

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Jaqueline Fernandes da Silva

**EFICIÊNCIA DOS GRÁFICOS DE CONTROLE NA GARANTIA DA
VALIDADE DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO**

**Santa Maria, RS
2018**

Jaqueline Fernandes da Silva

**EFICIÊNCIA DOS GRÁFICOS DE CONTROLE NA GARANTIA DA VALIDADE
DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Orientadora: Morgana Pizzolato

Santa Maria, RS
2018

EFICIÊNCIA DOS GRÁFICOS DE CONTROLE NA GARANTIA DA VALIDADE DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO

EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS IN THE ENSURING THE VALIDITY OF MEASUREMENT RESULTS

Jaqueline Fernandes da Silva¹, Morgana Pizzolato²

RESUMO

A norma ISO/IEC 17025 vem sendo aplicada em laboratórios de diferentes áreas que buscam obter resultados confiáveis e rastreáveis. Estes laboratórios estão sempre à procura de técnicas estatísticas para assegurar a garantia da validade dos seus resultados e frequentemente utilizam gráficos de controle para realizar o monitoramento do seu processo de medição. Neste estudo serão analisados dados de medição de pipetas, micropipetas, analisadores de energia e osciloscópio pertencentes a três laboratórios de uma Instituição de Ensino Superior. O objetivo deste estudo é identificar qual gráfico de controle entre o gráfico de controle de Shewhart, CUSUM e EWMA, é o mais adequado para monitorar tendências no processo de medição. Utilizou-se o aplicativo computacional Minitab Statistical Software 18 para a construção dos gráficos de controle. Este estudo mostrou que para a micropipeta o Gráfico de Controle EWMA é o mais adequado para monitorar tendências, entretanto para o analisador de energia WT 1600 e o osciloscópio Fluke 1760 sugere-se que outras técnicas estatísticas sejam testadas, de modo que a aplicação de gráficos de controle não se mostrou adequada para o tipo de dados que os equipamentos produzem. Para as pipetas os limites de controle não foram estabelecidos.

Palavras-Chave: Gráficos de controle; Shewhart; CUSUM; EWMA; checagens intermediárias; instrumentos de medição

ABSTRACT

The ISO/IEC 17025 has been applied in laboratories of different areas that seek reliable and traceable results. These laboratories are always looking for statistical techniques to ensuring the validity of their results and often use the control charts to perform the monitoring of their measurement process. In this study pipettes, micropipette, digital power meter (WT 1600) and power quality recorder (Fluke 1760) of three laboratories at a Federal Institution of High Education were chosen to be analyzed. The objective of this study is to identify the most appropriated control chart for monitoring trends between the Shewhart, CUSUM and EWMA. Minitab Statistical Software 18 was used for the control charts construction. This study showed the EWMA control chart as the best alternative to be used for monitoring trends in micropipette. However, for the digital power meter WT 1600 and power quality recorder Fluke 1760 It is suggested that other statistical techniques are tested because application of control chart was not adequate for the type of data that the equipment produces. For the pipettes the control limits were not established.

Keywords: Control charts; Shewhart, CUSUM; EWMA; intermediate checks; measuring instruments

¹ Autora; Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Produção – UFSM/CT

² Orientadora; Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Professora adjunta do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSM/CT

1 INTRODUÇÃO

A norma ISO/IEC 17025 vem sendo aplicada em laboratórios de diferentes áreas que buscam obter resultados confiáveis e rastreáveis. Turuta (2015) relata que os laboratórios de ensaios e calibração vem adotando cada vez mais Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) para sobreviver as exigências de entidades governamentais, para se manter no mercado que atuam, conquistar novos mercados e ainda buscar maior confiabilidade dos seus resultados.

Segundo dados do INMETRO (2018), no Brasil, há cerca de 1.521 laboratórios de ensaios e calibração acreditados (RBLE e RBC) que tem seu sistema de gestão baseado na ISO/IEC 17025. Visto que a norma citada apresenta diversos requisitos, Haag (2015) afirma que dentre todos eles, o item referente a garantia da validade dos resultados é um dos mais difíceis de se atender.

O laboratório deve ter um procedimento para monitorar a validade dos resultados. Os dados resultantes devem ser registrados de forma que as tendências sejam detectáveis, e quando praticável, devem ser aplicadas técnicas estatísticas para a análise crítica dos resultados” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 22).

Como visto, a norma exige que o laboratório relate de que forma pode ser garantida a validade dos seus resultados de medições e, por conseguinte, os laboratórios de ensaios e calibração estão sempre à procura de técnicas estatísticas para assegurar esta validade.

Muitas vezes este monitoramento é realizado por meio do uso de Controle Estatístico de Processos (CEP). Os gráficos de controle (MONTGOMERY, 2016) e a análise dos sistemas de medição (AIAG, 2010), mostram-se técnicas estatísticas uteis para análise de tendências, entretanto o laboratório deve identificar quais as técnicas estatísticas são mais apropriadas para os dados advindos de seu tipo de ensaio/calibração.

Albano e Raya-Rodriguez (2015) destacam que usar gráficos de controle para estudo das variações traz vantagens como a detecção de erros formados ou com tendência de se formarem, informação sobre a variabilidade do trabalho e comparação dos resultados ao longo do tempo.

Autores como Montgomery (2016) e Louzada et al. (2013) afirmam que os gráficos de controle mais conhecidos devido a facilidade de construção e mais sofisticados tecnicamente são os Gráficos de Controle de Shewhart, mas apesar de proporcionar uma análise de fácil entendimento, eles levam em consideração somente a informação da última amostra. Como alternativa, Walter et al. (2013) esclarece que para corrigir esta lacuna, o gráfico de controle

das Somas Acumuladas (CUSUM) e o gráfico de controle da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA) foram desenvolvidos e são indicados para o monitoramento de processos sujeitos a pequenas alterações e levam em consideração todas as amostras.

Visto isso, torna-se válido questionar: (i) seria possível utilizar o gráfico de controle Shewhart, CUSUM e o EWMA para monitorar estabilidade e tendências em analisadores de energia, osciloscópios, pipetas e micropipetas? (ii) comparando esses gráficos (Shewhart, CUSUM e EWMA), qual é o mais indicado para identificar falta de estabilidade e tendências em analisadores de energia, osciloscópio, pipetas e micropipetas de laboratórios de ensaios?

A utilização de gráficos de controle permite averiguar quando os resultados obtidos passam a ser afetados por causas especiais (CE) de variação (ALBANO; RAYA-RODRIGUEZ, 2015).

De acordo com Montgomery (2016) os Gráficos de Controle (GC) além de permitirem distinguir os dois tipos de variabilidade (causas comuns e causas especiais) que podem ocorrer em um processo, têm por objetivo identificar, o mais rápido possível essas causas, de modo que quando o processo esteja operando fora de controle, ações corretivas sejam realizadas.

Louzada et al. (2013) complementam que é imprescindível que ocorra esse monitoramento das variáveis de um processo, considerando que refletem diretamente na qualidade. O propósito é alcançar um padrão de qualidade de forma que o efeito das variações seja reduzido, onde a probabilidade de ocorrerem erros do tipo I (concluir que o processo está fora de controle quando ele realmente está sob controle) e erros do tipo II (conclui que o processo está sob controle quando, de fato, está fora de controle) seja minimizada ou eliminada.

Montgomery (2016) ainda informa que a variabilidade surge geralmente de equipamentos de medição com falta de calibração, erros do operador, ou até algum defeito na amostra analisada. Sendo assim, fica visível a justificativa para realização desta pesquisa, pois é através da melhor escolha de aplicação de gráficos de controle que as causas especiais serão detectadas e tratadas, de forma que o laboratório garanta a confiabilidade e a validade dos resultados de suas medições.

O objetivo geral deste estudo é identificar qual gráfico de controle é o mais adequado para monitorar tendências no processo de medição de analisadores de energia, osciloscópio, pipetas e micropipetas, em laboratórios de uma instituição de ensino superior.

Este trabalho organiza-se da seguinte forma: a primeira seção apresenta a introdução, a segunda seção é composta pelo referencial teórico; a terceira seção aborda os procedimentos

metodológicos da pesquisa; a quarta seção apresenta os resultados encontrados e as discussões sobre os mesmos, e, a quinta seção é composta pelas considerações finais do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta primeiramente uma contextualização sobre a acreditação de laboratórios e a garantia da validade dos resultados. Na sequência faz uma revisão teórica do Controle Estatístico do Processo, mais especificadamente sobre os gráficos de controle que serão utilizados neste estudo trazendo algumas aplicações.

2.1 ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS

Desde 1999, quando a Organização Internacional para Padronização (ISO) e a Internacional Electrotechnical Commission (IEC) emitiram a ISO / IEC 17025, esta norma é considerada o padrão de qualidade internacional que incorpora todos os requisitos necessários para laboratórios de ensaio e calibração provarem sua competência técnica e validade dos resultados que produzem (ABDEL-FATAH, 2010).

Atualmente, a ISO/IEC 17025 encontra-se na terceira edição, 2017. O organismo de acreditação dos laboratórios é a Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE), que através da Dicla (Divisão de Acreditação de Laboratórios) realiza as atividades relacionadas à concessão e manutenção da acreditação, de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2018). Deste modo, a CGCRE dentro da estrutura organizacional do INMETRO, é a unidade que tem total responsabilidade e autoridade sobre todos os aspectos referentes à acreditação de laboratórios.

Autores como Lourenço (2011) e Abdel Fatah (2010) enfatizam que a competência técnica de um laboratório depende de inúmeros fatores, sendo de enorme importância que o laboratório possua equipamentos devidamente calibrados, em bom estado e aptos para uso, bem como disponha especialmente de pessoal qualificado e treinado.

Conforme Vlachos et al. (2002) apesar de requerer bastante esforço, e ser um processo demorado com custo elevado, a implantação da ISO/IEC 17025 pode ser bastante recompensadora. Os autores citam que os principais benefícios com a implantação da norma é a maior competitividade e confiabilidade nos serviços prestados, permitindo uma maior

conscientização sobre qualidade, que traz como consequência um aumento da eficiência e possibilita desenvolver um melhor trabalho em equipe.

Tratando-se de laboratórios que pertencem a uma Instituição de Ensino Superior, autores como Bender, Pizzolato e Albano (2016) e Grochau (2010) ressaltam que a acreditação nestes é um processo bastante peculiar, e apresenta alguns contratempos, principalmente devido a prestação de serviços ocorrer em conjunto com as atividades de ensino e pesquisa. Entretanto, a implantação da norma nestes laboratórios é de grande valor, pois possibilita aos estudantes uma percepção melhor de profissionalismo, uma vez que as universidades também respondem às demandas da sociedade, interagindo com outras instituições e empresas.

2.2 GARANTIA DA VALIDADE DOS RESULTADOS

A ISO/IEC 17025 foi desenvolvida com o objetivo de promover a confiança na operação de laboratórios, de modo a permitir que os mesmos demonstrem que operam competentemente e que são capazes de gerar resultados válidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Dentre os requisitos que a norma apresenta, no requisito 7 – Requisitos de processo, o item 7.7 refere-se exclusivamente a garantia da validade dos resultados.

Como já mencionado na introdução, a ISO/IEC 17025 exige que o laboratório tenha um procedimento para monitoramento dos seus resultados de forma a garantir que eles são válidos, e além disso cita possíveis maneiras para realizar este monitoramento. Comparações intralaboratoriais, utilização de materiais de referência, uso de instrumentação alternativa calibradas são alguns exemplos que a norma propõe, bem como ela também recomenda o uso de técnicas estatísticas que possibilitem a detecção de tendências.

Frequentemente gráficos de controle são utilizados para este monitoramento, Moura, Costa e Regina (2009) ao realizar um estudo em laboratórios em fase de acreditação e ao identificar que diversos fatores influenciam e determinam a confiabilidade dos ensaios realizados, incluindo fatores humanos, acomodações, condições ambientais, manuseios de itens e a rastreabilidade de medição, sugerem o uso de gráficos de controle para que o laboratório proceda o controle da qualidade. Oliveira, Cunha e Alves (2014) ao implantar um sistema de gestão da qualidade em um laboratório de pré-medidos, afirma que a aplicação de técnicas estatísticas, principalmente gráficos de controle, no monitoramento de um processo

de medição resultou em um melhor desempenho dos técnicos na execução dos seus ensaios, e permitiu a detecção de desvios possibilitando a definição de ações preventivas e corretivas.

Kishimoto e Moraes (2008) ainda reforçam que os laboratórios apresentam dificuldade em atender o requisito da norma referente a garantia da validade dos resultados, afirmando ainda que a diversidade entre os tipos de ensaio e a experiência técnica reflete nos resultados de medições, e devido a isso, diz não ser possível obter a garantia da validade dos resultados das atividades de laboratório através da adoção de um único método para monitoramento. Diante disso, os laboratórios constantemente estão à procura da melhor técnica estatística para atender esse requisito da melhor forma possível e assegurar o desempenho do laboratório.

Albano e Raya-Rodriguez (2015) destacam que a garantia da validade dos resultados não só traz retorno financeiro dos investimentos, mas um aumento da confiabilidade da equipe técnica pois de certa forma assegura que os métodos utilizados na execução dos ensaios estão sendo adequados.

2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é definido e conhecido como uma coleção de ferramentas utilizadas para a resolução de problemas relacionados a qualidade de produtos e processos. As ferramentas tratadas no CEP são fundamentais na obtenção da estabilidade do processo, pois visam o monitoramento das variáveis a fim de garantir que os itens resultantes apresentem um padrão de qualidade ao longo do tempo. O CEP além de ser de fácil uso e entendimento, evidencia um impacto significativo quando aplicado, e ainda apresenta a característica de poder ser empregado em qualquer processo (LOUZADA et al., 2013; MONTGOMERY, 2016).

Dentre as ferramentas que o CEP apresenta, encontram-se os gráficos de controle (GC). Os GC são representações gráficas que além de serem usadas para monitoramento do processo, permitem a identificação e distinção de causas especiais e causas comuns. Eles também possibilitam estimar parâmetros do processo e, por conseguinte determinar a capacidade do mesmo, obtida através da redução da variabilidade.

Os GC podem ser classificados de acordo com o número de características da qualidade que monitoram, podendo ser univariados ou multivariados. Quando se observa apenas uma característica da qualidade ele é chamado de univariado, que é o caso deste estudo onde serão coletados e analisados dados a partir de checagens intermediárias em pipetas, micropipetas, analisadores de energia e osciloscópio. Entretanto quando o número de

informações geradas é grande e existe a possibilidade de correlações entre as características observadas, é necessário que ocorra o monitoramento simultâneo, e para tais situações utilizam-se os gráficos de controle multivariados (TÔRRES, 2015).

2.3.1 Gráficos de Controle

Conforme os dados que são coletados e analisados, existem duas classificações para os gráficos de controle univariados: variáveis e atributos. Denomina-se GC de variáveis quando a característica da qualidade analisada é expressa em termos de uma medida numérica e GC de atributos quando a característica não é quantitativa (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Dentre os gráficos de controle univariados, os que ganham destaque são os Gráficos de Shewhart (valores individuais e amplitude móvel, média e amplitude, média e desvio padrão), Gráficos de Controle da Soma Cumulativa (CUSUM) e Gráficos de Controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA). A seguir serão descritas as propriedades e funcionalidades dos gráficos de controle que serão utilizados, em relação aos gráficos de Shewhart, será utilizado o GC Shewhart de média e Amplitude (\bar{X} e R)

Segundo Louzada et al. (2013) os Gráficos de Controle de Shewhart são fundamentais, dado que apresentam uma enorme capacidade de detectar grandes mudanças na variabilidade do processo. Para o GC de Shewhart ser construído, além do fato de que os dados devem ser normais, são necessários dados de, no mínimo 20 subgrupos de tamanho n . Montgomery (2016) destaca que os gráficos \bar{X} e R estão entre as mais importantes e úteis técnicas de controle e monitoramento estatístico de processo, visto que o gráfico \bar{X} é usado para controlar a média do processo, enquanto o gráfico R da amplitude é usado para controlar a variabilidade do processo. Na construção do GC de Shewhart para \bar{X} e R é definido um limite de controle superior (LCS), um limite de controle inferior (LCI) e um limite central (LC). Os parâmetros para cálculo destes limites referentes ao gráfico da média (\bar{X}) estão representados nas Equações 1, 2 e 3 (MONTGOMERY, 2016). A constante A_2 é um valor tabelado relativo ao tamanho da amostra.

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (1)$$

$$LC = \bar{\bar{x}} \quad (2)$$

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (3)$$

Tratando-se da variabilidade do processo, a mesma pode ser monitorada marcando-se os valores das amplitudes. Os parâmetros para a construção do gráfico de controle \bar{R} estão expostos nas equações 4, 5 e 6. Ressalta-se que as constantes D_3 e D_4 são valores tabelados que dependem do tamanho de n .

$$LCS = D_4 \bar{R} \quad (4)$$

$$LC = \bar{R} \quad (5)$$

$$LCI = D_3 \bar{R} \quad (6)$$

É válido ressaltar que na interpretação dos gráficos, o processo é considerado fora de controle estatístico quando os pontos exibirem algum padrão de comportamento, ciclos gráficos ou um ou mais pontos estiverem além dos limites de controle (MONTGOMERY, 2016).

Rocha et al. (2014) utilizou o GC de Shewhart de \bar{X} e R em um laboratório de ensaios de materiais de irrigação a fim de avaliar a estabilidade de um sistema de medição em ensaios de perda de carga em tubos de microirrigação. Ao fim, o sistema de medição mostrou-se estável para a vazão e instável para a pressão, sabendo-se que os dados de pressão se apresentaram como não normais e foram normalizados para o uso dos GC de Shewhart. Os autores dessa forma concluíram que apesar do GC de Shewhart se mostrar adequado para as medidas de vazão, e da estabilidade da pressão de ensaio não implicar em um aumento significativo nas medidas de vazão, é preciso utilizar outras ferramentas que aprimorem o sistema de controle e monitoramento adotado, citando como exemplo o GC CUSUM e EWMA.

Alcântara et al. (2018) utilizaram GC em um laboratório de sementes a fim de monitorar possíveis falhas no processo de produção das sementes e rapidamente conseguiram identificar mudanças em pontos estratégicos do processo, os autores concluíram através do CEP que foi possível identificar lotes de sementes que não atendem ao padrão mínimo de qualidade, de modo que o GC Shewhart se mostrou uma ferramenta adequada.

Em todo o caso, é válido ressaltar, que os GC de Shewhart, conforme relatado por Montgomery (2016) se mostra excepcional na Fase I de implementação do CEP, onde há probabilidade do processo estar fora de controle e causas especiais são notáveis, resultando em modificações nos parâmetros estabelecidos. Contudo, pelo fato do GC de Shewhart utilizar apenas a informação sobre a última observação da amostra, ele torna-se insensível na detecção de pequenas mudanças e, portanto, menos útil na Fase II de monitoramento.

NIST (2012) declara que muitas vezes padrões e calibrações são monitorados ao longo do tempo através do uso de um GC de Shewhart. Entretanto, ao analisar dados de calibrações de massas de uma balança de alta precisão identificou-se apenas duas causas especiais. Além disso, a configuração dos pontos indica que a média do processo pode estar relacionada a uma mudança nos padrões de referência, que a variabilidade pode ser causada por uma mudança na precisão do instrumento e ainda pode ser o resultado de outros fatores no processo de medição. Por fim, os autores concluem que o GC Shewhart não é eficaz no caso desta aplicação, de forma que o GC EWMA pode ser uma melhor escolha quando se trabalha com instrumentos de medição.

Como já citado, o GC da Soma Cumulativa é uma ótima alternativa quando o interesse é detectar pequenas mudanças, principalmente na Fase II, tendo em vista que ele acumula informações de toda a sequência de pontos e por isso se torna mais sensível na detecção de pequenos desvios da média de um processo (MONTGOMERY, 2016).

O GC CUSUM leva em consideração as somas cumulativas dos desvios dos valores da amostra em relação a um valor – alvo (μ_0) que é estabelecido a *priori*. Se a média do processo apresentar desvios significativos em relação a μ_0 , esse gráfico deve exibir valores muito superiores ou muito inferiores a zero, ou seja, isso representa uma tendência positiva ($\mu_1 > \mu_0$) ou negativa ($\mu_1 < \mu_0$) e nesses casos, há indícios que a média do processo mudou e deve ser realizada uma busca por causas especiais. Em controvérsia, se a soma cumulativa se localizar próximo ao zero do gráfico, significa que o processo está sob controle. A equação 7, é usada para a construção do gráfico, sendo C_i a soma cumulativa até a *i-ésima* amostra e \bar{x}_j é a média da *j-ésima* amostra (LOUZADA et al., 2013; MONTGOMERY, 2016).

$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) \quad (7)$$

Tratando-se dos limites de controle do gráfico CUSUM, será utilizado o CUSUM padronizado, pois ele permite que o valor de referência k e o valor do intervalo de decisão h sejam os mesmos. O CUSUM padronizado atua acumulando os desvios da média acima C^+ ou abaixo C^- do valor alvo. Para cálculo, utilizam-se as equações 8, 9 e 10.

$$C_i^+ = \max[0, y_i - k + C_{i-1}^+] \quad (8)$$

$$C_i^- = \min[0, -k - y_i + C_{i-1}^-] \quad (9)$$

$$y_i = (x_i - \mu_0) / \sigma \quad (10)$$

Os GC CUSUM se mostram mais eficientes que os GC de Shewhart, pois fazem a combinação de várias amostras e são particularmente mais eficazes em situações onde o

monitoramento do processo é feito mediante observações individuais. É imprescindível ressaltar que o GC CUSUM se mostra eficiente apenas na utilização de dados normais (ALVES, 2003).

Walter et al. (2013) com o objetivo de analisar e controlar estatisticamente um processo industrial aplicou o GC de Shewhart, o GC CUSUM e um gráfico combinado Shewhart-CUSUM no setor metal mecânico de modo a avaliar qual apresentava o melhor desempenho. Como resultado, obteve que o GC CUSUM, isolado ou combinado com o gráfico do tipo Shewhart, mostrou-se o mais adequado que apenas o GC de Shewhart, pois o GC CUSUM ou mesmo a combinação dos dois tipos de gráfico se mostra mais sensível para avaliar interferências na qualidade do processo.

Similar ao GC CUSUM, o gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada (EWMA) é útil quando se deseja identificar pequenas mudanças na média do processo, ademais, o GC EWMA caracteriza-se por ser robusto a não normalidade dos dados e apresenta-se fácil ao empregar, o que o torna ideal para ser usado no caso de observações individuais (MONTGOMERY, 2016).

O GC EWMA é definido através da equação 11, onde Z_i é uma média ponderada de todas as médias de amostras anteriores, em que λ é uma constante pertencente ao intervalo (0,1) e o valor inicial (exigido com a primeira amostra em $i = 1$) é o valor - alvo do processo, de modo que $z_0 = \mu_0$. Esses pesos se tornam cada vez menores na medida em que as observações se distanciam no tempo de Z_i (LOUZADA et al., 2013).

$$z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda) z_{i-1} \quad (11)$$

O GC EWMA pode ser construído pela plotagem de z_i versus número da amostra i (ou tempo), sendo que para cálculo dos limites de controle e da linha central utiliza-se as equações 12, 13 e 14, onde o fator L é a largura dos limites de controle.

$$LCS = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (12)$$

$$LC = \mu_0 \quad (13)$$

$$LCI = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (14)$$

Louzada et al. (2013) e Montgomery (2016) alegam que após o GC EWMA estar processando alguns períodos, os limites de controle tendem a se aproximar de um valor estacionário, e desta forma é recomendado que nas primeiras oito ou dez amostras sejam utilizados os limites exatos, devido à alta probabilidade de ocorrer erro tipo II nas primeiras observações. Da mesma forma, os autores ressaltam que o uso de valores mais baixos de λ

facilitam na detecção de menores alterações, salientando que o GC EWMA opera bem para pequenas mudanças, mas não reage rapidamente a mudanças maiores, comparado ao GC de Shewhart.

Alguns autores realizaram comparações entre os gráficos já exibidos de modo a identificar qual apresenta melhor desempenho. Souza et al. (2007) por exemplo, aplicou os GC de Shewhart para valores individuais e amplitude móvel, GC CUSUM e EWMA em uma indústria de fundição e apesar de concluir que o processo estava sob controle estatístico, notou que o GC CUSUM e o GC EWMA se mostraram melhores na detecção, apresentando pequenas oscilações em torno da média e fazendo com que as possíveis causas fossem investigadas.

Do mesmo modo, Moro et al. (2016) aplicou os gráficos em uma indústria frigorífica e por fim concluiu que o GC EWMA se mostrou mais adequado, tendo em vista que indica mais rapidamente o alarme de amostras fora de controle estatístico, e desse modo, se torna a melhor opção para monitoramento deste processo. Por fim, para conseguir uma avaliação de forma eficiente e rápida dos parâmetros que classificam a água, Cruz, Cunha Filho e Falcão (2014) aplicaram os diferentes gráficos em parâmetros da qualidade da água (pH e turbidez) e constataram que o gráfico EWMA é o mais adequado pois demonstrou-se sensível as pequenas variações na redução ou aumento dos níveis do pH e turbidez.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta o cenário onde o estudo será realizado, o método de pesquisa e as etapas da pesquisa.

3.1 CENÁRIO

Esta pesquisa foi aplicada em laboratórios de metrologia química e de metrologia elétrica. Eles serão denominados Laboratório X, Laboratório Y e Laboratório Z, todos pertencem a uma Instituição de Ensino Superior e são acreditados pela Coordenação Geral de Acreditação (CGCRE), que faz parte do INMETRO, de acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025.

O laboratório X realiza análise de resíduos de pesticidas em matrizes ambiental e de origem vegetal e animal e utiliza instrumentos de medição como pipetas nas quais realizam checagens intermediárias mensais

O laboratório Y realiza ensaios em inversores fotovoltaicos conectados à rede elétrica com potência nominal de até 50 kW e utiliza equipamentos como analisador de energia e osciloscópio e realiza checagens intermediárias semanalmente nos mesmos. O laboratório Z realiza análises de resíduos de agrotóxicos e utiliza equipamentos como micropipetas, as checagens são realizadas bimestralmente de modo a atender ao requisito da norma relativo a garantia da validade dos resultados de medição.

Para esse estudo foram utilizados os três equipamentos já citados. Tratando-se da pipeta, o Laboratório X apresenta três pipetas, o Laboratório Y, apresenta um osciloscópio e um analisador de energia e o laboratório Z uma micropipeta. Na Tabela 1 são apresentados dados sobre os instrumentos de medição que foram utilizados neste estudo.

Tabela 1 – Dados dos instrumentos de medição

Laboratório	Autenticação	Faixa de medição	Resolução	Pontos de verificação
X	PIP-07	1 – 10 mL	0,01 mL	1 mL;5mL;10 mL.
X	PIP-09	10 – 100 µL	0,1 µL	10 µL;50 µL;100 µL.
X	PIP-19	2 – 20 µL	0,02 µL	2 µL; 10 µL; 20 µL.
Y	WT1600	300V	0,1% da tensão medida e 0,05% da escala	220V (em três canais).
		10A	0,1% da tensão medida e 0,05% da escala	4,5A (em três canais).
Y	Fluke1760	600V	0,1% da tensão medida	220V (em três canais).
		200A	1% da tensão medida	4,5A (em três canais).
Z	MICP-07	10 – 80 µL	0,1 µL	10 µL;20 µL;40 µL; 50µL;80 µL.

Fonte: Autora (2018)

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

Esse estudo classifica-se como aplicado, KAUARK (2010), afirma que a pesquisa aplicada apresenta como objetivo alcançar conhecimentos para aplicação prática, focada na solução de problemas específicos. A abordagem apresenta-se como quantitativa, considerando o ato da mensuração de variáveis e a objetividade da pesquisa científica, onde os dados serão coletados e analisados estatisticamente (MIGUEL, 2012).

Sordi (2017) afirma que quando o objetivo dos testes estatísticos é entender situações de causa-efeito, a pesquisa é classificada como explicativa. O autor ainda reforça que

pesquisas desse modo procuram explicações sobre a natureza de certos relacionamentos por meio de estatística para a compreensão de relações entre variáveis.

Em relação ao procedimento técnico, trata-se de um estudo de caso. Miguel (2012) destaca que no estudo de caso, o pesquisador tem baixo grau de envolvimento com os indivíduos e a organização pesquisada, onde a interação ocorre apenas nas visitas, como é o caso deste estudo, visto que o laboratório apenas fornecerá os dados para análise. Autores como Gil (2010) e Sordi (2017) ainda expõem que o estudo de caso tem o propósito de realizar um exame detalhado de um processo que permita esclarecer fatores particulares ao caso que podem levar a um maior entendimento e conclusões mais específicas.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

As etapas a serem cumpridas para a realização deste estudo estão descritas a seguir. Para a construção dos gráficos de controle será utilizado o software Minitab Statistical.

Etapa 1 – Identificação dos gráficos de controle (GC): Nesta etapa foi verificado se os dados se ajustam a distribuição normal, e para a análise foram utilizados os testes Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk nos dados que integram a Fase I onde comparou-se o valor de p com um nível de significância de 5%. Se o valor de p foi menor ou igual ao nível de significância, rejeitou-se a hipótese nula e concluiu-se que os dados não se ajustam a distribuição normal. Se o valor de p foi maior que o nível de significância, aceita-se a hipótese nula. Dessa forma, nesta etapa foram verificados quais os GC podem ser utilizados de acordo com os dados coletados, sabendo-se que os GC de Shewhart e CUSUM podem ser construídos apenas com dados normais, enquanto o GC EWMA não apresenta essa característica limitante referente a normalidade dos dados.

Etapa 2 – Realizar a construção e análise retrospectiva dos gráficos de controle (GC): Esta etapa é a representação da Fase I da aplicação dos GC (MONTGOMERY, 2016). Nela, realizou-se uma análise retrospectiva, de modo a estabelecer os limites de controle de cada um dos GC. Na ocorrência de pontos fora dos limites de controle (causas especiais), estes foram eliminados e os limites de controle, recalculados. Esse procedimento foi repetido, até que causas especiais não fossem mais detectadas e dessa forma o processo foi considerado estável e os limites de controle definidos. Em alguns casos não foi possível ter o número de amostra mínimo (20) para cálculo dos limites de controle sem causas especiais. Quando isso ocorreu não houve a possibilidade de construir os gráficos de controle para a Fase I, nem para a Fase II.

Etapa 3 – Realizar o monitoramento do processo de medição e analisar os resultados dos GC construídos: Esta etapa refere-se ao monitoramento do processo, que é a fase II da aplicação dos GC (MONTGOMERY, 2016). Na Fase I, estabeleceu-se os limites de controle, à vista disso, nesta etapa (Fase II) os dados coletados foram plotados nestes GC com os limites de controle já estabelecidos. O objetivo desta etapa foi verificar a tendência e falta de estabilidade dos dados ao longo do tempo, conforme MSA (AIAG, 2010). Ainda nesta etapa foram analisados os gráficos de controle construídos, de modo a identificar qual foi o mais adequado para o monitoramento do processo de medição em pipetas, micropipetas, analisadores de energia e osciloscópio. Esta etapa ainda permitiu reconhecer a ocorrência de falta de estabilidade, de modo a identificar as possíveis causas que geram esse comportamento nos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para identificar os gráficos de controle que poderiam ser utilizados (etapa 1) a primeira atividade foi verificar a normalidade dos dados.

Nas pipetas do laboratório X as checagens intermediárias são realizadas mensalmente. Os dados analisados foram coletados no período de dezembro/2016 a setembro/2018, totalizando 20 amostras. Na coleta de dados utiliza-se água ultrapura, sendo que a medição é realizada 10 vezes e após é feita a medição do valor de massa em uma balança.

Na micropipeta do laboratório Z as checagens intermediárias são realizadas bimestralmente e a medição também é realizada 10 vezes. Os dados foram coletados de abril/2011 a setembro/2018, totalizando 33 amostras, e utiliza-se água purificada na coleta e após é medido o valor de massa.

No laboratório Y, tanto o analisador de energia WT 1600 quanto o Fluke 1760 apresentam seis canais de medição, sendo três de tensão (V1, V2 e V3) e três de corrente (I1, I2 e I3). As checagens intermediárias são realizadas semanalmente nos seis canais de cada equipamento, sendo medido cinco vezes por canal. Para todos os canais, tanto os do analisador de energia WT 1600 quanto do osciloscópio Fluke 1760, mede-se a mesma carga padrão nos seis canais ao mesmo tempo. Sabendo-se que tensão e corrente são relacionadas, quando deseja-se obter o valor de tensão, a corrente é programada em 4,5A e quando deseja-se saber o valor da corrente, a tensão é programada em 220V. Os valores são obtidos através de um software do equipamento e os dados foram coletados no período de 17/04/2017 a 20/06/2018, totalizando 57 amostras. Na Tabela 2 estão apresentados os equipamentos e seus

parâmetros de modo a visualizar os resultados dos testes de normalidade realizados, permitindo ainda observar os possíveis GC a serem construídos para cada parâmetro.

Tabela 2 – Resultado do teste de normalidade e dos GC que poderão ser utilizados

Equipamento	Parâmetro	Normalidade dos dados –Fase I	Tipos de GC possíveis
Pipeta 07	1 mL	Não normal	EWMA
	5 mL	Não normal	EWMA
	10 mL	Não normal	EWMA
Pipeta 09	10 µL	Não normal	EWMA
	50 µL	Não normal	EWMA
	100 µL	Não normal	EWMA
Pipeta 19	2 µL	Não normal	EWMA
	10 µL	Não normal	EWMA
	20 µL	Não normal	EWMA
Analisador de Energia WT 1600	V1	Não normal	EWMA
	V2	Não normal	EWMA
	V2	Não normal	EWMA
	I1	Não normal	EWMA
	I2	Não normal	EWMA
	I3	Não normal	EWMA
Osciloscópio Fluke 1760	V1	Não normal	EWMA
	V2	Não normal	EWMA
	V3	Não normal	EWMA
	I1	Normal	Shewhart, CUSUM e EWMA
	I2	Não normal	EWMA
	I3	Não normal	EWMA
Micropipeta 07	10 µL	Não normal	EWMA
	20 µL	Não normal	EWMA
	40 µL	Normal	Shewhart, CUSUM e EWMA
	50 µL	Não normal	EWMA
	80 µL	Não normal	EWMA

Fonte: Autora (2018)

Constata-se ao observar a Tabela 2 que os dados do analisador de energia WT 1600 e do osciloscópio Fluke 1760 apresentaram-se como não normais para todos os canais de medição, exceto para os valores de corrente do canal I1 do osciloscópio Fluke 1760. Tratando das pipetas para todos os pontos de checagens os dados apresentaram-se como não normais. Nos dados da micropipeta, apenas o ponto de checagem de 40 µL apresentou dados normais.

Visto isso, apenas para os dados de corrente do canal de medição I1 do osciloscópio Fluke 1760 e para os dados do ponto de checagem de 40 µL da micropipeta 07 é possível construir o GC de Shewhart, CUSUM e EWMA. Em 92% dos parâmetros os dados

apresentaram-se como não normais, com o valor de p menor que o nível de significância (5%), o que implicou apenas na construção do GC EWMA.

Os resultados individuais dos testes de normalidade das pipetas, micropipeta, do analisador de energia WT 1600 e do osciloscópio Fluke 1760 encontram-se no Apêndice A.

4.1 ESTABELECIMENTO DOS LIMITES DE CONTROLE

Conhecendo os GC que podem ser construídos para cada parâmetro dos equipamentos utilizados neste estudo, iniciou-se a Fase I, onde os limites de controle dos gráficos são estabelecidos. Tendo em vista que para estabelecer os limites de controle (Fase I) é necessário no mínimo 20 subgrupos de tamanho n , para as pipetas utilizou-se os dados coletados de dezembro/2016 a setembro/2018, para a micropipeta, utilizou-se os dados de 07/04/2011 a 12/06/2015. No analisador de energia e no osciloscópio os dados utilizados foram os coletados de 17/04/2017 a 06/10/2017.

Ao iniciar a construção dos GC, levou-se em consideração alguns quesitos. Pozzobon (2001) ressalta que para o GC EWMA ser efetivo, o valor do parâmetro λ do gráfico deve ser escolhido e ajustado de forma que forneça o melhor valor até que se encontre o primeiro ponto fora de controle. Montgomery (2016) destaca que de forma geral, os valores de λ no intervalo de 0,05 a 0,25 são valores que atuam bem na prática, sendo os valores de λ iguais a 0,05, 0,10 e 0,25 escolhas bastante utilizadas. O autor ainda ressalta, que o uso de valores mais baixos de λ facilitam a detecção de pequenas mudanças.

Sendo assim, para uma análise mais adequada testou-se λ com valores de 0,05, 0,10, 0,20 e 0,25 nos dados coletados das pipetas, micropipeta, do analisador de energia e do osciloscópio, de forma a observar qual se ajustava melhor. Ao realizar os testes com os valores de λ , concluiu-se que a melhor opção era trabalhar com valores mais altos, como 0,25, dado que ao utilizar por exemplo 0,05, os limites de controle ficavam mais próximos, e dessa forma, a probabilidade de ocorrerem erros do tipo I é alta. Além disso, Montgomery (2016) ressalta que ao utilizar pequenos valores de λ , quando ocorre uma mudança na direção oposta da localização atual da média móvel exponencialmente ponderada, podem ser necessários vários períodos para que o GC reaja à mudança, visto que o λ com valor pequeno não tem muito peso no novo dado.

Para o canal de medição de corrente I1 do analisador de energia WT 1600 e para o canal de corrente I3 do osciloscópio Fluke 1760 não foi possível estabelecer os limites de

controle do GC EWMA com os dados coletados, uma vez que não foi obtido um gráfico de controle sem a presença de causas especiais. Para o canal de corrente I1 do osciloscópio Fluke 1760, o qual apresentou dados normais, apenas para o GC CUSUM os limites de controle foram estabelecidos.

Em relação a micropipeta, os limites de controle foram estabelecidos em todos os pontos de checagem para o GC EWMA, porém para o parâmetro de 40 μL , o qual apresentou dados normais, ao utilizar o GC de Shewhart, não foi possível estabelecer os limites de controle dado que não se obteve um gráfico sem a presença de causas especiais e não existiam mais dados para que as CE fossem retiradas e outros dados fossem acrescentados.

No caso das pipetas, não foi possível estabelecer os limites de controle com os dados obtidos para nenhum valor de λ , considerando que conforme a representação da Fase 1, até o presente momento não existem dados suficientes das pipetas para que as causas especiais detectadas fossem retiradas, de modo que novos dados fossem adicionados e os limites recalculados. Da mesma forma como ocorreu com a micropipeta no GC de Shewhart.

No Apêndice B é possível observar os gráficos de controle construídos para as pipetas 07, 09 e 19 com os valores de λ iguais a 0,05, 0,10, 0,20 e 0,25. Ao analisar os GC EWMA gerados com os dados do parâmetro de 1 mL da pipeta 07, percebe-se que foram sinalizadas quatro causas especiais nos gráficos com o λ iguais a 0,05, 0,10 e 0,20, entretanto, ao usar o λ igual a 0,25 identificou uma causa especial a mais. O mesmo ocorre para o parâmetro de 5 mL, onde o GC com o λ igual a 0,25 identificou duas causas a mais, e para o ponto de 10 mL onde foi identificada uma CE a mais do que utilizando valores mais baixos de λ .

O mesmo resultado foi observado na pipeta 09 nos parâmetros de 10, 50 e 100 μL , dado que em todos os parâmetros da pipeta o GC EWMA obtido com o λ igual a 0,25 sinalizou mais causas especiais, apesar de apresentar limites de controle mais largos. Em relação a pipeta 19, o mesmo comportamento foi evidenciado, uma vez que para os parâmetros de 2, 10 e 20 μL o GC EWMA com λ igual a 0,25 indicou causas especiais a mais do que nos demais gráficos.

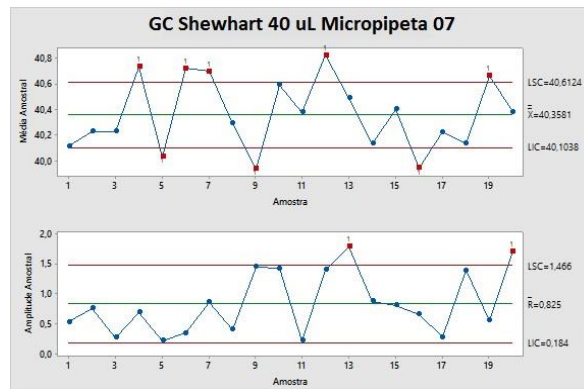
Para os dados analisados percebeu-se que ao utilizar valores de λ mais altos, mesmo com os limites de controle mais largos, um número maior de causas especiais foi identificada.

4.2 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DOS GC

Na Fase II realiza-se o monitoramento do processo, pois os limites de controle foram estabelecidos apenas com causas comuns, isto é, num processo estável. Conforme já mencionado, para as pipetas do laboratório X não foi possível construir os gráficos de controle sem a presença de causas especiais, e dessa forma não realizou-se o monitoramento (Fase II).

Tratando-se da micropipeta, o único parâmetro que apresentou dados normais, de modo a possibilitar a construção do GC de Shewhart, CUSUM e EWMA foi o de 40 μL . Ao construir o GC de Shewhart para o parâmetro de 40 μL na Fase I não foi possível obter um gráfico de controle sem a presença de causas especiais, o mesmo pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – GC de Shewhart com causas especiais do parâmetro de 40 μL



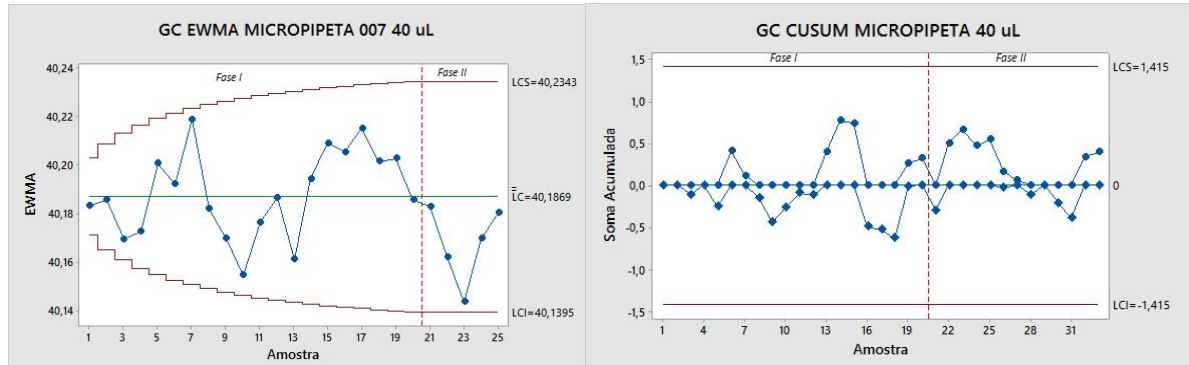
Fonte: Autora (2018).

Para os limites de controle serem significativos, eles têm que se basear em dados de um processo que esteja sob controle. Montgomery (2016) relata que geralmente se ambos os gráficos exibem, inicialmente, os pontos fora de controle, a estratégia é estabelecer o controle no gráfico R, pois se o gráfico R estiver fora de controle isso significa que a variabilidade do processo estará instável, e os limites de controle do gráfico \bar{X} não são confiáveis. Analisando os gráficos percebe-se que há um deslocamento na média do processo ocorrendo entre as amostras, o que resulta em pontos fora de controle no GC e indica a variabilidade do processo ao longo do tempo.

Em contrapartida, ao realizar o monitoramento nos GC EWMA e CUSUM para o parâmetro de 40 μL da micropipeta, nenhum ponto se localizou fora dos limites de controle,

de modo que não há evidência forte de que o processo esteja fora de controle. Os GC podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2 – GC EWMA e GC CUSUM para 40 μ L da Micropipeta 07.

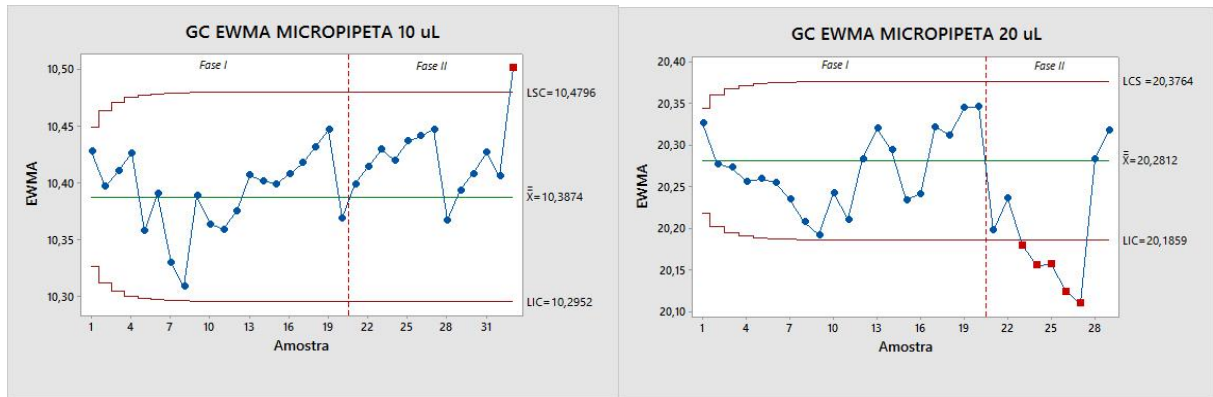


Fonte: Autora (2018).

De acordo com Montgomery (2016) e Louzada et al. (2013) o não estabelecimento dos limites de controle no GC de Shewhart para o parâmetro de 40 μ L da micropipeta pode ocorrer devido ao fato do gráfico não levar em consideração a sequência inteira de pontos e desse modo faz com que o GC de Shewhart seja relativamente insensível a pequenas mudanças no processo, diferente do GC CUSUM e EWMA. Entretanto, visualizando na Figura 2 a fase de monitoramento nos dois gráficos, observa-se que os limites do GC CUSUM foram estabelecidos antes que no GC EWMA, dado que o GC CUSUM apresenta mais dados na Fase II. Isso pode indicar que o GC CUSUM não identificou algumas causas especiais e pode estar apresentando um processo estável quando na verdade não está, diferente do GC EWMA.

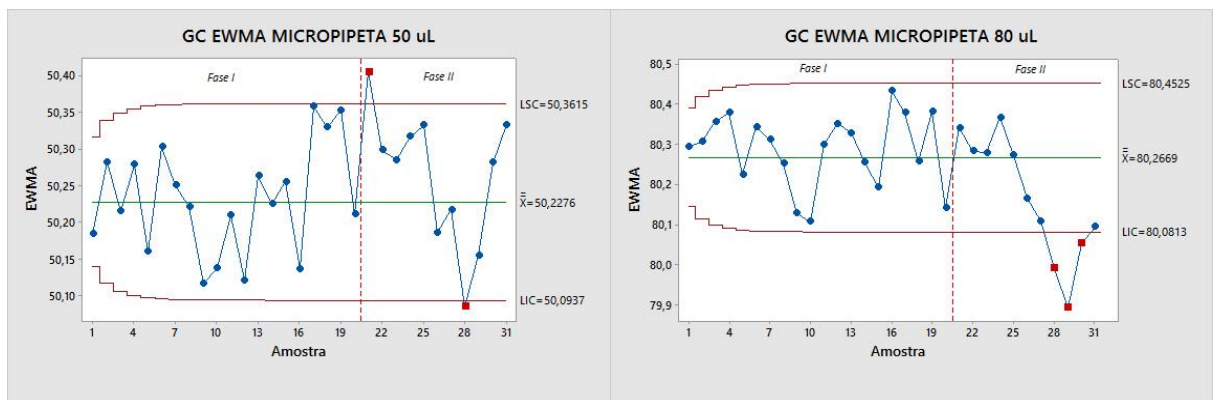
Para os demais parâmetros da micropipeta (10 μ L, 20 μ L, 50 μ L e 80 μ L) apenas o GC EWMA pode ser construído devido a não normalidade dos dados. Ao realizar o monitoramento da micropipeta, observa-se que em todos os parâmetros se evidencia a presença de causas especiais. Na busca de explicações para essas causas especiais, constatou-se que existe a troca de operador entre as checagens, além disso, caso a checagem não atenda o critério de aceitação definido pelo laboratório, a checagem é refeita por outra pessoa. Tendo em vista que o instrumento de medição é uma micropipeta, o operador tem um alto grau de interferência na medição. Os gráficos estão apresentados nas Figura 3 e 4.

Figura 3 – GC EWMA para 10 e 20 μL da Micropipeta 07.



Fonte: Autora (2018).

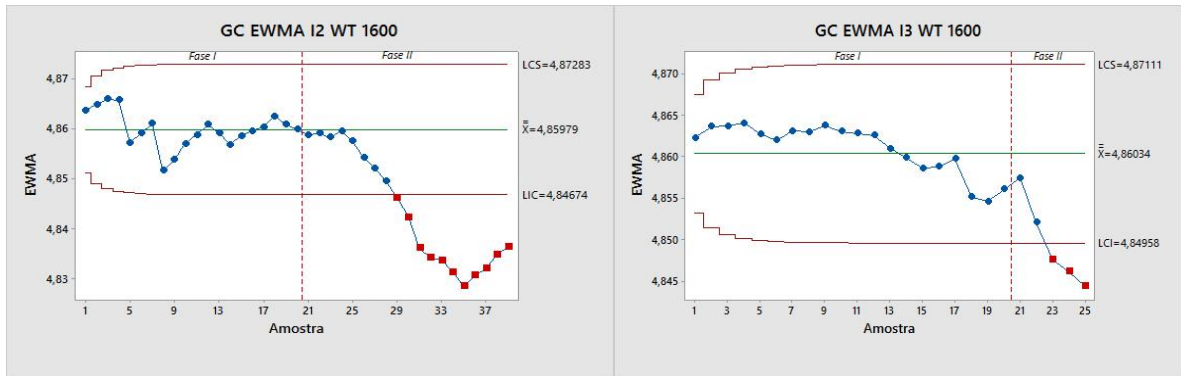
Figura 4 – GC EWMA para 50 e 80 μL da Micropipeta 07.



Fonte: Autora (2018).

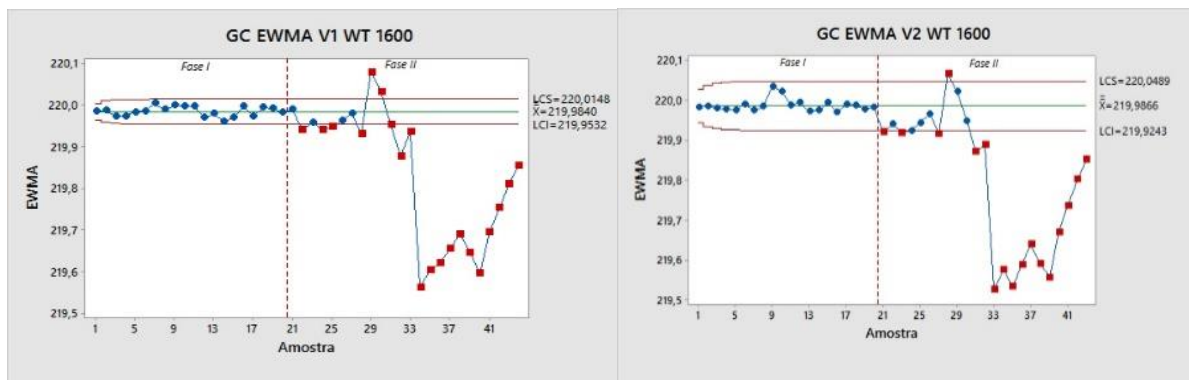
Para os dados do analisador de energia WT 1600, apenas o GC EWMA pode ser construído. Destaca-se que apenas para o valor de corrente do canal I1 não foi possível estabelecer os limites de controle. Nas figuras 5, 6 e 7 estão apresentados os GC EWMA dos canais de corrente I2 e I3 e dos canais de tensão V1, V2 e V3 do analisador de energia, onde observa-se que todos os canais mostram a presença de causas especiais na fase de monitoramento (Fase II).

Figura 5 – GC EWMA para os canais de corrente I2 e I3 do analisador de energia WT 1600



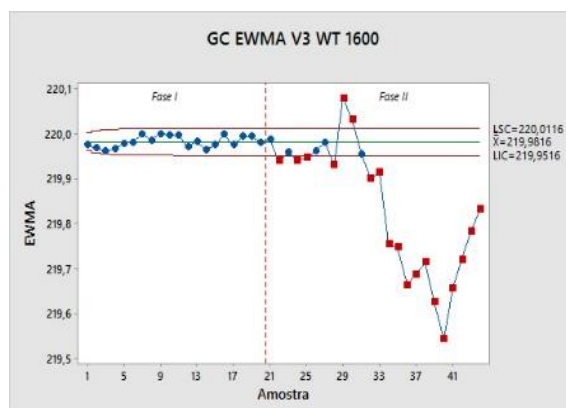
Fonte: Autora (2018).

Figura 6 – GC EWMA para os canais de tensão V1 e V2 do analisador de energia WT 1600



Fonte: Autora (2018).

Figura 7 – GC EWMA para o canal de tensão V3 do analisador de energia WT 1600



Fonte: Autora (2018).

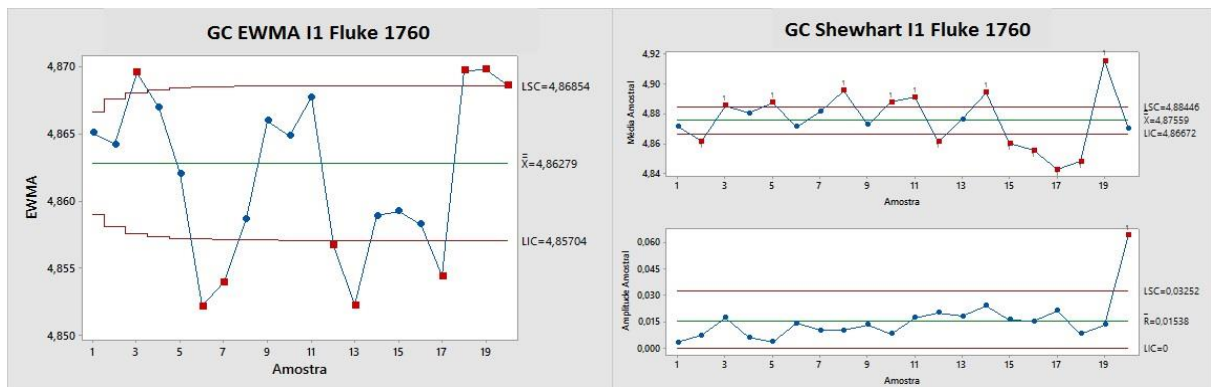
Ao buscar informações para obter uma explicação técnica para essas causas especiais, constatou-se que o equipamento já mostrava sinais que estava com problema, visto que em um ensaio de proficiência, ocorrido em outubro/2017, apresentou resultados questionáveis

comparado a outros equipamentos similares, onde verificou-se que o equipamento está no fim da sua vida útil e já não realiza as medidas das variáveis elétricas corretamente.

Outro fator que pode ter influenciado está relacionado com a carga padrão utilizada nas checagens, dado que na realização da checagem é preciso deixar a carga padrão 10 minutos em aquecimento, caso o operador não espere corretamente esse tempo, a carga padrão pode ter inferência na medição. É válido ressaltar que a carga padrão falhou em seguida o que acarretou a interrupção das checagens intermediárias.

O canal de corrente I1 referente ao osciloscópio Fluke 1760 apresentou dados normais, de forma que é possível a construção dos três tipos de gráfico. Entretanto, ao realizar a construção dos gráficos não foi possível obter o GC de Shewhart e o GC EWMA sem a presença de causas especiais, os mesmos podem ser visualizar na Figura 8. Apenas para o GC CUSUM foram estabelecidos os limites de controle e realizada a Fase II.

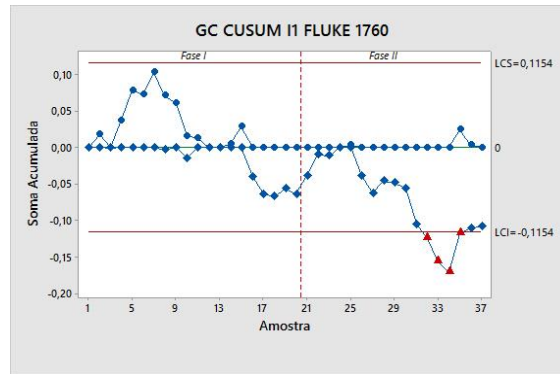
Figura 8 – GC EWMA e GC de Shewhart para o canal de corrente I1 do osciloscópio.



Fonte: Autora (2018).

Na Figura 9 é possível visualizar a fase de monitoramento (Fase II) do GC CUSUM referente ao canal I1 do osciloscópio Fluke 1760. Nota-se a presença de causas especiais, e presume-se que o motivo dessas CE é pelo fato das checagens intermediárias não terem sido realizadas pelos mesmos colaboradores, destacando que um colaborador que estava realizando as mesmas ainda estava em treinamento. Outra condição que pode ter influenciado nas medições do osciloscópio Fluke 1760 é no uso da carga padrão conforme já mencionado, destacando ainda que a mesma falhou em seguida.

Figura 9 – GC CUSUM com causas especiais para o canal de corrente II do osciloscópio



Fonte: Autora (2018).

Para o parâmetro de 40 μL da micropipeta, onde foi possível construir os três tipos de gráficos fica visível que o GC de Shewhart não se mostrou adequado, dado que não foi possível estabelecer os limites de controle. Montgomery (2016) relata que no GC de Shewhart o uso de média de subgrupos melhora o desempenho do gráfico de controle, entretanto não funciona assim com o GC CUSUM, tendo em vista que esse tipo de gráfico funciona melhor com n igual a 1. Neste estudo foram utilizados subgrupos com $n > 1$ e ao analisar o GC CUSUM, comparando-o com o GC EWMA, é possível observar que mesmo não tendo evidência de um processo fora de controle, o GC EWMA detectou um número maior de causas especiais do que o GC CUSUM no estabelecimento dos limites de controle. Esse resultado pode ser observado na fase de monitoramento (Figura 2), onde o GC CUSUM apresenta um número maior de dados. Montgomery (2016) relata que o desempenho do GC EWMA e do GC CUSUM são aproximadamente equivalentes, porém neste estudo o GC EWMA se mostrou mais efetivo na detecção de causas especiais. Além disso, outro fator que é preciso levar em consideração é a normalidade dos dados, uma vez que a micropipeta de cinco parâmetros apresentou apenas um parâmetro com dados normais, é possível dizer previamente que o GC EWMA seria a melhor escolha entre os gráficos comparados, visto que o mesmo é o único que pode ser construído com dados não normais e normais. Dessa forma, conclui-se que para dados advindos de micropipetas a melhor opção é o GC EWMA em razão de ser mais fácil de se estabelecer e operar e principalmente por mostrar-se robusto à não-normalidade dos dados.

Para o canal de corrente II do osciloscópio Fluke 1760, onde também foi possível construir os três tipos de gráficos, o GC de Shewhart não teve os limites de controle estabelecidos, para o GC EWMA também não se obteve um gráfico sem a presença de causas especiais, sendo que apenas para o GC CUSUM foram estabelecidos os limites de controle.

Entretanto, ao visualizar o GC EWMA e o GC CUSUM, é evidente que o GC CUSUM não detectou as causas especiais que o GC EWMA detectou, e dessa forma não é possível concluir qual gráfico se mostrou mais adequado. Além disso, tendo em vista que a maioria dos parâmetros do osciloscópio Fluke 1760 apresentaram dados não normais, o GC CUSUM, apesar de ter sido o único GC onde os limites foram estabelecidos, não seria a melhor opção para monitorar tendências no processo de medição do osciloscópio.

O analisador de energia WT 1600 contudo apresentou em todos os parâmetros dados não normais, o que de antemão permite afirmar que o melhor GC para monitorar o processo de medição do analisador de energia é o GC EWMA, tendo em vista a não normalidade dos dados. Porém, é válido ressaltar que para o canal de corrente I1 do analisador de energia não foi possível estabelecer os limites de controle, devendo-se ainda dar importância a situação do equipamento analisado, visto que o mesmo estava apresentando problemas técnicos.

É imprescindível ressaltar que deve-se ter cuidado ao utilizar GC para monitorar tendências em instrumentos de medição como pipetas, micropipetas, analisadores de energia e osciloscópio, a partir de dados de checagens intermediárias, sendo que o teste de normalidade é essencial para definir qual GC pode ser utilizado. Outro complicador para o uso dos GC é que uma vez que são necessárias, pelo menos, 20 amostras sem causas especiais para estabelecimento dos limites de controle e, boa parte dos laboratórios faz as checagens intermediárias com frequência mensal, o tempo necessário para obter os dados é muito longo. Com isso, chega o momento da calibração e ainda não se tem informações a respeito da tendência no instrumento de medição.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Laboratórios de ensaio e calibração acreditados na ABNT NBR ISO/IEC 17025 precisam garantir a validade dos seus resultados de medição por meio de mecanismos internos e externos, de forma a atender ao requisito 7.7 da norma. Tratando-se de mecanismos internos, uma das alternativas para os laboratórios é a utilização de gráficos de controle.

Este estudo foi realizado em três laboratórios de uma IES que são acreditados pela Coordenação Geral de Acreditação (CGCRE), que faz parte do INMETRO, de acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, entretanto, apenas o laboratório Y de metrologia elétrica utiliza gráficos de controle para monitorar seu processo de medição atualmente.

O estudo trouxe como objetivo comparar os três tipos de gráficos de controle (GC de Shewhart, CUSUM e EWMA) e identificar o mais adequado para monitorar tendências no processo de medição de analisadores de energia, osciloscópio, pipetas e micropipetas.

Apesar dos gráficos de controle serem recomendados no monitoramento do processo de medição conforme Moura, Costa e Regina (2009) e também Oliveira, Cunha e Alves (2015), ao realizar esse estudo ficou notório que para utilizar GC é preciso levar em consideração o tipo de dado que o equipamento gera. Ao testar a normalidade dos dados evidenciou-se que em 92% dos parâmetros os dados apresentaram-se como não normais, o que implicou apenas na construção do GC EWMA.

Realizando os testes para os valores de λ na construção do GC EWMA, optou-se por trabalhar com o λ igual a 0,25, visto que os limites de controle não ficavam tão próximos e era identificado um número maior de causas especiais. Contudo, houve dificuldade ao trabalhar com os dados de corrente e tensão advindos do analisador de energia WT 1600 e do osciloscópio Fluke 1760, dado que muitas causas especiais eram identificadas, ressaltando-se ainda que em dois canais não foi possível estabelecer os limites de controle. Em relação as pipetas, os dados obtidos não foram suficientes para que os limites de controle fossem estabelecidos, uma vez que não se obteve um GC sem a presença de causas especiais, e dessa forma o estudo foi inconclusivo, visto que era necessário ter mais dados para que as causas especiais fossem retiradas, novos dados fossem incluídos e os limites de controle recalculados.

Nos parâmetros onde foi possível construir os três tipos de GC, realizou-se uma comparação entre eles. No ponto de checagem de 40 μL da micropipeta, para o GC de Shewhart não se estabeleceu os limites de controle, somente para o GC CUSUM e EWMA. Ao comparar os GC, evidenciou-se que o GC EWMA identificou um número maior de causas especiais ao estabelecer os limites de controle. Sendo assim, tendo em conta que os demais parâmetros da micropipeta (10, 20 50 e 80 μL) apresentaram dados não normais, o melhor gráfico para realizar o monitoramento do processo de medição na micropipeta é o GC EWMA.

Para o canal de medição de corrente II do osciloscópio Fluke 1760, não foi possível estabelecer os limites de controle para o GC de Shewhart e o GC EWMA, sendo que apenas o GC CUSUM foi construído. Entretanto, ao comparar o GC EWMA com o GC CUSUM percebe-se que o GC CUSUM não identificou algumas causas especiais para definir os limites de controle, e dessa forma não há como identificar qual o melhor gráfico para realizar o monitoramento no osciloscópio, dado que os limites de controle estabelecidos no GC

CUSUM não são confiáveis. No analisador de energia, uma vez que todos os parâmetros apresentaram dados não normais, o GC EWMA é o tipo de gráfico recomendado para monitorar o processo de medição.

Ao comparar os GC analisados, concluiu-se que o GC EWMA se mostrou o gráfico de controle mais adequado para realizar o monitoramento no processo de medição de micropipetas. Em relação as pipetas não se obteve um resultado conclusivo e tratando-se do analisador de energia e do osciloscópio, ficou evidente que é necessário ser cuidadoso ao utilizar GC para esses tipos de equipamentos. Dessa forma sugere-se que sejam realizados estudos futuros utilizando-se outras técnicas estatísticas de forma a identificar qual se adequa melhor aos dados que o analisador de energia e o osciloscópio produzem.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATAH, H. T. ISO/IEC 17025 Accreditation: Between the Desired Gains and the Reality. **Quality Assurance Journal**. v. 13, n 10, 2010. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qaj.465>>. Acesso em: 14 abr. 2018.
- ALBANO, F. M.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T. **Validação e garantia da qualidade de ensaios laboratoriais**. 2. ed. Porto Alegre: Rede Metrológica RS, 2015.
- ALCANTARA, et al. Quality monitoring of soybean seed tests using Statistical Process Control. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** Campina Grande, v. 22, n. 10, p. 689-695, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662018001000689&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 set. 2018.
- ALVES, C. da C. **Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos**. 2003. xv, 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO/IEC 17025:2017**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2017.
- AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). **Análise do Sistema de Medição – MSA**. Trad. Instituto da Qualidade Automotiva. 4. ed. São Paulo, 2010.
- BENDER, R.; PIZZOLATO, M.; ALBANO, F. ISO/IEC 17025: custos de acreditação em uma universidade pública brasileira. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 1-14, 2016. Disponível em: <<https://www4.uninove.br/ojs/index.php/exacta/article/view/6526/3416>>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- CRUZ, D. V.; CUNHA FILHO, M.; FALCÃO, A. P. S. T. Controle estatístico de processos aplicado ao monitoramento do pH e turbidez das águas no abastecimento de Campina Grande – PB. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 459-477, 2014.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GROCHAU, I. H. et al. Implementation of a quality management system in university test laboratories: a brief review and new proposals. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 15, p. 681-689, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00769-010-0713-6>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- HAAG, J. et al. Aplicação de Cartas de Controle por Amplitude para Garantia da Qualidade de Ensaio de Tração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 8., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: CBM, 2015. Disponível em: <<http://bom.org.br:8080/jspui/bitstream/2050011876/367/1/jefferson-haag%28338%29.pdf>>. Acesso em 24 mar. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Laboratórios acreditados**. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/laboratoriosAcreditados.asp>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Ed. Única. Itabuna – Bahia: Via litterarum, 2010.

KISHIMOTO, E. T.; MORAES, J. C. T. Ações implementadas por um laboratório de ensaios de equipamentos eletromédicos para garantia da qualidade de resultados de ensaios. In: CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA, 2008, São Paulo. **Anais...**São Paulo: REMESP, 2008. Disponível em:

<<http://www.vertent.net/remesp/enqualab2008/cdrom/pdf/TT018.pdf>>. Acesso em 24 abr. 2018.

LOURENÇO, A. S. L. M. **Acreditação de laboratórios: ferramentas da qualidade**. 2011. 111 p. Tese (Mestrado em Química) - Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2011.

LOUZADA, F.; DINIZ, C.; FERRIERA, P.; FERREIRA, E. **Controle Estatístico de Processo: Uma abordagem prática para cursos de Engenharia e Administração**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MORO, M. F. et al. Gráficos de Controle para Monitoramento estatístico do processo de acondicionamento de embutido. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2016, João Pessoa. **Anais...**: ABEPRO, 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_227_325_29452.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2018.

MOURA, S. de.; COSTA, S. R. da.; REGINA, S. Estudo da utilização de materiais de referência nas análises de água por laboratórios envolvidos no sistema de acreditação. **Production**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 304-316, 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=396742036007>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods - Measurement Process Characterization**. Gaithersburg (Estados Unidos da América), 2012. Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

OLIVEIRA, A. F.; CUNHA, B. B.; ALVES, J. do P. Implantação de um SGQ e o desenvolvimento de um programa de proficiência para laboratórios de pré-medidos da RBMLQ-I. In: CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA RESAG ENQUALAB, 14., 2014, São Paulo. **Anais...**São Paulo: REMESP, 2014. Disponível em: <<http://www.resag.org.br/congressoresagenqualab2014/anais/trabalhos/arquivocompleto104.1413804130.pdf>>. Acesso em 24 abr. 2018.

POZZOBOM, E. P. **Aplicação do Controle Estatístico do Processo nos acervos da coleção teses e coletâneas da Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Maria/RS.** 2001. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

RAMOS, E. M. L. S.; ALMEIDA, S. dos S.; ARAÚJO, A. dos R. **Controle estatístico da qualidade.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

ROCHA et al. Estabilidade e índice de capacidade para processo de medição de perda de carga. In: II INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2014, Fortaleza/CE.

Anais... Fortaleza/CE, 2014. Disponível em:

<<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/221-ii-inovagri-2014/1962-ii-inovagri-2014-a504.html>>. Acesso em: 15 set. 2018.

SORDI, J. O. **Desenvolvimento de projeto de pesquisa.** 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

SOUZA, G. P.; FILHO, M. D.; SAMOBYL, R. W. Aplicação dos conceitos de Controle Estatístico de Processo (CEP) em uma indústria de fundição do Norte Catarinense. **Revista Produção Online**, Florianópolis, out. 2007. Disponível em:

<<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/73/74>>. Acesso em: 02 mai. 2018.

TÔRRES, A. R.; GRANGEIRO, S.; FRAGOSO, W. D. Multivariate control charts for monitoring captopril stability. **Microchemical Journal**, v. 118, p. 259-265, janeiro., 2015. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X14001507>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

TURUTA, T. B. **Aplicação de cartas de controle como ferramenta de melhoria frente às dificuldades operacionais de laboratórios acreditados na ABNT NBR ISO/IEC 17025.** 2015. 67 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.

VLACHOS, N. A.; MICHAIL, C.; SOTIROPOULOU, D. Is ISO/IEC 17025 accreditation a benefit or hindrance to testing laboratories? The greek experience. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 15, n. 6, p. 749- 757, 2002. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157502910975>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

WALTER, O. M. F. C.; HENNING, E.; CARDOSO, M. E.; SAMOBYL, R. W. Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico. **Gest. Prod.**, v. 20, n. 2, p. 271-286, 2013.

APÊNDICE A – TESTE DE NORMALIDADE PARA OS DADOS DA FASE I

Yokogawa –			
Analisador de energia	Anderson-Darling	Shapiro Wilk	Kolmogorov Smirnov
V1	< 0,005	< 0,010	< 0,010
V2	< 0,005	< 0,010	< 0,010
V3	< 0,005	< 0,010	< 0,010
I1	< 0,005	< 0,010	< 0,010
I2	< 0,005	< 0,010	< 0,010
I3	< 0,005	< 0,010	< 0,010

Fluke – Osciloscópio			
	Anderson-Darling	Shapiro Wilk	Kolmogorov Smirnov
V1	< 0,005	< 0,005	< 0,010
V2	< 0,005	< 0,010	< 0,010
V3	< 0,005	< 0,010	< 0,010
I1	0,153	< 0,010	0,072
I2	< 0,005	< 0,010	< 0,010
I3	< 0,005	< 0,010	< 0,010

Pipeta 07			
	Anderson-Darling	Shapiro Wilk	Kolmogorov Smirnov
1 mL	< 0,005	< 0,010	< 0,010
5 mL	< 0,005	< 0,010	< 0,010
10 mL	< 0,005	< 0,010	< 0,010

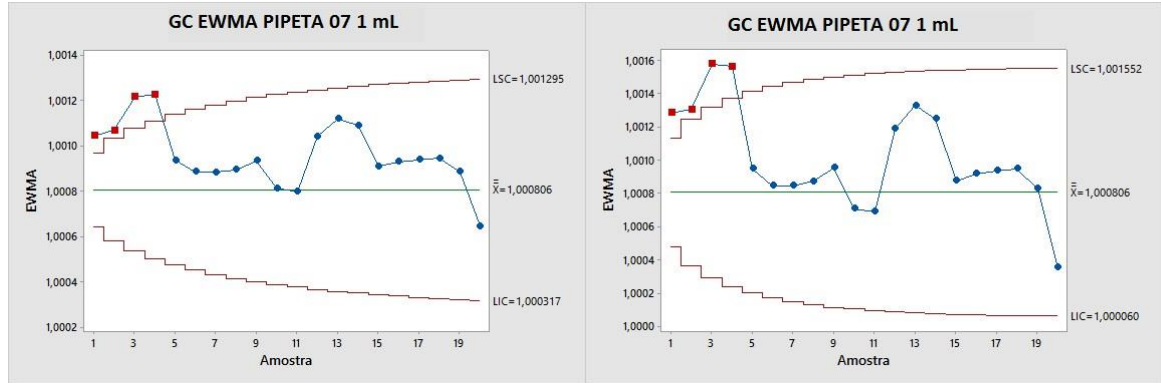
Pipeta 09			
	Anderson-Darling	Shapiro Wilk	Kolmogorov Smirnov
10 µL	< 0,005	< 0,010	< 0,010
50 µL	< 0,005	0,026	< 0,010
100 µL	< 0,005	0,069	< 0,010

Pipeta 19	Anderson-Darling	Shapiro Wilk	Kolmogorov Smirnov
2 μL	< 0,005	< 0,010	< 0,010
10 μL	< 0,005	0,054	< 0,010
20 μL	< 0,005	< 0,010	< 0,010

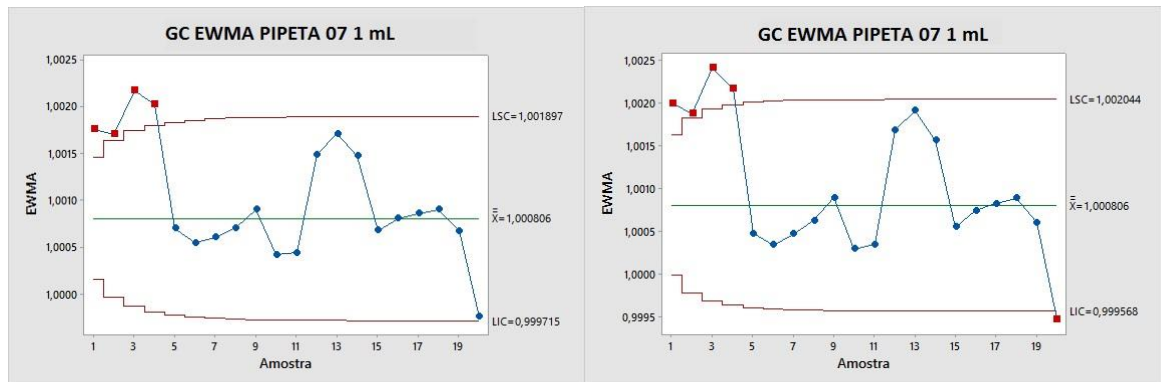
Micropipeta 07	Anderson-Darling	Shapiro Wilk	Kolmogorov Smirnov
10 μL	< 0,005	< 0,010	< 0,010
20 μL	< 0,005	< 0,010	0,021
40 μL	0,266	0,049	0,150
50 μL	0,039	< 0,010	0,11
80 μL	0,009	< 0,010	0,0047

APÊNDICE B – GC EWMA PARA AS PIPETAS 07, 09 E 19 COM OS TESTES DE λ

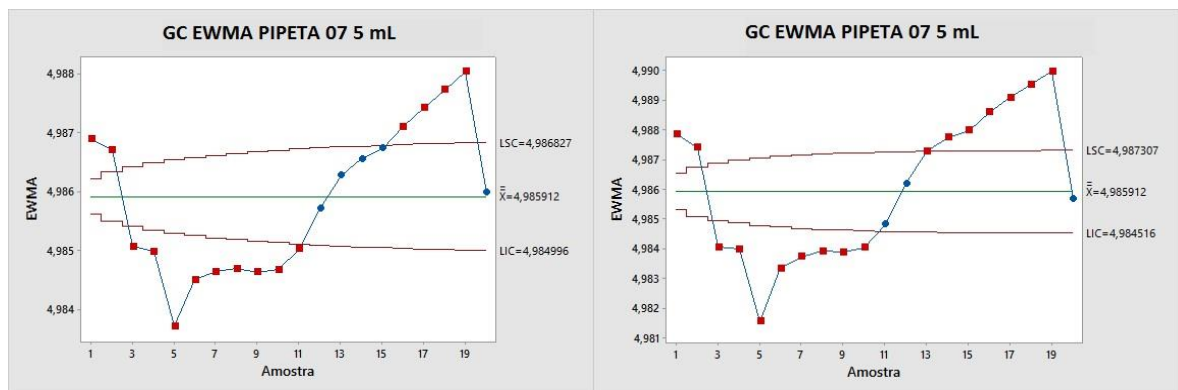
GC EWMA para 1 mL da pipeta 07 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



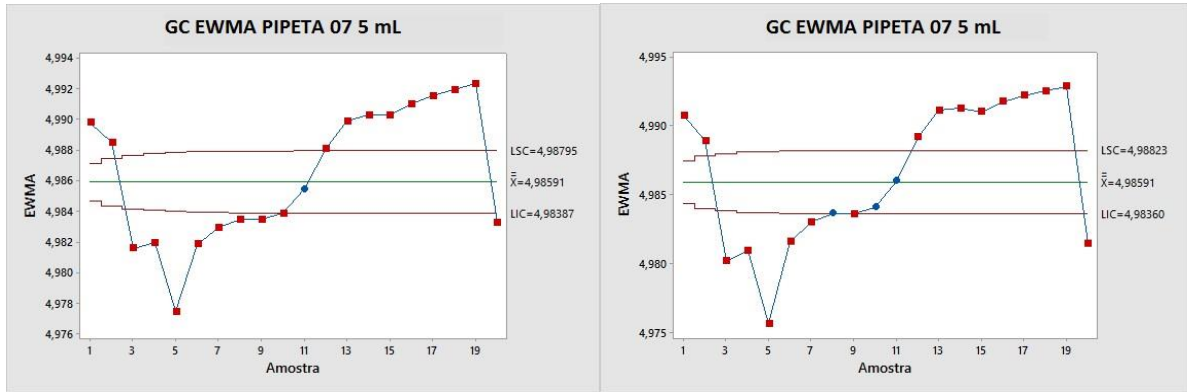
GC EWMA para 1 mL da pipeta 07 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



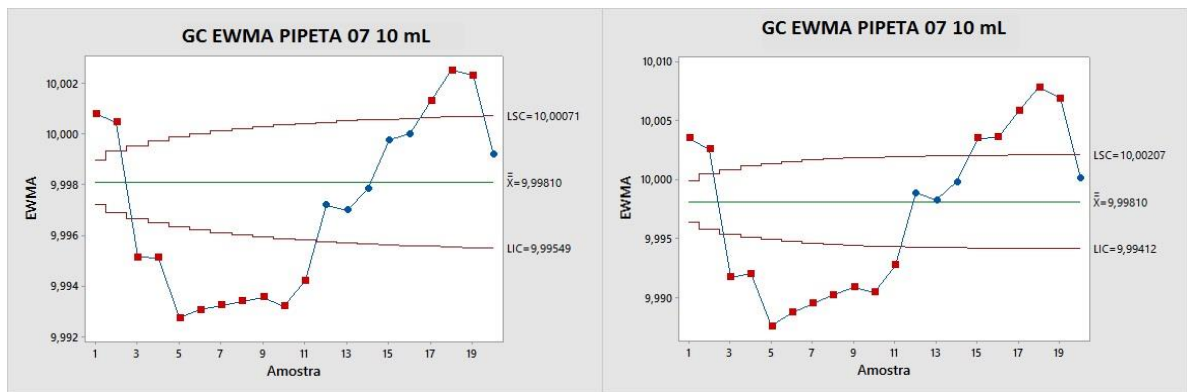
GC EWMA para 5 mL da pipeta 07 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



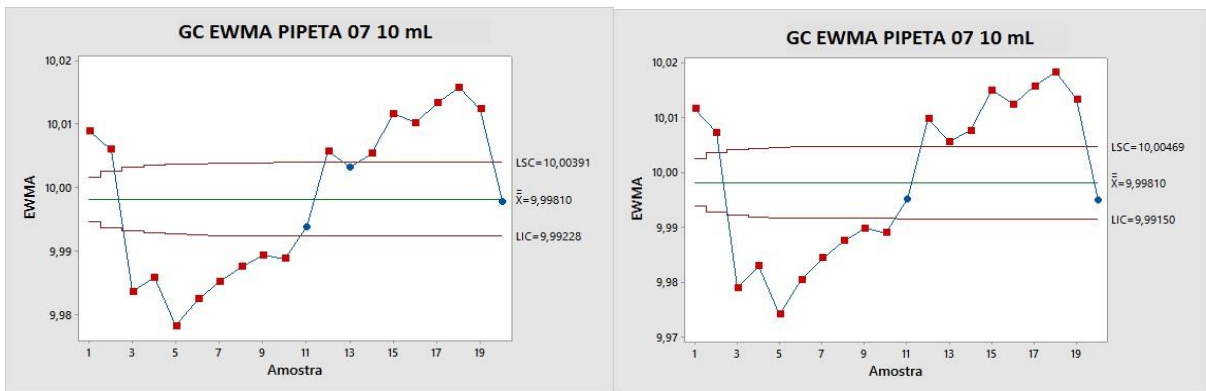
GC EWMA para 5 mL da pipeta 07 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



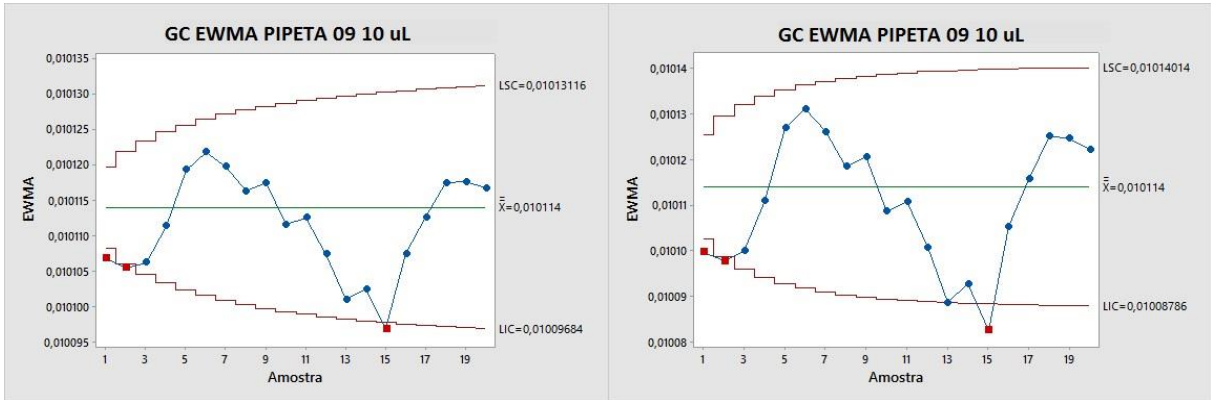
GC EWMA para 10 mL da pipeta 07 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



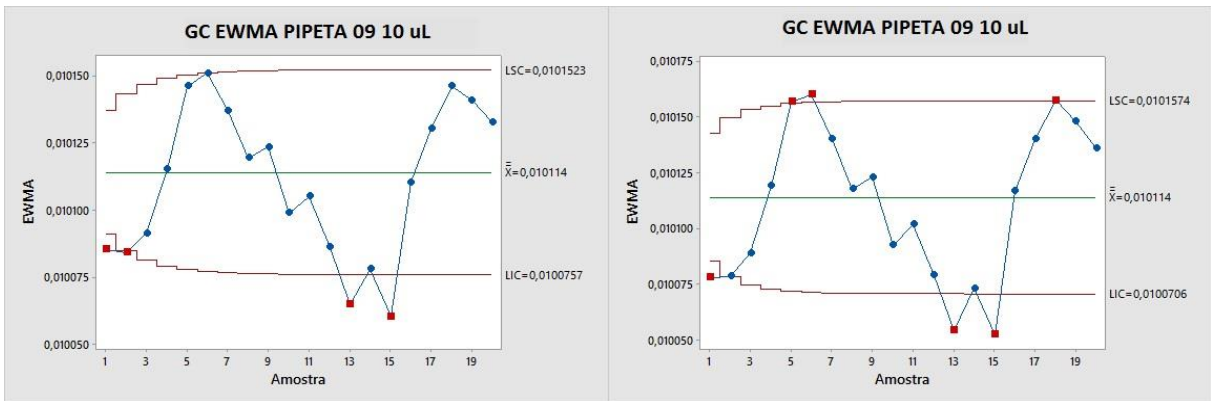
GC EWMA para 10 mL da pipeta 07 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



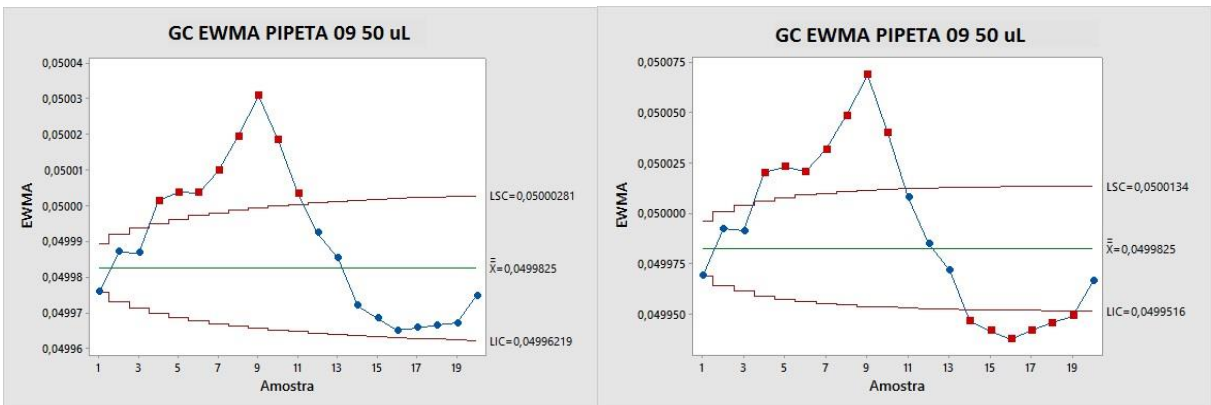
GC EWMA para 10 µL da pipeta 09 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



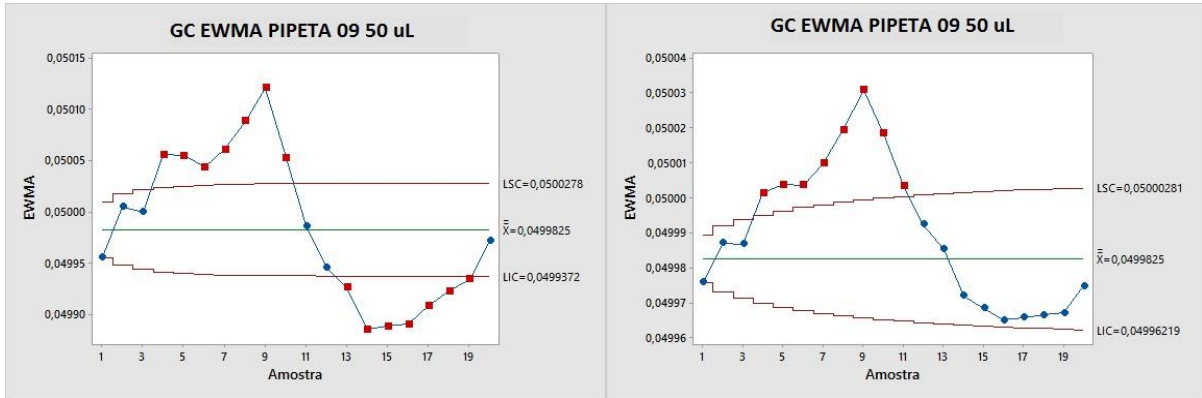
GC EWMA para 10 µL da pipeta 09 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



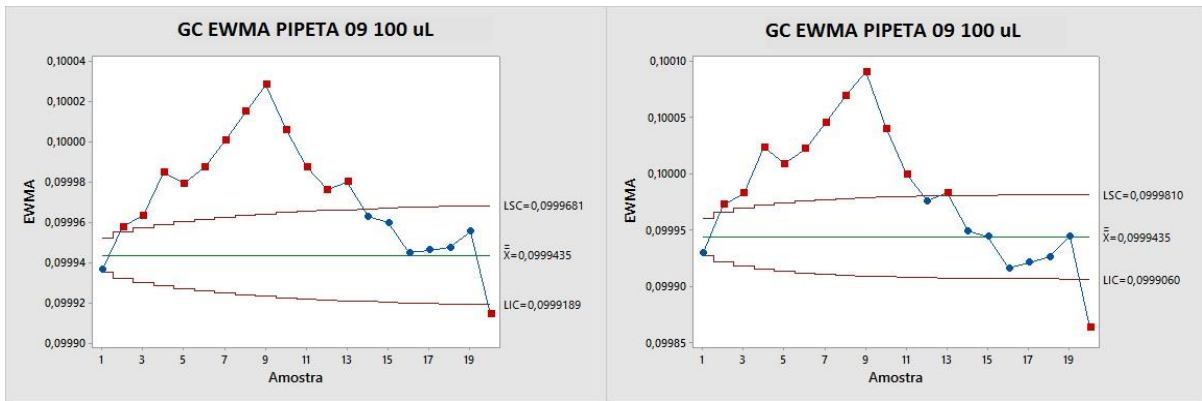
GC EWMA para 50 µL da pipeta 09 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



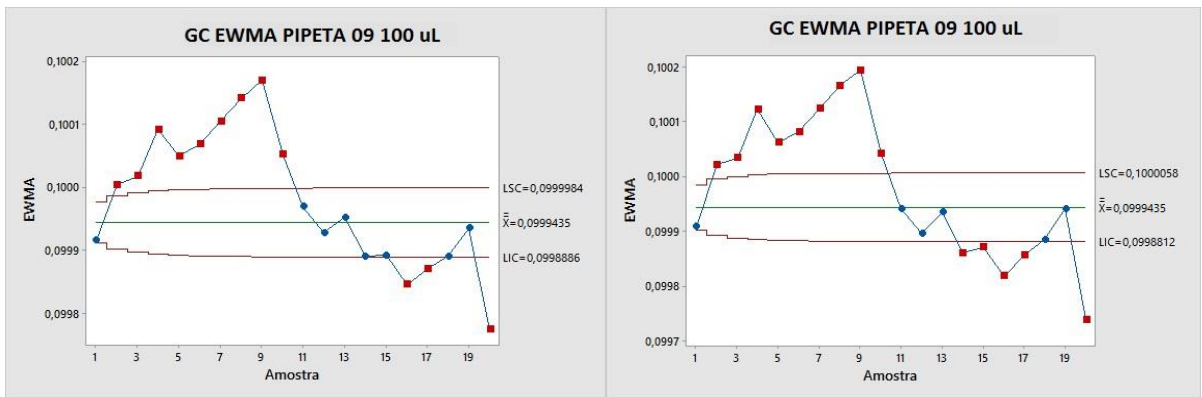
GC EWMA para 50 µL da pipeta 09 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



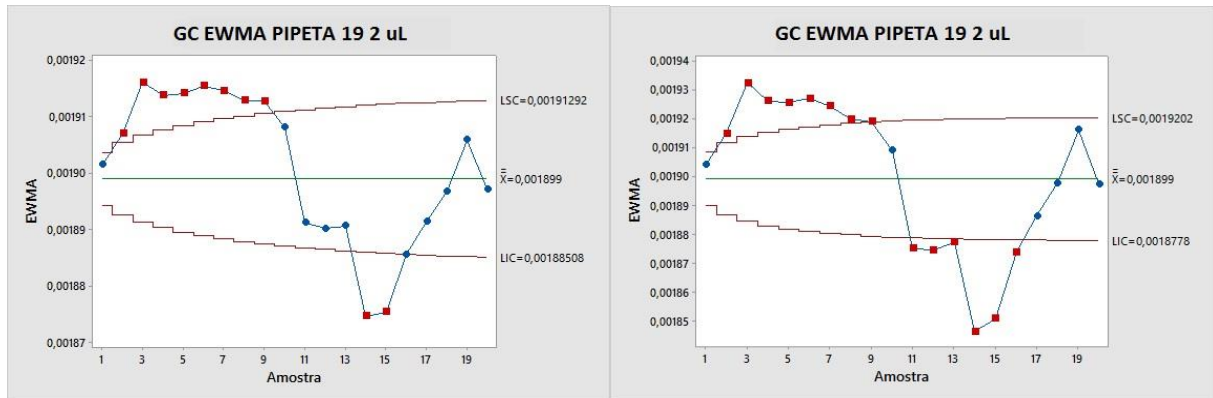
GC EWMA para 100 µL da pipeta 09 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



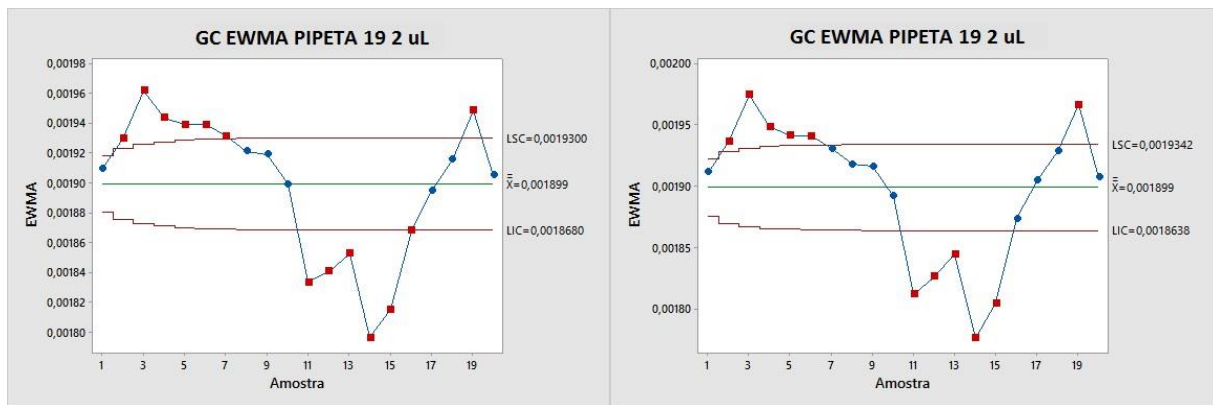
GC EWMA para 100 µL da pipeta 09 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



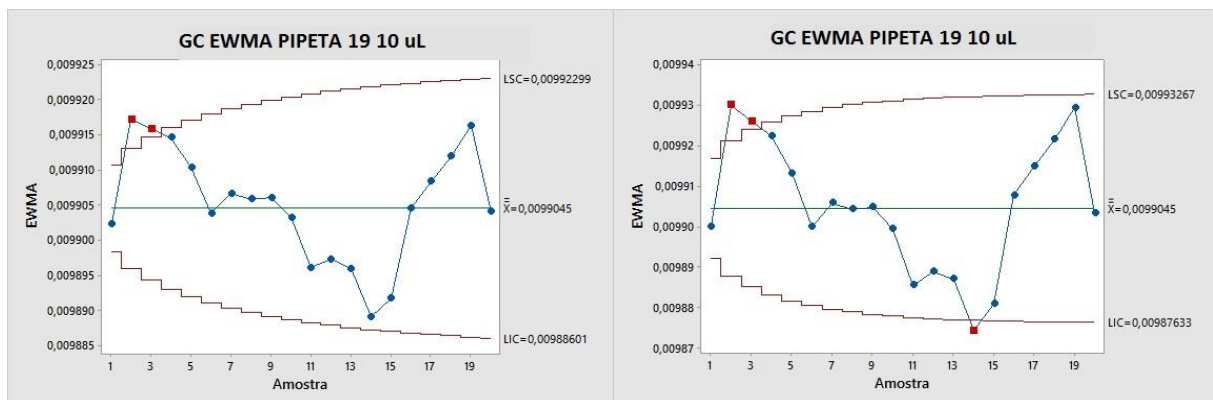
GC EWMA para 2 μL da pipeta 19 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



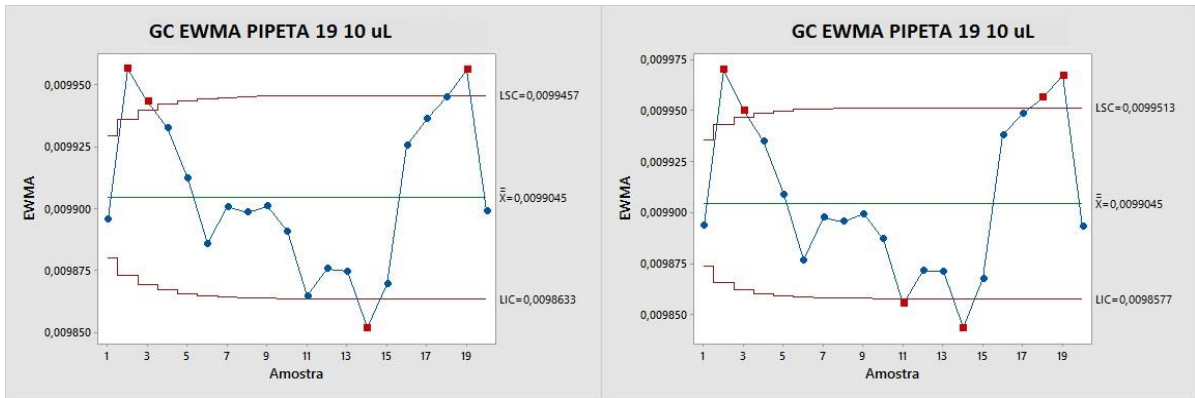
GC EWMA para 2 μL da pipeta 19 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



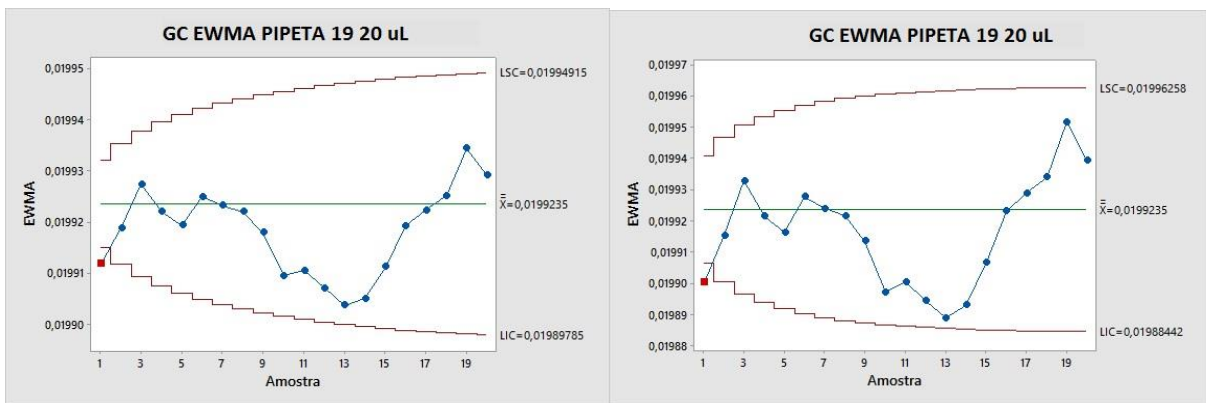
GC EWMA para 10 μL da pipeta 19 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



GC EWMA para 10 µL da pipeta 19 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$



GC EWMA para 20 µL da pipeta 19 com $\lambda = 0,05$ e $\lambda = 0,10$



GC EWMA para 20 µL da pipeta 19 com $\lambda = 0,20$ e $\lambda = 0,25$

