	0,6861	0,6864	0,0175
RN	0,5393	0,6119	0,5766	0,5724	0,0234
SE	0,6359	0,6851	0,6614	0,6592	0,0141
TRF5	0.528	0.5824	0.5538	0.5528	0.0184

Fonte: TRF5 (2022).

De acordo com as medidas resumo na Tabela 3, com a Taxa de Congestionamento média de 0,6861, Pernambuco é o estado que apresenta a média mais elevada, seguido da Paraíba que teve como média 0,6762 e Sergipe com 0,6614. Rio Grande do Norte apresentou a menor taxa de congestionamento mensal de processos ocorrida entre fevereiro de 2020 e dezembro de 2021, com a média em 0,5766. No mesmo período, o TRF5 apresentou uma TC média de 0,5538. Por último, a Paraíba apresenta o maior desvio em comparação com os demais (0,0275), mostrando que possui grandes variações entre os valores. Complementando a análise dos dados acima, foram elaborados *boxplots* para as seções judiciárias.

Figura 3 – Boxplots da taxa de congestionamento para cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2021.



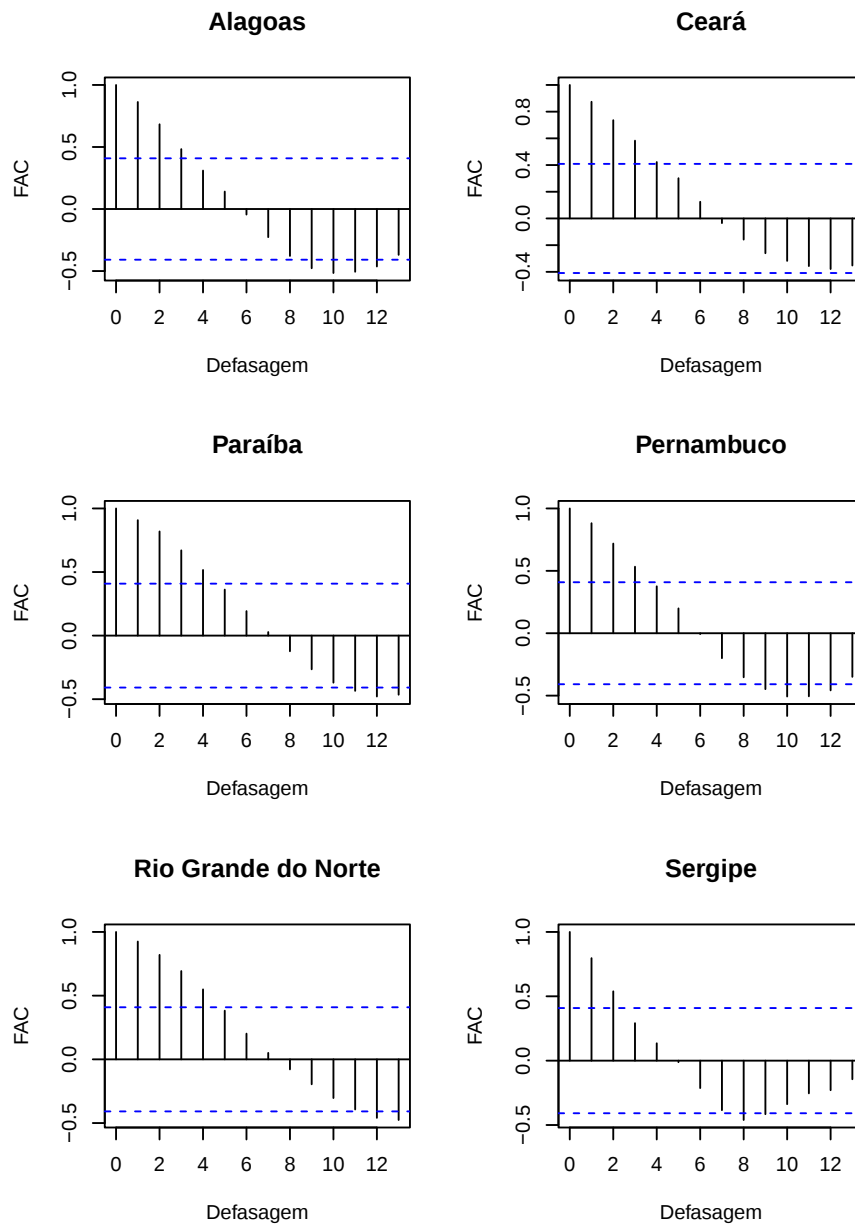
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do BI/TRF5 (2022).

Pela Figura 3 vale destacar que nenhuma seccional apresenta valores discrepantes, em contrapartida, a TC nas SJ's do CE, RN e SE aparentemente apresentam um certo grau de assimetria, em especial a primeira, caracterizando em linhas medianas que não estão no centro, levando a pensar que a distribuição da TC nas SJ's não seguem distribuição Normal. Entre as SJ's, PE se destaca negativamente por apresentar elevados valores para este indicador. Como visto anteriormente, o estado da Paraíba é o que apresenta a maior dispersão entre as taxas, e Sergipe a menor. Por definição, a TC leva em consideração valores de períodos anteriores, logo, existe uma dependência temporal nos dados observados, o que pode ser observado a partir da Função de autocorrelação (FAC) amostral, definida como:

$$\rho_k = \frac{\sum_{t=k+1}^N (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad \text{para } 0 \leq k \leq N - 1,$$

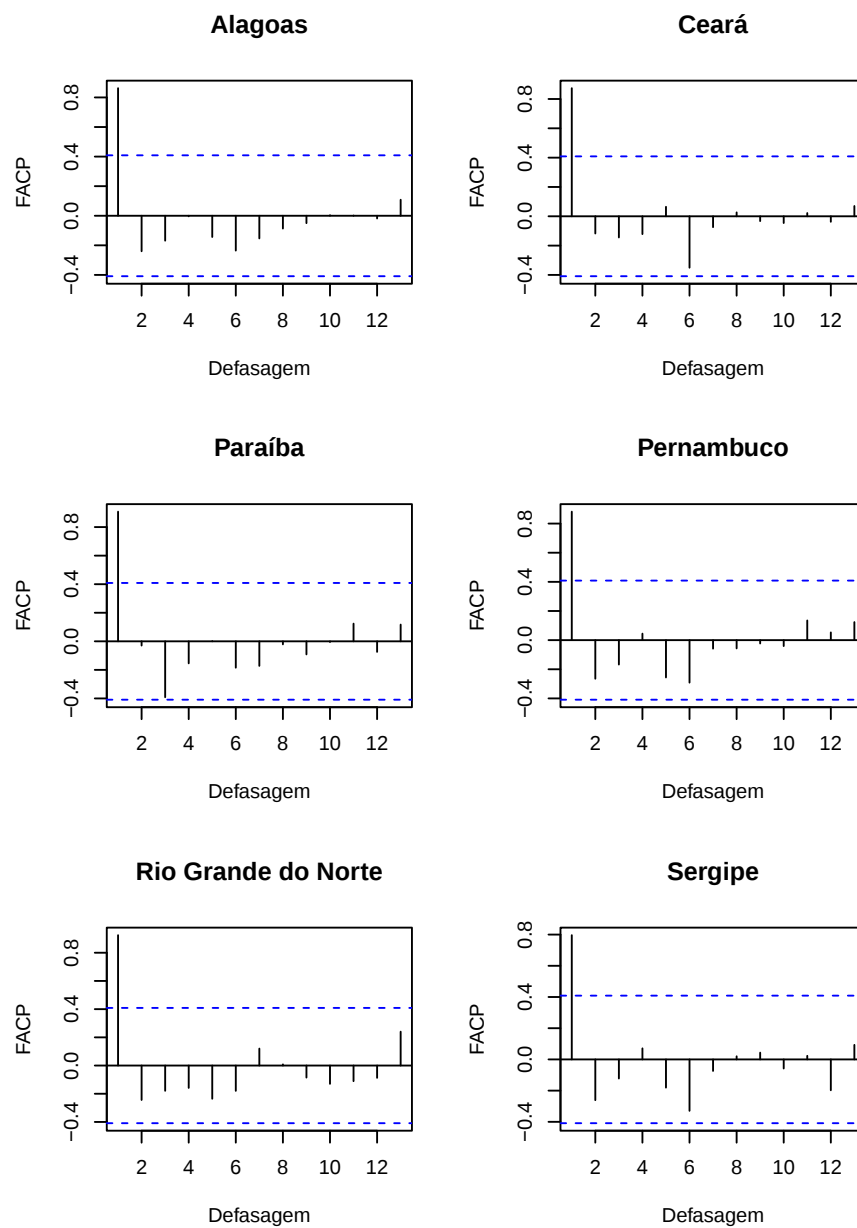
em que k representa a defasagem por k "passos". A Figura 4 apresenta os resultados obtidos pela FAC amostral para taxa de congestionamento em cada Seção Judiciária.

Figura 4 – Funções de autocorrelação amostral para a Taxa de Congestionamento em cada Seção Judiciária entre Fev/2020 e Dez/2021.



Pelos gráficos presentes na Figura 4, nota-se que a defasagem decresce lentamente, adotando um padrão típico de autocorrelação, conforme previsto dada a definição do indicador.

Além da FAC, também foi observado os gráficos da Função de autocorrelação parcial (FACP) em cada Seção Judiciária, os resultados estão apresentados na Figura 5. Nota-se que a FACP apresenta um pico para primeira defasagem, o que sugere um parâmetro autorregressivo ao modelo de séries temporais a ser aplicado. A característica de autocorrelação dos dados da TC será levada em consideração na hora que for proposto os gráficos de controle para o monitoramento deste indicador. Conforme enfatizado por (MARAGAH; WOODALL, 1992)



4 GRÁFICOS DE CONTROLE PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS

4.1 GRÁFICOS DE CONTROLE DE SHEWHART PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS

Quando se utilizam os gráficos de controle para monitorar uma característica de qualidade que pode ser expressa como uma medida, é costume monitorar tanto o valor médio da característica de qualidade como sua variabilidade. O controle sobre a qualidade média é exercido pelo gráfico de controle para médias, chamado gráfico $\bar{X}$, enquanto a variabilidade pode ser controlada pelo gráfico da amplitude, R (MONTGOMERY, 2016). Há situações em que o tamanho da amostra para monitoramento do processo é $N = 1$, isto é, a amostra consiste de uma única unidade individual. Nessas situações, o gráfico de controle Shewhart para medidas individuais é bastante útil, principalmente durante fase de calibração (Fase I), devido à simplicidade e informações de fácil compreensão.

Dado que a estatística amostral W , responsável por representar a característica da qualidade a ser monitorada, o gráfico de Shewhart considera que o Limite Inferior de Controle (LIC), o Limite Superior de Controle (LSC) e a Linha Central (LC) são obtidos através de $\hat{\mu}_W$ e $\hat{\sigma}_W$, a estimativa para média de W e para desvio padrão de W , respectivamente, e uma quantidade fixa L relacionada a amplitude do intervalo:

$$\text{LSC} = \hat{\mu}_W + L\hat{\sigma}_W$$

$$\text{LC} = \hat{\mu}_W$$

$$\text{LIC} = \hat{\mu}_W - L\hat{\sigma}_W$$

Se tratando especificamente do gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais temos que $\hat{\mu}_W = \bar{X}$ e $\hat{\sigma}_W = \frac{\overline{MR}}{d_2}$, em que $\bar{X}$ é a média amostral, $\overline{MR} = \sum_{i=2}^N \frac{|W_i - W_{i-1}|}{N-1}$ é a amplitude média absoluta e $d_2 = 1,128$ é obtido através da distribuição da amplitude relativa. Originalmente sugerido por (SHEWHART, 1931), a distância dos limites de controle será de três desvios padrões da linha central ($L = 3$). Supondo que os dados são normalmente distribuídos, a escolha de $L = 3$ garante um intervalo de cerca de 99,73% de cobertura.

Um indicador de desempenho para gráficos de controle é o Comprimento Médio de Sequência (CMS) que avalia a capacidade do gráfico e detectar mudanças no processo. Segundo (MONTGOMERY, 2016), seja uma amostra de observações independentes então, o número de observações necessárias até um primeiro ponto exceder os limites de controle é uma variável aleatória com distribuição geométrica de parâmetro p , sendo p a probabilidade do ponto ex-

ceder os limites de controle. Desta definição pode-se afirmar que a chance de uma mudança ser detectada na r -ésima amostra é dada por $CMS = \frac{1}{1-p}$.

Estando o processo sob controle, CMS_0 indica o número esperado de amostras (ou observações individuais) até que um ponto ultrapasse os limites de controle. Ou seja, o CMS_0 está relacionado à emissão de um alarme falso (erro tipo I). Em contraponto, o CMS_1 representa o número médio de amostras (ou observações individuais) até que um ponto ultrapasse os limites de controle estando o processo fora controle, ou seja, um alerta "verdadeiro".

Para o gráfico de controle de Shewhart para observações individuais com $L = 3$, temos que $CMS_0 = 370$, indicando que, em média, mesmo o processo sob controle, a cada 370 observações o gráfico gera um alarme falso. CMS_1 vai depender da magnitude da mudança que ocorreu no processo, por exemplo, para uma mudança de 2σ na média, o gráfico de Shewhart com $L = 3$ é capaz de detectar esta mudança, em média, após 6,3 observações do processo.

4.2 GRÁFICOS DE CONTROLE PARA PROCESSOS AUTOCORRELACIONADOS

Conforme observado por (MONTGOMERY, 2016) e sendo abordado também em (TONDOLO, 2016), quando os dados do processo a ser monitorado são autocorrelacionados os gráficos de controle tradicionais dão resultados enganosos sob a forma de demasiados alarmes falsos. Uma abordagem que se tem revelado útil quando lidamos com dados autocorrelacionados consiste em se modelar diretamente a estrutura correlacional com um modelo de série temporal apropriado, usar esse modelo para remover a autocorrelação dos dados, e aplicar gráficos de controle aos resíduos.

Neste trabalho consideramos que os dados do processo autocorrelacionado x_t podem ser modelados satisfatoriamente através de um modelo na classe ARIMA (Autorregressivo Integrado de Médias Móveis), ou seja,

$$x_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \phi_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \epsilon_t, \quad t = \max(p+1, q+1), \dots, N,$$

em que, aqui, p e q representam as ordens dos parâmetros autorregressivos e de médias móveis, respectivamente, e os ϵ_t são considerados independentes e normalmente distribuídos, com média zero e desvio-padrão σ .

Supondo que $\hat{x}_t$ é o valor ajustado de x_t , então, os resíduos $e_t = x_t - \hat{x}_t$ são aproximadamente normais e independentes, com média zero e variância constante. Podemos aplicar

gráficos de controle convencionais à sequência de resíduos e, sob estabilidade, temos que os limites de controle e a linha central do gráfico de controle para processos autocorrelacionados são dadas por:

$$LSC_t = \hat{x}_t + LS_{resíduo}$$

$$LC_t = \hat{x}_t$$

$$LIC_t = \hat{x}_t - LS_{resíduo}$$

em que

$$LS_{resíduo} = \bar{e} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

é o limite superior do gráfico de Shewhart para observações individuais aplicado aos resíduos e_t , sendo, aqui, $\overline{MR} = \sum_{i=2}^N \frac{|e_i - e_{i-1}|}{n-1}$ e $d_2 = 1,128$.

5 RESULTADOS

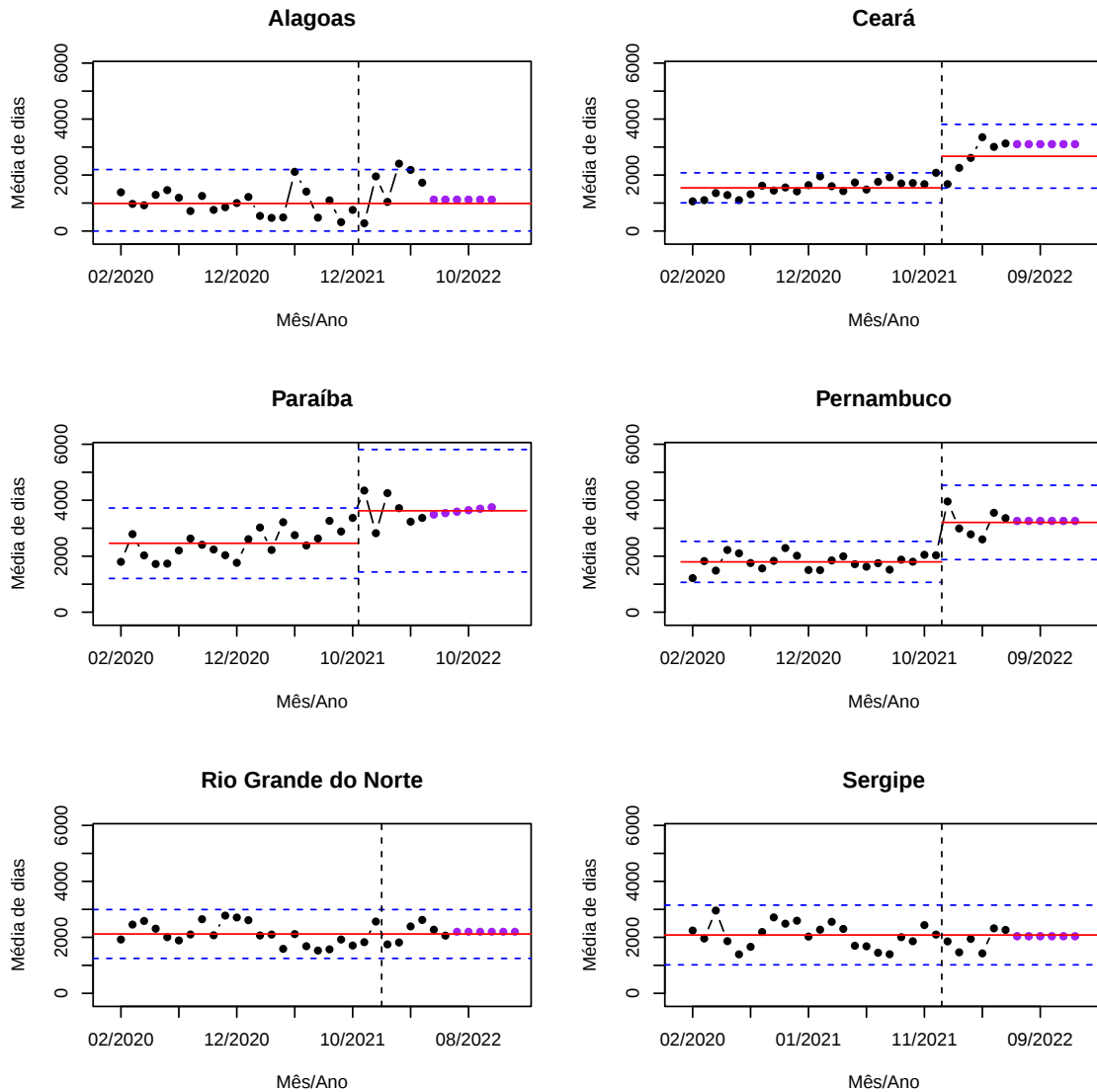
Nesta seção apresentamos os gráficos de controle elaborados para o monitoramento dos indicadores Tempo Médio de Tramitação dos Processos de Execução Baixados no 1º Grau e Taxa de Congestionamento. Foi considerado o período de fevereiro de 2020 a dezembro de 2021 para calibração dos parâmetros (Fase I) e os dados referentes à primeira metade de 2022 para monitoramento dos indicadores (Fase II).

5.1 GRÁFICOS DE CONTROLE PARA O TEMPO MÉDIO DE TRAMITAÇÃO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO BAIXADOS NO 1º GRAU

Dividindo os dados nos períodos descritos anteriormente, na Figura 6 temos que os gráficos de controle Shewhart para o tempo médio identificaram a presença de pontos acima do limite de controle nos estados de Alagoas (abril e maio de 2021), Sergipe (maio de 2020), Pernambuco (dezembro de 2021), Ceará (dezembro de 2021) e Paraíba (novembro e dezembro de 2021) ainda na primeira fase. Assumimos a existência de algum fato relevante que ocasionou tamanho deslocamento e, levando em consideração o fato de não haver grandes alterações nos limites sugeridos após a exclusão dos pontos, os mesmos foram desconsiderados e os limites recalculados. Com isto em mente, em 2022 houve apenas uma seção judiciária que apresentou ponto fora de controle, Alagoas. Já no início do ano verifica-se grandes variações, onde em abril, é mostrado a presença de um dado acima do limite estabelecido, indicando que alguma causa atribuível pode estar associada ao elevado patamar atingido por esse indicador, mas que logo em seguida volta a ficar sob estabilidade com previsão (utilizando a classe ARIMA) de valores futuros próximos à média. Vale salientar, que para o indicador há o interesse apenas no limite superior, visto que, caso algum ponto ultrapasse o limite inferior seria considerado algo bom para o TRF5 e poderia servir de referência para estudos.

Diante dos dados apresentados nos gráficos de controle, foi gerada a tabela seguinte indicando os limites dos estados e a comparação entre as medianas no período 2020-2021 e no ano de 2022 apresentados até aqui.

Figura 6 – Gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais em cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2022. As linhas azuis indicam os limites de controle, enquanto a vermelha indica a média. Pontos roxos são as medidas previstas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 4 – Limites inferior e superior de controle juntamente com as médias e resultados do teste de Mann-Whitney para a diferença de medianas entre os dados de 2020-2021 e 2022.

Período	2020-2021				2022				
SJ	Média	Mediana	LIC	LSC	Média	Mediana	LIC	LSC	p-valor
AL	984	1.000	0	2.196	984	1.839	0	2.196	0,1925
CE	1.543	1.601	1.007	2.079	2.671	2.809	1.532	3.811	0,0004
PB	2.462	2.607	1.203	3.720	3.623	3.542	1.435	5.810	0,0034
PE	1.797	1.825	1.065	2.529	3.207	3.176	1.879	4.534	0,0000
RN	2.120	2.073	1.247	2.993	2.120	2.167	1.247	2.993	0,9373
SE	2.084	2.099	1.018	3.150	2.084	1.900	1.018	3.150	0,3023

Fonte: Autoria própria (2022).

O que pode ser visto na Tabela 4, é o fato da Paraíba apresentar o maior limite entre os estados (3.720 dias em média), enquanto o menor limite, em média de dias, fica por conta de Alagoas com 0. O teste de Mann-Whitney, como apontado em (NACHAR, 2008), é um teste não-paramétrico que tem como objetivo comparar a mediana de duas amostras para saber se são estatisticamente "iguais", sugerindo que p-valores menores que 0,05 indicam a rejeição de igualdade entre as mesmas, caracterizando também a diferença entre médias. Portanto observa-se que Ceará, Paraíba e Pernambuco, em 2022 apresentam alterações na média do tempo médio de tramitação em comparação com 2020-2021, indicando que valores futuros possam "flutuar" acima do limite estabelecido em 2020-2021, quando na verdade eles podem estar sob controle, levando em consideração os limites estabelecidos em 2022. Dado os resultados, para o ano de 2022 foi adicionado mais um gráfico de controle com o intuito de se obter novos limites e médias, como pode ser visto na Figura 6. Logo percebemos que para esses três estados nenhum deles apresentou tempos médios fora de controle.

5.2 GRÁFICO DE CONTROLE PARA A TAXA DE CONGESTIONAMENTO

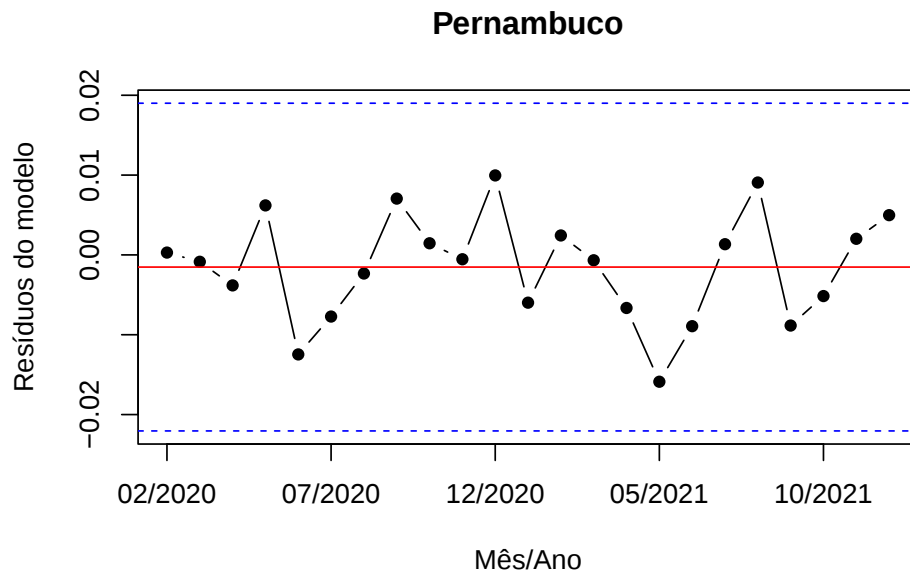
Recorrendo à abordagem baseada em modelos de séries temporais foram sugeridos alguns modelos da classe ARIMA, e com base no menor Critério de Informação de Akaike (AIC) foram selecionados os seguintes:

Tabela 5 – Modelos ARIMA encontrados para as Seções Judiciárias e valores AIC correspondentes.

SJ	Modelo	AIC
AL	ARIMA(0,2,1)	-147,32
CE	ARIMA(0,1,0)	-152,44
PB	ARIMA(3,2,0)	-146,96
PE	ARIMA(0,2,1)	-154,18
RN	ARIMA(0,1,0)	-153,93
SE	ARIMA(2,0,0)	-158,30

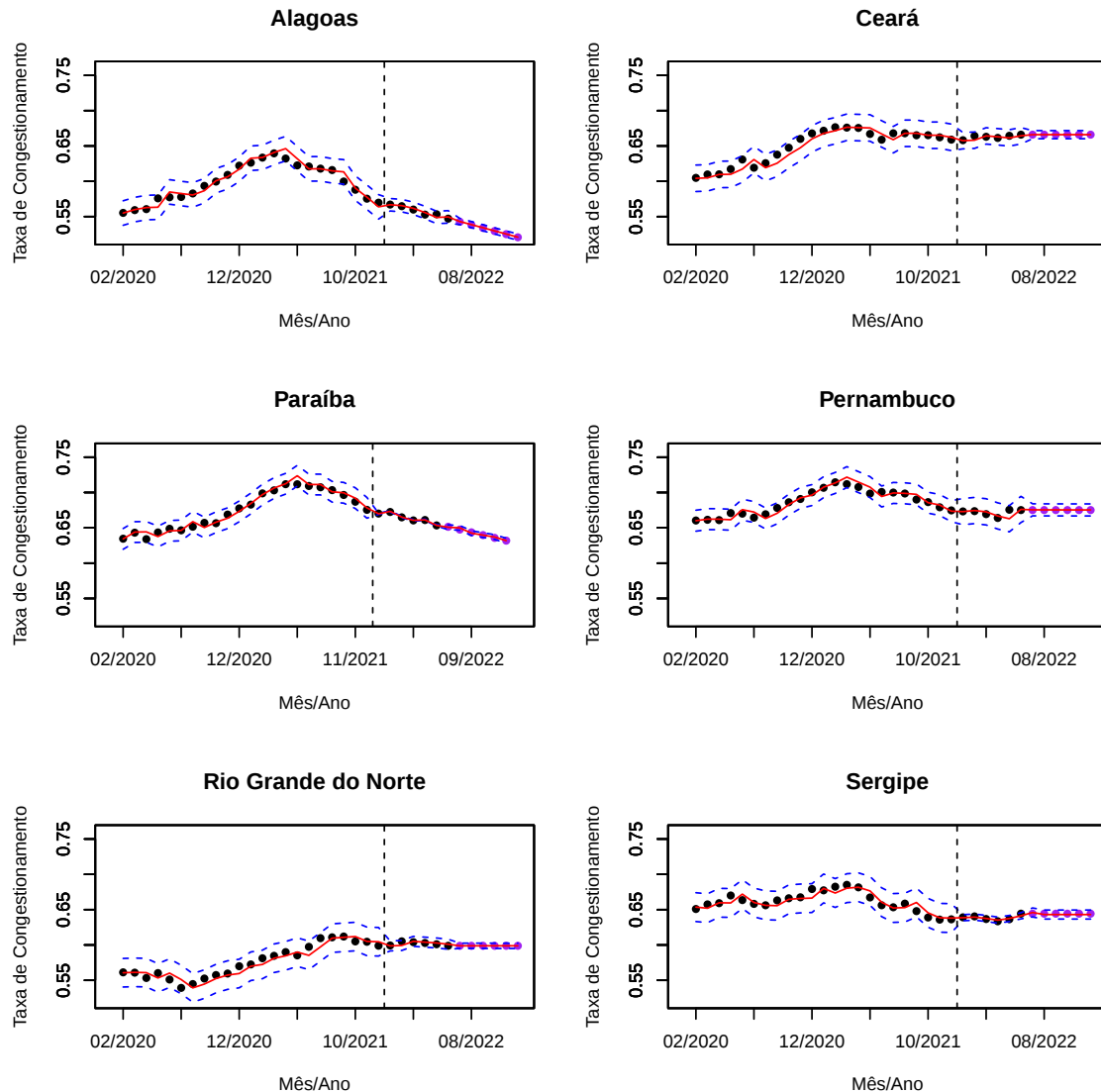
De acordo com a Tabela 5, para a maioria das SJ's pode-se constatar que foi necessário realizar, no mínimo, uma diferenciação para tornar o modelo estacionário, sendo SE a única que não foi preciso recorrer à tal técnica. Correspondendo a cada modelo encontrado, a Tabela ainda nos informa os menores valores AIC para cada SJ, onde, de acordo com (AKAIKE, 1974), serão os mais adequados para os estudos.

Figura 7 – Gráfico de controle de Shewhart para o modelo ARIMA na SJ de Pernambuco. Linhas azuis indicam os limites de controle, enquanto a vermelha indica a média.



Utilizando os resíduos na Fase I da SJ de Pernambuco como exemplo, é visto que eles se adequaram bem ao gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais, onde não temos nenhum resíduo ultrapassando os limites (Figura 7). Vale salientar que todas as Seções Judiciárias apresentaram gráficos semelhantes, dando indícios de que os mesmos seguem distribuições normais nesse período. Sendo assim, como denotado por (MONTGOMERY, 2016), pode ser concluído que os processos apresentam boas condições de controle estatístico. Novamente verificando a Tabela 5, com os melhores modelos identificados, o próximo passo será a aplicação dos mesmos aos dados das taxas de congestionamento em todas as SJ's a fim de se obter os valores ajustados e resíduos para chegar aos limites de controle e linha central. Desse modo, analisando a Figura 8, pode-se notar que a maioria das TC's respeitaram bem os limites estabelecidos pelos valores ajustados e LSC's para os resíduos dos ARIMAs por não apresentarem nenhum valor que os ultrapassem durante a fase de calibração, além de estarem bem próximos à média, sendo capaz de caracterizar como um bom ajuste para a fase de monitoramento. Para a Paraíba, a taxa de congestionamento em Maio de 2021 apresentou um valor abaixo do limite inferior de controle, levando a desconsideração do mesmo por não identificar uma causa atribuível. De fato, para a Fase II é capaz de verificar que o ajuste foi bastante favorável aqui.

Figura 8 – Gráfico de controle para processos autocorrelacionados para a taxa de congestionamento em cada Seção Judiciária no período entre Fev/2020 e Dez/2022. Linhas azuis indicam os limites de controle, enquanto a vermelha indica a média. Pontos roxos são as taxas previstas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Em 2022 não houveram indícios de taxas fora de controle nos valores observados e nos previstos (também calculados a partir do ARIMA). O que pode ser visto em Alagoas e Paraíba são taxas previstas que apresentam uma aparente diminuição da TC, dos limites e média, indicando um possível aumento no T_{Baix}, ou diminuição nos CP e uma SJ menos congestionada no restante do ano. Para as demais Seções Judiciárias os valores previstos não possuem variações, indicando algo bem próximo da média prevista. Para este indicador, também há o interesse maior no limite superior, considerando que seria algo bom para o TRF5 se o mesmo ultrapassasse o limite inferior, podendo ser utilizado como referência para mais estudos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste estudo, foram propostos formas de monitorar dois dos principais indicadores do TRF5, Taxa de Congestionamento e Tempo médio de tramitação dos processos de execução baixados no 1º Grau por meio de gráficos de controle utilizando o período pandêmico do COVID-19 no Brasil (2020-2022). Recorrendo à base de dados presente no TRF5, os indicadores foram calculados de formas mensais, com o propósito de acompanhá-los e compará-los entre si em dois períodos distintos (sendo eles 2020-2021 e a primeira metade de 2022), além de fazer previsões para o restante do ano.

Através da característica dos dados de cada indicador, foram considerados dois tipos de gráficos de controle: Gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais considerando o TmBaixEx1º e Gráficos de controle para processos autocorrelacionados para a TC. Respeitando os critérios de utilizar os gráficos de controle, abordando o primeiro período para a Fase I e o segundo para a Fase II, foi visto que ambos os conjunto de dados dos indicadores respeitaram bem os limites estabelecidos. Para TmBaixEx1º, através do teste de Mann-Whitney para a diferença de medianas, foram identificadas três SJ's que apresentaram diferenças em suas médias de cada período: CE, PE e PB. Indicando que para estudos futuros os limites atuais possam ser levados em consideração. No mesmo indicador, apenas uma Seção Judiciária apresentou ponto fora de controle, porém, logo depois voltando a ficar entre os limites: AL.

Para a TC foi proposta a abordagem em modelos de séries temporais utilizando ARIMA. Como os dados são autocorrelacionados, foi utilizado um modelo ARIMA para cada SJ por meio do AIC a fim de gerar os gráficos de controle com base nos resíduos e valores ajustados. Para a taxa, nenhuma Seção judiciária apresentou pontos fora de controle, apontando que os dados responderam bem aos ajustes. Em relação as previsões, apenas Alagoas e Paraíba apresentaram diminuição no congestionamento de processos, enquanto as demais se mostraram constantes.

Dado os testes, modelos aplicados e por apresentar resultados satisfatórios, pode-se chegar à conclusão que o estudo é adequado para análises futuras. Uma adição que poderia ser feita, se refere ao monitoramento do número de processos que foram baixados no mês, para ambos os indicadores. Para a Taxa de Congestionamento, vale evidenciar, a utilização de modelos BetaARMA (por se tratar de uma taxa) e a comparação com os ARIMA's estabelecidos aqui e verificar quais seriam os melhores ajustes.

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- CNJ. **Resolução Nº 76 de 12/05/2009**. 2009. Disponível em: <<https://atos.cnj.jus.br/atos/detalhar/110>>.
- CNJ. **Resolução Nº 219 de 26/04/2016**. 2016. Disponível em: <<https://atos.cnj.jus.br/atos/detalhar/2274>>.
- CNJ. **Portal CNJ - Justiça em Números**. 2022. Disponível em: <<https://www.cnj.jus.br/pesquisas-judiciarias/justica-em-numeros/>>.
- DIAS-SCOPEL, R.; SCOPEL, D.; DIEHL, E. E. **Os impactos sociais da Covid-19 no Brasil: populações vulnerabilizadas e respostas à pandemia**. [S.l.: s.n.], 2021. 137–148 p. ISBN 9786557080320.
- MARAGAH, H. D.; WOODALL, W. H. The effect of autocorrelation on the retrospective x-chart. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Taylor Francis, v. 40, n. 1-2, p. 29–42, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00949659208811363>>.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. [S.l.: s.n.], 2016. 572 p. ISBN 978-8521630241.
- MONTGOMERY, D. C.; MASTRANGELO, C. M. Some statistical process control methods for autocorrelated data. *Journal of Quality Technology*, Taylor Francis, v. 23, n. 3, p. 179–193, 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00224065.1991.11979321>>.
- NACHAR, N. The Mann-Whitney U: A Test for Assessing Whether Two Independent Samples Come from the Same Distribution. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, v. 4, n. 1, p. 13–20, 2008.
- RStudio Team. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. Boston, MA, 2022. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, [Oxford University Press, Biometrika Trust], v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965. ISSN 00063444. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2333709>>.
- SHEWHART, W. **Economic control of quality of manufactured product**. New York: D. Van Nostrand Company, p. 501, 1931.
- SIESPJ. **ANEXO Justiça Federal, INDICADORES DO SISTEMA DE ESTATÍSTICA DO PODER JUDICIÁRIO**. v. 2009, 2015.
- TONDOLO, C. M. **Gráficos De Controle Para Dados Do Tipo Taxas E Proporções Autocorrelacionados**. 2016.