



SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO E MELHORIA NOS ENSAIOS DE COMBUSTÍVEIS

Washington Luiz da Silva Martins¹, Gustavo Daniel Donatelli²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IF-SC), Santa Catarina, Brasil, wluizmartins@ig.com.br

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina, Brasil, donatelli@labmetro.ufsc.br

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo principal, mostrar o desenvolvimento de uma sistemática de avaliação da incerteza de medição e melhoria nos ensaios de combustíveis. Diante disso, relatam-se: o panorama metroológico dos ensaios de combustíveis no Brasil, elementos para desenvolver a sistemática (normas, guias, ferramentas da qualidade e ciclo PDCA – Planejamento, Execução, Checagem e Ação), a sistemática propriamente dita e o processo de escolha de dois ensaios para aplicação. Num próximo trabalho, pretende-se apresentar a operacionalização da sistemática nos ensaios selecionados.

Palavras-Chaves: metrologia, incerteza de medição, ensaios de combustíveis.

1. INTRODUÇÃO

O brasileiro está cada vez mais preocupado com a qualidade do combustível consumido. Dessa forma, surgem pesquisas de várias universidades, com o objetivo de avaliar os diversos ensaios que são realizados neste setor.

Pesquisas mostram o consumo brasileiro de combustível automotivo, no ano de 2000, totalizou quase trinta e cinco milhões de metros cúbicos [1].

O processo de fabricação e comercialização desses combustíveis não é ideal. Isso poderá fazer com que o consumidor final receba, muitas vezes, combustíveis cujas propriedades se afastam de forma inaceitável daquelas especificadas pelas normas nacionais.

Para que isso não ocorra, faz-se necessário, que na produção, distribuição e comercialização sejam realizadas ações de controle, melhoria no processo e avaliações de conformidade de produto, no âmbito de um sistema eficiente de garantia da qualidade.

Essas ações precisam se basear em dados confiáveis, ou seja, dados que descrevam a característica sob estudo com uma exatidão suficiente, para que as decisões que são tomadas com base nelas sejam corretas a todos os efeitos práticos.

A abrangência da Metrologia, como uma das variáveis que afetam na qualidade do produto, é comprovada pela necessidade de medições nas diversas etapas dos processos, com o objetivo de verificar se as grandezas funcionais dos produtos estão de acordo com as especificações. “A metrologia exerce um papel coadjuvante dentro do sistema de garantia da qualidade, dando suporte a todas as avaliações da qualidade dos produtos e dos processos, desde

as fases de projeto e desenvolvimento, até a fase de rotina de produção”.

Neste contexto, o objetivo da metrologia é justamente estabelecer as condições para que dados confiáveis possam ser obtidos de forma técnica e economicamente eficiente.

Este trabalho trata dos aspectos metroológicos dos ensaios para avaliação de conformidade de combustíveis, com foco na proteção do consumidor, no sentido de não ser lesado.

A proteção do consumidor tem sido tema de tratamento freqüente na mídia, exigindo respostas por parte das indústrias, dos órgãos de regulamentação e fiscalização.

Nessa linha de raciocínio, deverá está sendo consolidada no Brasil, uma estrutura de laboratórios de ensaios de combustíveis, que deverá responder as mais altas exigências metroológicas internacionais.

Assegurar qualidade, comprovar eficiência, demonstrar a exatidão de resultados de medições são atitudes fundamentais cobradas nas atividades diárias dos laboratórios de ensaios [2].

Para dar suporte a esses laboratórios no que se refere à melhoria das práticas metroológicas, foi criado um programa de assistência técnica, denominado CAT-RN-LEC, direcionado aos laboratórios de Universidades e Institutos de Pesquisas, contratados pela ANP para executar atividades de ensaios de combustíveis [3].

O objetivo desse programa é conseguir que os resultados emitidos por esses laboratórios estejam em consonância com os mais exigentes requisitos metroológicos internacionais.

Entre essas exigências, a principal é a que diz respeito a rastreabilidade dos resultados de ensaios. Sem rastreabilidade não pode existir avaliação de conformidade, nem comparabilidade de resultados emitidos por distintos laboratórios. Para que a rastreabilidade seja significativa, é necessário quantificar a incerteza de medição com referência aos padrões nacionais ou internacionais, gerando continuamente dados para demonstrarem que o processo de medição está sob controle estatístico [4].

Essa tarefa, aparentemente é mais fácil quando utilizada na abordagem física. Porém, numa abordagem química (ensaios de combustíveis) se torna difícil, tendo que se justificarem conceitos complexos de serem aplicados às medições que estão sendo realizadas [5].

Assim, para atestar a qualidade dos combustíveis, pode-se verificar, por meio de medições, se algumas variáveis previamente definidas estão de acordo com as especificações de conformidade do produto.

Diante disso, o presente trabalho tem o objetivo de mostrar o desenvolvimento de uma sistemática de avaliação da incerteza de medição e melhoria nos ensaios de combustíveis, fazendo uso de alguns elementos (normas, guias, ferramentas da qualidade e ciclo PDCA – Planejamento, Execução, Checagem e Ação).

Na sequência é apresentada a escolha de dois ensaios para a aplicação, sendo que alguns resultados alcançados são comentados na conclusão.

2. ELEMENTOS PARA DESENVOLVER A SISTEMÁTICA

Neste tópico são apresentadas as normas, guias, ferramentas da qualidade, o uso do ciclo PDCA para o gerenciamento da proposta de trabalho.

Com relação às normas, além de se trabalhar com diversas, específica da área de combustíveis, tratou-se da NBR ISO / IEC 17025 “Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração” [6], que é considerada de uma maneira mais abrangente, visando à garantia da qualidade dos laboratórios de ensaios.

Os guias utilizados são o ISO GUM [7] [8], que é um guia internacional para a expressão da incerteza de medição e o EURACHEM [9] que, também, é um guia internacional preparado à luz da experiência prática de estimativa de incerteza em laboratórios químicos e principalmente da consciência da necessidade da inclusão de procedimentos formais de garantia da qualidade pelos laboratórios.

São utilizadas, ainda, as ferramentas da qualidade como: fluxograma, diagrama de causa e efeito, lista de verificação, diagrama de Pareto, diagrama de dispersão e principalmente o uso de carta de controle (CEP), que consiste em métodos para entendimento, monitoramento, e melhoria de desempenho de processos no decorrer do tempo [10] [11].

Para gerenciar toda a proposta de trabalho é usado o ciclo PDCA, que é um eficiente modo de induzir melhoria no processo, padronizar as informações do controle da qualidade, evitar erros lógicos nas análises e tornar as informações mais fáceis de entender. Este ciclo está composto em quatro fases: Planejar, Executar, Checar e Atuar [12].

2.1. Norma para garantia da qualidade em laboratórios de ensaios (NBR ISO / IEC 17025)

A Norma NBR ISO/IEC 17025 "Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração" foi concebida para substituir o ISO / IEC Guia 25 e a norma EN 45001 [13].

Esta norma está dividida em dois requisitos: gerenciais e técnicos [6] [13] [14].

Quanto aos requisitos técnicos, a norma não altera significativamente a rotina do laboratório de ensaio, porém introduz uma exigência clara da necessidade do cálculo da incerteza de medição para ensaios (item 5.4.6.2 da norma), ou pelo menos que o laboratório tente identificar as componentes de incerteza e fazer uma estimativa razoável, baseada no conhecimento do desempenho do método utilizando dados de validações anteriores, experiência, etc [13].

Portanto, após analisar a norma NBR ISO/IEC 17025, é destacado o item 5.4.6 “Estimativa da Incerteza de Medição”, como o foco de atenção deste trabalho [6] [14].

2.2 Guias para avaliação da incerteza de medição

2.2.1 Guia ISO GUM

Este guia estabelece regras gerais para avaliar e expressar a incerteza de medição que podem ser seguidas em vários níveis de exatidão e em muitos campos, desde o chão de fábrica até a pesquisa fundamental [7] [8].

2.2.2 Guia EURACHEM

Este guia estabelece regras gerais para avaliar a incerteza de medição na área química [9] e está subdividido em 5 etapas [9]:

Etapa 1 - Especificação do mensurando: - O objetivo desta primeira etapa é escrever um relato claro do que está sendo medido. Esta especificação inclui uma descrição do procedimento de medição e a relação matemática entre o mensurando e os parâmetros dos quais ele depende.

Etapa 2 - Identificação e análise das fontes de incertezas: - O objetivo desta segunda etapa é enumerar todas as fontes de incerteza para cada um dos parâmetros que afetam o valor do mensurando.

Etapa 3 - Quantificação das componentes de incerteza: - Nessa etapa, o tamanho de cada potencial fonte de incerteza ou é diretamente medido, ou estimado utilizando resultados experimentais anteriores ou derivado de análise teórica.

Etapa 4 - Cálculo da incerteza padrão combinada: - Depois da estimativa de componentes individuais de incerteza, ou grupos de componentes de incerteza, e expressá-los como incertezas padrão, o próximo estágio é calcular a incerteza padrão combinada usando procedimentos estabelecidos [15].

Etapa 5 - Cálculo da incerteza expandida: - O estágio final é multiplicar a incerteza padrão combinada pelo fator de abrangência (k) escolhido a fim de obter uma incerteza expandida. A incerteza expandida é necessária para fornecer um intervalo que possa abranger uma grande fração da distribuição de valores, que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando. Para quase todos os fins recomenda-se que o fator de abrangência (k) corresponda a 2. Contudo, este valor de k pode ser insuficiente quando a incerteza combinada baseia-se em observações estatísticas com relativamente poucos graus de liberdade (menos que seis). O valor de k então depende do número efetivo de graus de liberdade.

2.3 Ferramentas da qualidade para melhoria contínua

As ferramentas da qualidade permitem simplificar e sistematizar a análise de problemas. Usadas no escopo da melhoria contínua da qualidade, facilitam a identificação de oportunidades de melhoria, maximizando a relação de impacto e esforço. São especialmente adequadas para o trabalho em grupo, por seu foco na comunicação visual.

No trabalho, utilizou-se: fluxograma, diagrama causa-efeito, lista de verificação, diagrama de Pareto, diagrama de dispersão e controle estatístico de processo CEP.

2.3.1 Ferramenta 1: fluxograma

É uma ferramenta de análise do processo de ensaio, pois esquematiza a seqüência e decisões de um ciclo de atividades. Essa ferramenta possui várias aplicações como: facilitar o entendimento do processo, ajudar na identificação de oportunidades para melhoria, ou seja, de gargalos e redundâncias que não agregam valor, e ainda, auxiliar na descrição do processo de medição [16] (Figura 1).

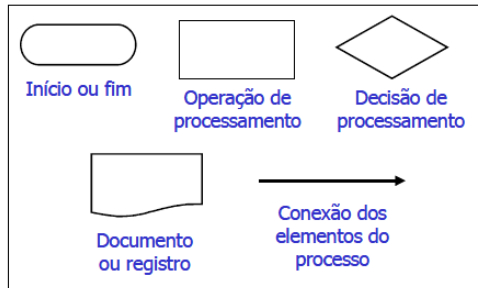


Figura 1. Simbologia utilizada para representar as diversas etapas de um processo de ensaio

2.3.2 Ferramenta 2: diagrama de causa e efeito

Também conhecido como diagrama espinha de peixe (por seu formato) e diagrama de Ishikawa (Kaoru Ishikawa - quem o criou), foi desenvolvido para representar a relação entre o "efeito" e todas as possíveis "causas" que podem estar contribuindo para este efeito. O efeito ou problema é colocado no lado direito do gráfico e as causas são agrupadas segundo categorias lógicas e listadas à esquerda [17] [18] (Figura 2).

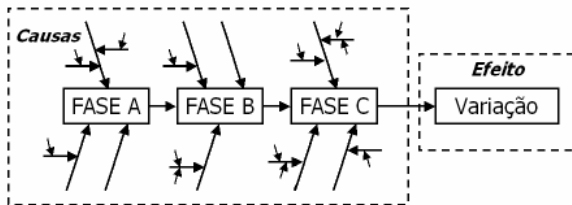


Figura 2. Diagrama de causa e efeito com as fases do processo de ensaio

2.3.3 Ferramenta 3: lista de verificação ou check list

Lista de verificação (ou check list) é uma ferramenta usada para o levantamento de dados sobre a qualidade de um produto ou o número de ocorrências de um evento qualquer [19] (Figura 3).

Lista de verificação de Relatórios de ensaios	
Nome do laboratório	Ok
Número de série	Falta número
Identificação das páginas	Ok
Declaração da referência do relatório	Ok
Identificação do interessado	Ok
Descrição do ensaio	Ok
Metodologia usada	Ok
Identificação dos equipamentos	Ok
Assinatura do técnico	Ok
Condições ambientais	Ok

Figura 3. Exemplo de lista de verificação

2.3.4 Ferramenta 4: diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é um gráfico de colunas nas quais se reflete a freqüência dos problemas. Nele, os eventos indesejáveis ou os custos ligados à qualidade e à

produtividade são estratificados de acordo com as causas ou manifestações, e organizados em ordem decrescente de importância da esquerda para a direita [19] (Figura 4).

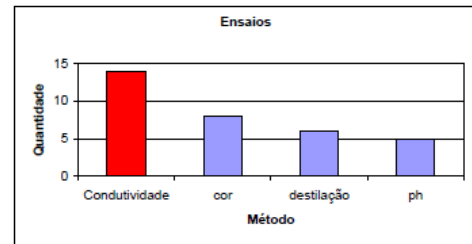


Figura 4. Exemplo de diagrama de Pareto

2.3.5 Ferramenta 5: diagrama de dispersão

O diagrama de dispersão é um gráfico que permite estudar o comportamento de duas ou mais características ou variáveis em várias aplicações metrológicas (Figura 5).

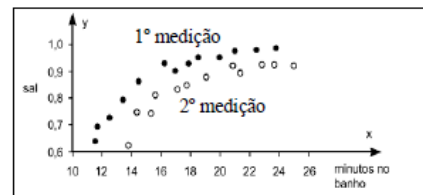


Figura 5. Exemplo de diagrama de dispersão

Para interpretar a correlação, deve-se observar a direção e a dispersão, ou seja, as maneiras como os pontos se distribuem no gráfico. Por exemplo, quando os pontos no gráfico aparecem dispersos, não existe correlação entre as variáveis analisadas [19] (Figura 6).

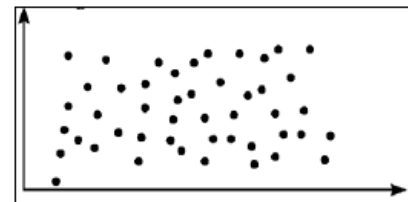


Figura 6. Exemplo de diagrama de dispersão com correlação nula

2.3.6 Ferramenta 6: controle estatístico de processo - CEP

O CEP é a metodologia que usa cartas de controle para levar o processo ao estado de estabilidade estatística ou previsibilidade. Isso permite conhecer o sistema de causas de variação de um processo e identificar em tempo real a ação de causas especiais de variação, isto é, causas que não pertencem ao processo.

Quando aplicado a processos de medição, torna-se um pilar fundamental da confiabilidade metrológica e fornece informação para o cálculo da incerteza de medição.

Apesar disso, a aplicação do CEP para a garantia da qualidade das medições não é freqüente na metrologia brasileira [20]. Um ensaio está sujeito a variação de causas comuns e causas especiais.

As variações de causas comuns, também chamadas de causas inerentes ao processo, são de difícil detecção, pois são vistas como caixa preta. A redução desse tipo de variação não acontece de forma geral visto razões técnicas e econômicas, já que exigem uma troca direta de instrumentos

e equipamentos exigindo grandes aplicações de caráter econômico [10].

As mudanças na média ou na dispersão do processo são ocasionadas por causas alheias ao processo, interferências tais como um operador mal treinado, um procedimento mal executado, um equipamento operando fora dos padrões, um material não conforme com as especificações, etc. Este tipo de variação denomina-se variação por causa especial ou assinalável. Pela sua magnitude e por não apresentar um comportamento aleatório, variações por causa especial são de fácil detecção e correção [10].

Os tipos de cartas de controle utilizadas neste trabalho são as Cartas de controle de indivíduos e amplitude móvel, tendo em vista se trabalhar com um processo químico, ou seja, o resultado da medição é a qualquer tempo relativamente homogêneo [11].

As cartas de indivíduos substituem às tradicionais cartas de controle de média e mediana quando se torna inviável técnica ou economicamente formar subgrupos, por exemplo: destruição do produto na avaliação, produção em pequenos lotes, etc.

Como principal desvantagem desta carta vem a baixa sensibilidade para detectar mudanças no processo, que, por outro lado, é compensada pela simplicidade operacional facilitando assim sua construção e aplicação por operadores pouco treinados. Todas as características citadas tornam esse tipo de carta apropriada para a implantação do controle estatístico de processos (CEP) em ambientes pouco favoráveis [10].

Para a construção da carta de controle individual, é necessário determinar os limites de controle, e para isso, foi considerado o tamanho da amostra 2, que significa usar uma amplitude móvel para duas medições sucessivas, isto implica nos seguintes dados [11]:

$$LSCAM = 3,27 R$$

$$LICAM = 0$$

$$LSCX = X + 2,66 R$$

$$LICX = X - 2,66 R$$

Onde:

LSCAM => limite superior de controle da amplitude móvel;

LICAM => limite inferior de controle da amplitude móvel;

LSCX => limite superior de controle do processo;

LICX => limite inferior de controle do processo;

R => média da amplitude móvel;

X => média do processo;

Os limites assim construídos se denominam de limites 3-sigmas, por estarem a três desvios-padrão da média do processo.

Após a construção da carta, o processo passa a ser analisado em busca de sinais de causas especiais, isto é, sinais de: “fora de controle”.

Para isso é necessário aplicar regras de detecção, por exemplo: regras de “Western Electric”, que permitem identificar o sinal dentro o ruído aleatório associado à ação do sistema de causas comuns.

Aplicando as regras de “Western Electric”, pode-se determinar se um processo está fora de controle quando existe pelo ao menos uma das seguintes situações [10] [21]:

- regra I: um ponto fora dos limites de controle (regra de Shewhart);
- regra II: dois em três pontos consecutivos fora dos limites de 2σ ;
- regra III: quatro em cinco pontos consecutivos fora dos limites de 1σ ;
- regra IV: oito pontos consecutivos abaixo ou acima da linha da média.

Essas regras são ilustradas na Figura 7 e são definidas por [10]:

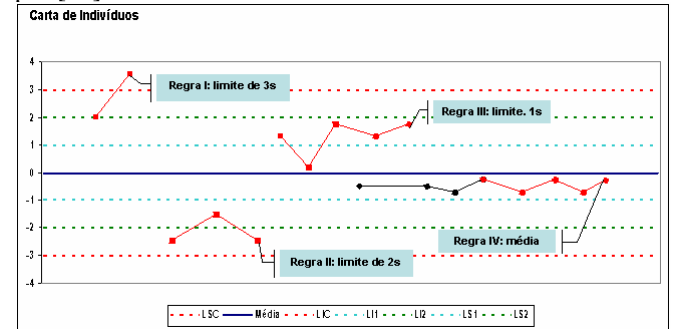


Figura 7. Exemplo de Carta de controle de indivíduos aplicando as regras da Western Electric [10].

Dessa forma, o uso de cartas de controle individuais em metrologia laboratorial parece ser bastante útil, sendo adotadas com sucesso em diversas outras aplicações [20].

2.4 Ciclo PDCA para o gerenciamento

É o ciclo que descreve a seqüência de ações para a melhoria contínua da qualidade. O Ciclo PDCA representa o caminho a ser seguido para que as metas estabelecidas possam ser atingidas [12].

Girar o ciclo significa fazer com que as atividades sejam realizadas em seqüência e de maneira contínua.

A primeira etapa é o Planejamento (Plan), que consiste em estabelecer metas e o método para alcançar as metas propostas.

A segunda etapa é a Execução (Do), ou seja, executar as tarefas exatamente como foram previstos na etapa de planejamento.

Na etapa de Checagem (Check) é feita a comparação do resultado alcançado com a meta planejada.

A última etapa seria a Ação (Act), que consiste em atuar no processo em função dos resultados obtidos [12] (Figura 8). E assim, sucessivamente, replanejando e redefinindo as metas para alcançar novos objetivos.

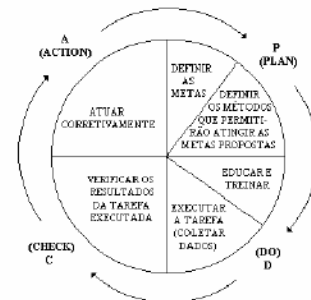


Figura 8 Funcionamento do PDCA

3. PROPOSTA DE SISTEMÁTICA

A proposta de sistemática consiste em um ciclo para cálculo e gerenciamento da incerteza de medição em laboratórios de ensaios de combustíveis montado a partir da seqüência de ações prescrita pelo ciclo PDCA (Figura 9).



Figura 9. Ciclo PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento da incerteza de medição nos ensaios de combustíveis [22]

Considerando a Figura 9 [22], observa-se que:

- No estágio de planejamento (Plan), propõe-se o estabelecimento do valor de incerteza alvo, a coleta e sistematização da informação, que descreve a condição em que o ensaio será feito.

- Imediatamente (no Do), identifica-se às causas da incerteza, sistematizando as informações num diagrama de causa-efeito e as contribuições de cada fonte de incerteza no Pareto. A incerteza pode ser então avaliada, seguindo as recomendações internacionais de aplicação. Nesta avaliação será usado um modelo matemático que exprime o conhecimento que se possui sobre a medição.

- Na etapa de verificação (Check), coleta-se informação empírica para validar o modelo matemático e as hipóteses feitas sobre o comportamento das fontes de incerteza. Para isso, o processo de ensaio deverá ser executado repetido vezes, usando amostras de valor invariável (por exemplo, obtidas de uma amostra petróleo prévia homogeneização). Os resultados, que são colocados em gráficos numa carta de controle, permitirão eliminar as causas especiais de variação, até conseguir um processo de ensaio previsível. Nessa etapa é avaliado se a incerteza do método é melhor do que aquela definida como incerteza alvo.

- Finalmente (no Act), estabelecem-se os objetivos de melhoria para ajustar o valor da incerteza e/ou melhorar a realização do ensaio.

4. ESCOLHA DOS ENSAIOS PARA APLICAÇÃO

A atividade geral de ensaio de combustível é seqüenciada através da Figura 10, que apresenta uma visão geral do caminho percorrido pela amostra de combustível até o resultado final da análise.

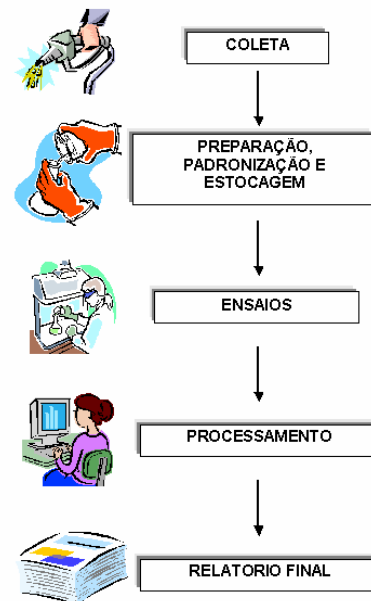


Figura 10. Visão geral do fluxo da amostra de combustível

Ensaio é uma operação que consiste na determinação de uma ou mais características de um dado produto, processo ou serviço, de acordo com um procedimento especificado [23].

Após uma pesquisa com os laboratórios de ensaios de combustíveis, selecionaram-se todos os ensaios que poderiam ser realizados pela Central de Análises Químicas da UFSC, tendo em vista que o objetivo foi o de aplicar a sistemática em um laboratório qualquer, sem necessariamente estar credenciado junto à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio, ou seja, a intenção foi a de trabalhar em uma situação adversa, para testar a sistemática.

Logo a seguir, foi montada uma matriz de decisão para definir dois ensaios para estudo, adotando notas de zero a dez de acordo com os critérios de importância, praticidade, disponibilidade, materiais, equipamentos e pessoal qualificado (Tabela 1).

Tabela 1. Matriz de decisão dos ensaios para estudo

Características dos Ensaio	Critérios de decisão					Total
	Importância da aplicação	Praticidade de operação	Disponibilidade de realização	Materiais e equipamentos	Pessoal Qualificado	
Aparência	2	10	6	10	10	38
Cor	2	10	6	10	10	38
Teor de AEAC	8	4	6	10	10	38
Massa específica	8	8	10	10	10	46
Destilação	6	4	6	6	10	32
Condutividade elétrica	7	10	10	10	10	47
ph	6	8	6	10	10	40

Escala: 2 → Muito Pouco Favorável
 4 → Pouco Favorável
 6 → Regularmente Favorável
 8 → Favorável
 10 → Muito Favorável

Conforme observado na Tabela 1, se destacaram dois ensaios de combustíveis: condutividade elétrica do álcool combustível e massa específica da gasolina comum. Portanto, esses são os ensaios de aplicação do trabalho.

4. CONCLUSÕES

Conforme definido no tópico anterior, a aplicação completa da sistemática proposta neste artigo ocorrerá em dois casos reais de ensaios: condutividade elétrica do álcool combustível e massa específica da gasolina comum. Nos quais serão apresentadas em detalhes num próximo trabalho.

Contudo, pode-se comentar de modo geral que o uso dessa sistemática permitiu identificar melhorias no processo de execução dos ensaios de combustíveis selecionados.

Ainda que a ferramenta do PDCA seja utilizada em diversas áreas de atuação, como administrativa, farmacêutica e muitas outras, o seu uso, aliado às ferramentas da qualidade, no gerenciamento de ensaios químicos, pode ser considerada uma situação relativamente nova, permitindo padronização das informações e auxiliando na detecção de melhorias no processo.

Muito embora o foco do trabalho seja os ensaios de combustíveis, deve-se salientar que o uso da sistemática não está restrito somente a estes, podendo ser aplicada a um amplo leque de ensaios físico-químicos requeridos pela indústria de petróleo e gás.

AGRADECIMENTOS

A todos os atores que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] “Anuário estatístico dos transportes”, disponível em: <http://www.geipot.gov.br/anuario2001>, acesso: 11/10/2002.
- [2] Programa Nacional de Metrologia em Química no Brasil, disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/metCientifica/metQuimica.asp>, acesso: 12/12/2002.
- [3] IBP; IBQN; CERTI; FINEP; ANP; CT Brasil, “Apostila Seminário de conceitos”. Programa: Capacitação e Assistência Técnica a Laboratórios da Rede Nacional de Laboratórios de Ensaio para Monitoramento da qualidade de combustíveis – (CAT-RN-LEC), Florianópolis, 113p, 2001.
- [4] Belanger, B.C., “Traceability: An Evolving Concept”, ASTM Standardization News, v. 8, n. 1, p. 22-28. 1980.
- [5] Alves, N. P.; Moraes, D. N. “Metrologia Química e a Utilização de Materiais de Referência em Medições Químicas”. Artigo do congresso QUIMLAB, Universidade do Vale do Paraíba, 2002.
- [6] ABNT, Norma NBR ISO/IEC 17025 - “Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração”, Rio de Janeiro, 20p, 2001.
- [7] INMETRO; ABNT; SBM, ISO GUM – “Guia para Expressão da Incerteza de Medição. Segunda Edição Brasileira do Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, Rio de Janeiro, 121 p, 1998.
- [8] Ferreira, V. C. S. - Rede metrológica do RS. Apostila “Avaliação da incerteza de medição segundo ISO-GUM”. Rio grande do Sul, 57p, 1998.
- [9] LGC; UK; EMPA; Switzerland, “Guia para Expressão da Incerteza de Medição na área química - EURACHEM - Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement”, China, USA, Austrália e Japão, 120p, 2000.
- [10] Da Silva, J. H.C. “A influência da incerteza de medição na carta de controle de indivíduos”. Dissertação de mestrado do Programa de Pós - Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC - Florianópolis, 115p, 2003.
- [11] Fundamentos de controle estatístico do processo (CEP) – “Manual de referência IQA (Instituto da Qualidade Automotiva)”, primeira edição brasileira publicada em junho de 1997. Brasil, 162p, 1997.
- [12] Ciclo PDCA, disponível em: http://planeta.terra.com.br/negocios/processos2002/ciclo_pdca.htm acesso: 04/04/2003
- [13] ISO 17025, disponível em: http://www.omnexus.com/standards/iso17025/iso_17025. acesso: 10/04/2003
- [14] CERTI. “Apostila de curso implantação da Norma NBR ISO/IEC 17025”. Florianópolis, 109p, 2002.
- [15] Gonçalves Júnior, A. A., Metrologia – Parte 1. “Apostila do curso de mestrado em Metrologia Científica e Industrial”. Florianópolis, 2000.
- [16] Fluxograma, disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-qual-log.htm> acesso: 15/05/2003
- [17] Diagrama causa e efeito, disponível em: <http://www.geranegocio.com.br/html/geral/ql4c.html> acesso: 15/05/2003
- [18] Diagrama causa e efeito, disponível em: <http://www.numa.org.br/transmeth/ferramentas/ffishikawa.htm> acesso: 15/05/2003
- [19] Lista de verificação, histograma, diagrama de pareto, dispersão e cartas de controle. Disponível em: http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem_outros/cursoprofissionalizante/tc2000/qualidade/qua5.pdf acesso: 15/05/2003
- [20] Donatelli, G. D.; Soares, G. G.; Marques, C. C.; Schmidt. “Estabilidade estatística de medição”. Artigo do Metrosul 2002.
- [21] Cartas de controle, disponível em: <http://www.terravista.pt/Guincho/2009/cartas.html> acesso: 09/05/2003
- [22] Martins, Washington Luiz da Silva. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. “Avaliação da incerteza de medição e melhoria nos ensaios de combustíveis”. Florianópolis, SC, 2003. ix, 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial.
- [23] ABNT, ISO IEC Guia 2 “Termos Gerais e suas definições relativas a normalização e atividades correlatas”. Rio de Janeiro, 17p.