

ANÁLISE DE REPETITIVIDADE E REPRODUTIVIDADE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DETERGENTE E SABONETE LÍQUIDO EM UM LABORATÓRIO DE SANEANTES DA UFPB

Renata Rayane da Silva Santana¹
Karina da Silva Falcão²
Isabel Gonçalo Soares da Costa³
Lígia de Oliveira Franzosi Bessa⁴

INTRODUÇÃO

Um sistema de medição (SM) é formado pelo conjunto de procedimentos, operações, instrumentos de medição, programas computacionais além de pessoas, utilizados para contribuir com característica de qualidade. Quando se trata de um desempenho satisfatório de produtos ou processos um SM adequado e eficaz é importante. O SM sem eficácia acaba contribuindo com a redução do controle de melhorias da qualidade (MONTGOMERY, 2009).

Para medir as componentes de variação de uma análise do sistema de medição (MSA) é usado o estudo de Repetitividade e Reprodutividade do Instrumento de Medição (Gage Repeatability and Reproducibility – GR&R), o qual pretende determinar se esta variabilidade é relativamente menor que a do processo monitorado. Repetitividade é a variação nas medições obtidas com um instrumento de medição, quando usado diversas vezes por um avaliador que mede a mesma característica em uma mesma peça. Reprodutividade é tipicamente definida como a variação na média das medições feitas por diferentes avaliadores usando o mesmo instrumento de medição para medir a mesma característica em uma mesma peça (AIAG, 2010). Então, para que um produto saia em conformidade com os requisitos preestabelecidos, é necessário que além do monitoramento do processo produtivo se tenha uma atenção para o sistema de medição empregado, pois ao identificar os principais fatores que afetam a estabilidade do sistema de medição, é possível uma avaliação mais confiável das propriedades estatísticas do processo de fabricação. Se o desempenho do processo de medição é desconhecido, um fabricante pode ser exposto a suportar custos significativos, como

¹ Graduando do Curso de Química Industrial da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, renatasantana672@gmail.com;

² Graduando do Curso de Química Industrial da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, karinafalcao95@gmail.com;

³ Graduanda do Curso de Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - IFPB, costaisabel41@gmail.com;

⁴ Professora Doutora da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, ligiafranzosi@hotmail.com;

interrupções da produção, aumento de desperdícios dos materiais, reclamações dos clientes e retornos de garantia (HASSAN et. al2000; SENOL, 2004).

Entende-se por Produtos Saneantes Domissanitários e Afins, as substâncias ou preparações destinadas à higienização, desinfecção, desinfestação, desodorização, odorização, de ambientes domiciliares, coletivos e/ou públicos, para utilização por qualquer pessoa, para fins domésticos, para aplicação ou manipulação por pessoas ou entidades especializadas, para fins profissionais (ANVISA, 2001).

Diante disso, o principal objetivo deste estudo é identificar, analisar e reduzir as fontes de variação associadas ao processo de medição da viscosidade dos produtos saneantes fabricados no Laboratório Piloto de Química (LAPQ) que atende ao Campus 1 da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), além de analisar as variações de repetitividade e reprodutividade e assim propor melhorias para reduzir as fontes de variações associadas aos processos de medições. Desejou inspecionar os detergentes e sabonetes líquidos fabricados no LAPQ, para saber se eles possuem uma margem de variância significativa entre si e averiguar pelo SM as melhorias para os métodos de R&R.

Pelo sistema de medição pode-se verificar as possíveis causas de variação no sistema de medição dos produtos e assim corrigi-las para manter o padrão de qualidade do processo de controle. Através dos resultados obtidos foi possível observar alguns problemas de reprodutividade entre os operadores tanto para as amostras de sabonete líquido quanto para as de detergente, ou seja, há uma diferença dos resultados nas análises quando operadores diferentes mediram as mesmas amostras. Foram encontradas também, variações de repetitividade nos dois produtos, pois de acordo com o gráfico R chart verifica-se que os resultados obtidos ultrapassam os limites de aceitação. Acredita-se que isso se dar ao fato de não haver um treinamento específico dos operadores para manuseio do viscosímetro e, além disso, alguns produtos não possuem uma padronização em sua fabricação.

Portanto, a análise da repetitividade e reprodutividade no SM da viscosidade dos produtos saneantes em estudo é fundamental para diagnosticar problemas no processo de fabricação, seja no operador ou no produto.

METODOLOGIA

Esta pesquisa possui uma Abordagem Quantitativa, pois considera que opiniões e informações podem ser traduzidas em números e analisadas estatisticamente. Com base nos

objetivos foi então adotado o método experimental para o estudo, sendo realizado no Laboratório Piloto de Química (LAPQ) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) onde são fabricados os produtos saneantes das análises.

Diante disso, dos produtos fabricados no LAPQ foram escolhidos para o estudo 10 amostras diferentes de detergente e sabonete líquido. Para avaliação de reprodutividade, cada amostra foi analisada por três operadores distintos, que mensuraram suas viscosidades através de um viscosímetro rotativo. Dentre os três operadores, dois eram alunos e um era a técnica responsável pelo laboratório, ao longo da pesquisa todos os três operadores se mantiveram os mesmos assim como a ordem da medição de cada um. Em cada lote de produtos, cada um dos operadores mensurou a viscosidade três vezes da mesma amostra, ou seja, em 3 replicatas, a fim de analisar posteriormente a repetitividade entre as medições.

Em seguida, a partir dos dados obtidos e com o objetivo de analisar a variação do sistema de medição empregado, as medidas foram tratadas através do software Minitab 18 que por meio dos dados disponibiliza gráficos para serem interpretados a fim de facilitar a compreensão dos resultados em estudo.

DESENVOLVIMENTO

Sistema de Medição é o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, *software* e pessoal usado para atribuir um número à característica que está sendo medida; o processo completo usado para obter as medidas.

A execução de estudos de análise do sistema de medição (MSA) consiste na aplicação de técnicas estatísticas que têm por objetivo descreverem o tamanho e os tipos de variações dos resultados gerados por um Sistema de Medição, quando este é posto em operação em suas condições reais de trabalho. As técnicas estatísticas utilizadas para descreverem a variação do Sistema de Medição estão divididas em estudos de localização (Tendência, Linearidade e Estabilidade) e dispersão amostral (Repetitividade e Reprodutividade). Os estudos de MSA fornecem dados com dois objetivos básicos: o primeiro é conhecer as fontes de variação (operador, instrumento de medição, temperatura etc.) que têm maior influência nos resultados gerados pelo Sistema de Medição; o segundo objetivo é verificar se o Sistema de Medição possui propriedades estatísticas compatíveis com as especificações do mensurando (AIAG, 2010; HAJIPOUR, 2013; LIMA et al., 2010; MENEZES, 2013).

O Sistema de Medição de Repetitividade e Reprodutividade - *Gage Repeatability and Reproducibility* (GR&R), determina se a variabilidade do sistema de medição é relativamente menor que a variabilidade do processo monitorado.

O GR&R ajuda a selecionar um Sistema de Medição - *Measurement System* (MS) adequado para uma dada análise com base na magnitude da variação contribuída por um dado MS. Um estudo GR&R quantifica três coisas (SENL, 2004; NEILL, 2010; DESHPANDE ET AL., 2014; PERUCHI, 2011):

- Repetitividade do Medidor (R) ou variação do instrumento (EV): é a variação obtida de um instrumento e um operador ao medir a mesma amostra várias vezes.
- Reprodutividade (R) ou variação dos operadores que usam o instrumento (AV): pode ser definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento, enquanto medindo uma mesma característica, sob as mesmas condições ambientais.
- Repetibilidade e Reprodutividade Total do Medidor (GR&R): é a soma vetorial de EV e AV

Segundo (NEILL, 2010; DESHPANDE *et al.*, 2014), a variação do Sistema de Medição - *Measurement System* (MS) na equação 1 consiste na variação devida ao operador/avaliador (AV) e a variação devida ao equipamento (EV), conforme mostrado na equação 2 e 3.

$$\text{Variação Total (TV)} = \text{variação do processo (PV)} + \text{variação do MS (GR\&R)}$$

Equação 1

$$\sigma_{VT}^2 = \sigma_{PV}^2 + \sigma_{GR\&R}^2$$

Equação 2

$$\sigma_{GR\&R}^2 = \sigma_{AV}^2 = \sigma_{EV}^2$$

Equação 3

A variação do MS na equação 1 é a determinação do GR&R, que consiste na variação devida ao operador / avaliador (AV) e a variação devida ao equipamento (EV), conforme mostrado no equação 2 e 3.

Se a variação do MS é conhecida, pode-se calcular a variação real do processo. Isso permite que os pesquisadores trabalhem no desenvolvimento do processo de forma eficaz.

Em muitos casos, a estimativa da incerteza de medição usará métodos de MSA e GR&R para quantificar os erros padrão significantes (AIAG, 2010). A principal diferença entre incerteza e MSA é que MSA foca em entender o processo de medição, determinando a quantidade de erro no processo e avalia a adequação do sistema de medição para o controle do produto ou processo. MSA fornece entendimento e melhoria (redução da variação). Incerteza é a amplitude de valores medidos, definidos por um intervalo de confiança, associado com um resultado medido e espera-se incluir o valor verdadeiro da medição (PERUCHI, 2011).

A AIAG (2010) afirma que embora as causas específicas dependam da situação, algumas fontes de variação típicas podem ser identificadas. Existem diversos métodos de apresentação e categorização dessas fontes de variação, tais como: diagrama de causa e efeito, diagrama da árvore de falhas, etc. Os principais elementos de um sistema de medição genérico para garantir que os objetivos requeridos sejam atendidos são: padrão, peça, instrumento, pessoas/procedimentos e ambiente de trabalho.

Segundo (PERUCHI, 2011), como o desempenho de processo, o desempenho do sistema de medição é a rede de efeitos de todas as fontes determináveis e significantes de variação ao longo do tempo.

Para situações de “controle de produto” em que o resultado da medição resulta na decisão para produtos conformes e não conformes, por meio de inspeção 100% ou amostragem, a especificação da tolerância deve ser considerada. Neste caso, o GR&R será direcionado para avaliar a tolerância especificada para o produto, logo, não deverá cobrir toda a amplitude do processo.

Para situações de “controle de processo” em que o resultado da medição resulta em decisões a respeito de “estabilidade de processo, entendimento da variação natural do processo” (ou seja, monitoramento de processo, capacidade e melhoria de processo), a viabilidade de amostras para toda a amplitude de operação torna-se muito importante.

Em projetos de melhoria da qualidade são utilizadas técnicas de controle para diminuir o número de defeitos (SENOL, 2004). Os estudos que envolvem o “erro zero” nos processos de fabricação estão focados em reduzir variabilidade. Quando o processo não é capaz, ações de melhoria devem ser empregadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este estudo foi adaptada à metodologia de Pereira (2016) que mostra o caminho que deve ser seguido para realização de um estudo R&R e sua interpretação, através dos resultados obtidos pelo Minitab 18.

As sequências a serem seguidas para facilitar a compreensão e interpretação das tomadas de decisões no estudo de caso para o SM foram:

- Decidir se o SM é aceitável, marginal ou inaceitável através do índice %R&R:
Aceitável, quando o índice %R&R for inferior a 1% e não precisará realizar novas análises;
Marginal, quando índice %R&R estiver entre $1\% < R\&R < 9\%$ e por isso será necessário acrescentar outros gráficos para detectar problemas, como mostrado nas sequências adiante;
Inaceitável, se o índice %R&R detectar uma porcentagem maior que 9%, tendo que passar por novas análises e assim ser melhorado;
- Pelos dados da ANOVA analisar o *p-value* das peças se $<$ ou $>$ 0,05:
P-value $<$ 0,05 significa que as peças escolhidas foram diferentes e representam a amplitude do processo de fabricação, seguir e analisar o *p-value* dos operadores.
P-value das peças $>$ 0,05 será necessário fazer um novo experimento com novas peças;
- Pelos dados da ANOVA analisar o *p-value* dos operadores se $<$ ou $>$ 0,05:
P-value $<$ 0,05 deve-se afirmar que existe problema de reprodutibilidade entre os operadores. Por isto, será necessário analisar o gráfico de média dos operadores. Seguir e analisar o *p-value* peça*operador. *P-value* $>$ 0,05 analisa-se interação peça*operador;
- Pelos dados da ANOVA analisar o *p-value* da interação peça*operador se $<$ ou $>$ 0,05:
P-value $<$ 0,05 confirma-se que existem problemas de reprodutibilidade, analisa-se o gráfico de interação peça*operador, que identificará possíveis causas de variação e posteriormente analisa-se o gráfico R Chart, finalizando as análises.
P-value $>$ 0,05 analisa-se o gráfico R Chart, que identificará problemas de repetitividade, finalizando as análises.

Foram analisadas a viscosidade de dez amostras de detergentes e dez amostras de sabonete líquido, de lotes diferentes por meio de um viscosímetro rotativo, cada lote foi analisado por três operadores distintos sendo o operador 1 e 3 alunos de graduação e o operador 2 a técnica responsável do laboratório que servirá de referência. Cada amostra foi analisada em três replicatas por cada operador.

Através da Tab. 1 é possível identificar que a variação do sistema de medição para as amostras de detergente é 1,74% da variação total, ou seja, o sistema de medição é classificado

como marginal, sendo assim, possui potencial de melhoria. Os erros de repetitividade (0,04%) e de reprodutividade (1,70%) são classificados como aceitável e marginal respectivamente.

Tabela 1 – Componente de variância do detergente no estudo de GR&R

Tipo	Variância	%Contribuição
Total Gage R&R	43,32	1,74
Repetitividade	1,06	0,04
Reprodutividade	42,26	1,70
Operadores	11,66	0,47
Operadores*peças	30,60	1,23
Variação do processo de fabricação	2439,88	98,26
Variação total	2483,20	100

Fonte: Autoria própria

Referente às amostras do sabonete líquido, o índice de classificação do sistema de medição é aceitável (0,54%), ou seja, $< 1\%$. Os erros de repetitividade e reprodutividade também são considerados aceitáveis, com índices de 0,14% e 0,40%, respectivamente. Os erros referentes à média geral de operadores (0%) e interação operador e peça (0,40%) são classificados também como aceitáveis. Tais resultados seguem na Tabela 2.

Tabela 2 – Componente de variância do sabonete líquido no estudo de GR&R

Tipo	Variância	%Contribuição
Total Gage R&R	571	0,54
Repetitividade	150	0,14
Reprodutividade	421	0,40
Operadores	0	0,00
Operadores*peças	421	0,40
Variação do processo de fabricação	104809	99,46
Variação total	105380	100

Fonte: Autoria própria

Os dados agora serão tratados através da ANOVA, foi analisado o p-value das amostras de detergente e o resultado obtido foi 0,0 ou seja $< 0,05$ como observado na tabela 4. Então, as peças escolhidas foram diferentes e representam a amplitude do processo de fabricação. Com isto, deve-se seguir e analisar o p-value dos operadores, ainda na Tab. 3, a análise do p-value dos operadores foi de $0,022 < 0,05$ comprovando que existe problema de reprodutividade entre os operadores.

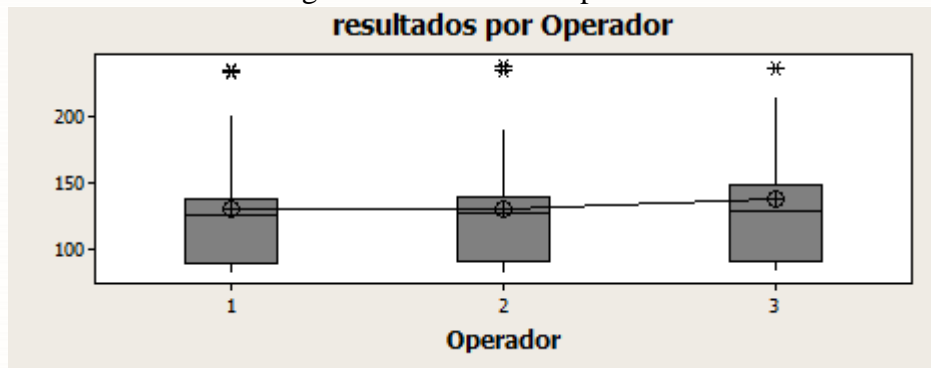
Tabela 3 – ANOVA amostras detergente

Tipo	DF	SS	MS	F	P
Peças/produto	9	198466	22051,8	237,501	0,000
Operador	2	885	442,7	4,768	0,022
Peça/produto * operador	18	1671	92,8	87,273	0,000
Repetitividade	60	64	1,1		
Total	89	201087			

Fonte: Autoria própria

Analisando a fig. 1 que mostra a média dos operadores é possível observar uma discrepância do operador 3 em relação aos demais.

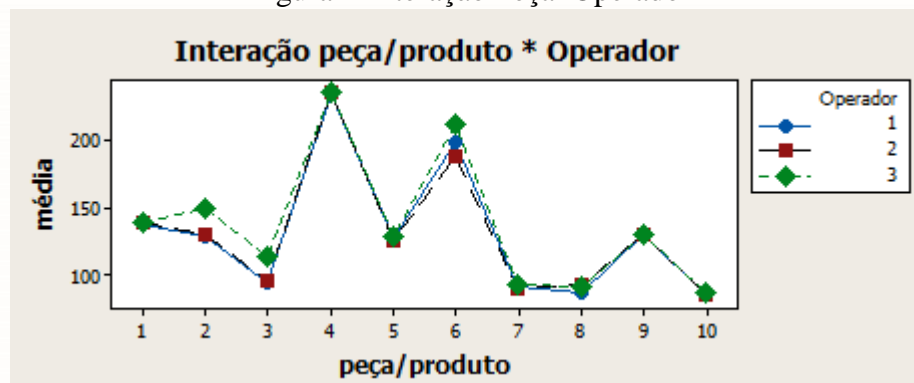
Figura 1 - Médias dos operador



Fonte: Autoria própria

Ainda analisando as amostras de detergente observa-se que existem problemas de reprodutividade na interação peça*operador, pois o p-value é 0,00 de acordo com a tabela 4. Desta forma, as causas especiais de variação desse parâmetro destacam-se na Fig. 2 quais sejam no operador 3 medindo as peças 2, 3 e 6.

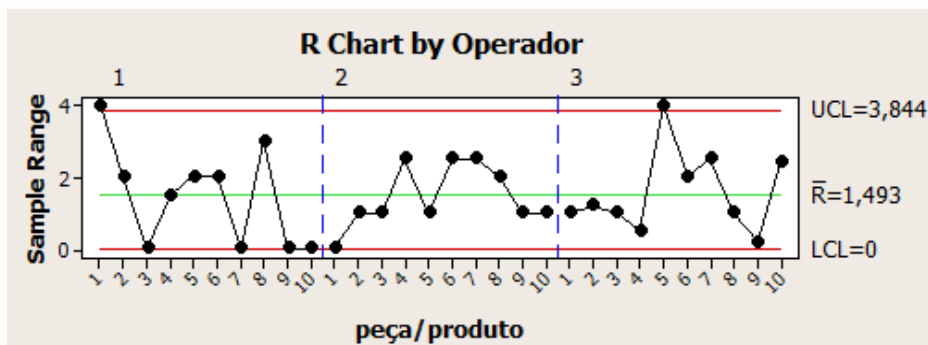
Figura 2-Interação Peça*Operador



Fonte: Autoria própria

Analisando o R Chart na Fig. 3, foram encontradas causas de variação em repetitividade, pois no operador 1 peça 1 e operador 3 peça 5 os valores ultrapassam os limites de aceitação.

Figura 3 – Gráfico R chart



Fonte: Autoria própria

Os resultados tratados pelo método ANOVA das amostras de sabonete líquido se encontram na tabela 5, foi analisado o p-value e o resultado obtido foi 0,0 ou seja $< 0,05$ significando que as peças escolhidas foram diferentes e representam a amplitude do processo de fabricação. Em seguida, analisando o p-value dos operadores foi obtido um resultado de $0,796 > 0,05$ então há a possibilidade de existir um problema de reprodutividade entre os operadores, é necessário com isso se atentar ao resultado do p-value entre peça*operador que foi de $0,00 < 0,05$ então, confirma-se que existem problemas de reprodutibilidade.

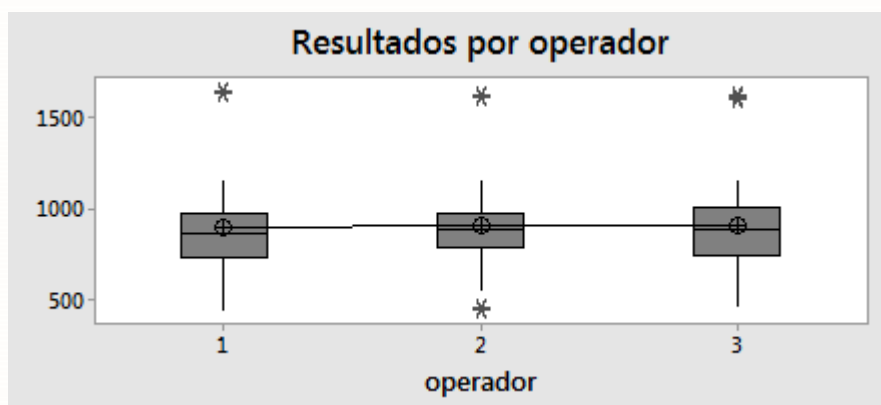
Tabela 5- ANOVA amostras sabonete líquido

Tipo	DF	SS	MS	F	P
Peças/produto	9	8502219	944691	668,841	0,000
Operador	2	653	326	0,231	0,796
Peça/produto * operador	18	25424	1412	9,390	0,000
Repetitividade	60	9025	150		
Total	89	8537321			

Fonte: Autoria própria

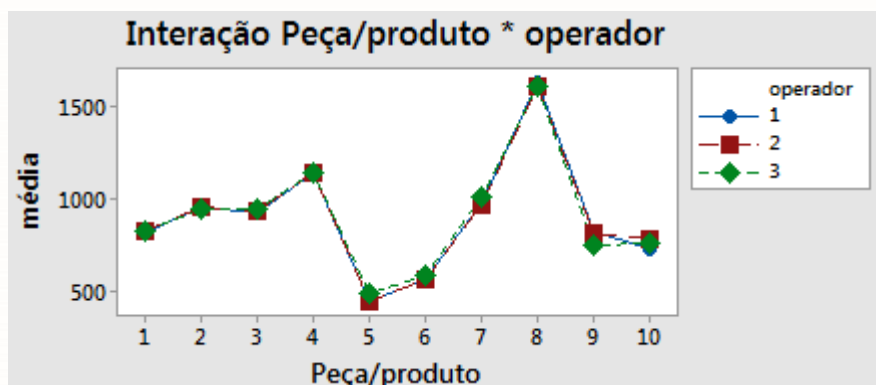
Através da Fig. 4 é possível observar uma diferença entre os operadores 1 e 3 em relação ao 2. A Fig. 5 mostra mais detalhadamente essa diferença de medição, nota-se uma pequena diferença na medição do operador 3 com as peças 6 e 9.

Figura 4 – medida dos operadores



Fonte: Autoria própria

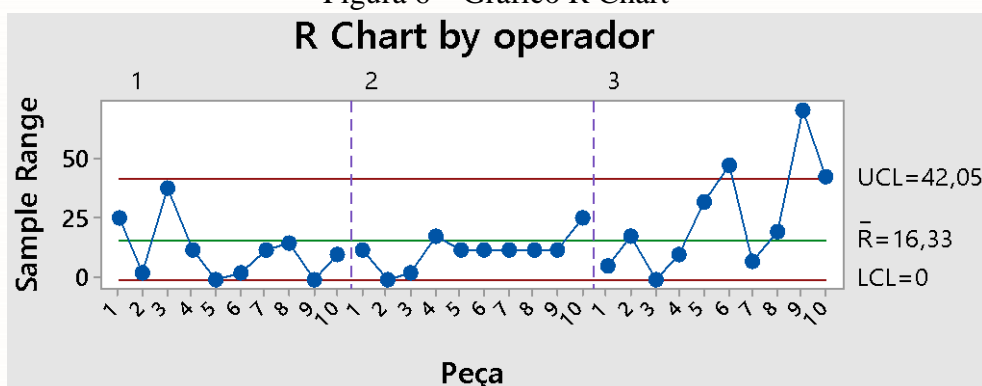
Figura 5 – Interação peça*operador



Fonte: Autoria própria

Para finalizar, analisa-se o gráfico R Chart das amostras de sabonete líquido na Fig. 6, que identifica problemas de repetitividade, através dele nota-se que o operador 1 ultrapassa os limites de aceitação inferior com as peças 5 e 9, o operador 2 também ultrapassa o limite inferior com a peça 2 e já o operador 3 ultrapassa os limites superiores de aceitação com as peças 6 e 9 confirmando o problema de repetitividade.

Figura 6 – Gráfico R Chart



Fonte: Autoria própria

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abordou a análise do sistema de medição por meio da análise de repetitividade e reprodutibilidade do processo de medição da viscosidade de 10 amostras de lotes diferentes de detergente e sabonete líquido, utilizando como instrumento um viscosímetro rotativo. Através, do estudo foi possível observar que houve problemas de reprodutibilidade entre os operadores tanto para as amostras de sabonete líquido quanto para as de detergente, ou seja, há uma diferença dos resultados nas análises quando operadores diferentes mediram as mesmas amostras, é visto por meio dos gráficos que o operador 2 que é

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

a técnica se saiu melhor nas análises, esses problemas podem gerar um impacto tanto para o laboratório quanto para os produtos, pois operadores sem treinamento prévio podem pré julgar amostras através de medições não corretas, ou seja, os padrões de controle não serão identificados de forma adequada pelos operadores.

Além disso, no gráfico de R-chart que visualiza as causas especiais de variação em repetitividade, foram encontradas tais variações nos dois produtos, no detergente, com o operador 1 peça 1 e operador 3 peça 5, pois estes ultrapassam os limites superiores de aceitação e no sabonete líquido com o operador 1 que ultrapassa os limites de aceitação inferior com as peças 5 e 9, o operador 2 que também ultrapassa o limite inferior com a peça 2 e já o operador 3 que ultrapassa os limites superiores de aceitação com as peças 6 e 9.

Portanto, através destes resultados é necessário que o técnico e/ou coordenador do laboratório adote algumas medidas para diminuir esses erros como, capacitação dos alunos, elaboração de procedimentos padrão para o processo de medição, calibração periódica do equipamento usado, entre outras.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução RDC nº 184, de 22 de outubro de 2001. *Dispõe sobre registro de produtos saneantes domissanitários e afins, de uso domiciliar, institucional e profissional, e dá outras providências*. Publicada em D.O.U. de 23/10/01.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). *Measurement systems analysis Reference Manual*. 4 ed. Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force, 2010.

DESHPANDE, A. A. *et al.* (2014) “Applications of gage reproducibility & repeatability (GRR): Understanding and quantifying the effect of variations from different sources on a robust process development”, *Organic Process Research and Development*, 18(12), p. 1614–1621. doi: 10.1021/op5002935.

GIL, A. C. Como planejar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 175 p.

HAIPOUR, V., Kazemi, A. e Mousavi, S. M. (2013) “A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis”, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. Elsevier Ltd, 46(8), p. 2770–2780. doi: 10.1016/j.measurement.2013.

HASSAN, A., ShariffNabiBaksh, M. and Shaharoun, A. M. (2000) ‘Issues in quality engineering research’, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(8), pp. 858–875. doi: 10.1108/02656710010325093.

LIMA, T. J.; Faustino, Tatiane, Barbosa, Levy. Measurement Systems Analysis (MSA): garantindo a consistência dos controles nos processos de fabricação, *Revista Banas Qualidade*, junho, 2010

MENEZES, Felipe Morais. MSA Análise dos Sistemas de Medição: ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Porto Alegre, 2013.

MONTGOMERY, D. C. (2009). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons (New York).

NEILL, B. O. (2010) “in Rockwell Hardness Testers”, (December), p. 33–35.

SENOL, S. (2004) ‘Measurement system analysis using designed experiments with minimum $\alpha - \beta$ risks and n' ’, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 36(2), pp. 131–141. doi: 10.1016/j.measurement. 2004.

PEREIRA, R.B.D. Combining Scott-Knott and GR&R methods to identify special causes of variation. *Journal of Measurement*, v. 82, p. 135–144, 2016.

PERUCHI, R.S. (2011) Método dos Componentes Principais Ponderados Aplicado em Avaliação de Sistemas de Medição com Grandezas Correlacionadas. 2011. 94f. Dissertação (Ciências Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG.