



## **Aplicação da ferramenta Seis Sigma em uma indústria de transformadores para o controle da calibração de equipamentos**

Lucas Bueno de Moraes (UFSC) lucasbuenomora@gmail.com  
Ana Julia Dal Forno (UFSC) ana.forno@ufsc.br

### **Resumo**

Segundo a ISO 9001, é de responsabilidade do setor da qualidade garantir que as medições dentro de cada processo estejam precisas ou dentro da tolerância estipulada. Para isso, faz-se necessário calibrar cada instrumento, como forma de assegurar sua confiabilidade nas aferições. Nesse contexto, o objetivo desse artigo é apresentar as etapas de aplicação do método Seis Sigma em uma indústria de transformadores localizada em Blumenau/SC, sobre a melhoria do controle de calibração dos equipamentos. Como resultado, foram desenvolvidas ações que reduziram o número de não-conformidades, encontradas nos levantamentos iniciais, e garantiram uma maior qualidade e confiabilidade no processo. Por fim, esse projeto foi utilizado para obtenção da certificação de Yellow Belt e como contribuição também traz um passo a passo das etapas do DMAIC que se aplicam a diversos setores.

**Palavras-Chaves:** DMAIC, Calibração, Seis Sigma, transformadores, melhoria de processos.

### **1. Introdução**

Com o aumento da necessidade energética dos grandes centros urbanos, a indústria de transformadores cresce a cada ano, buscando desenvolver transformadores e soluções que otimizem a distribuição de energia elétrica para as mais diversas aplicações. Dessa forma, as empresas de transformadores de transmissão constantemente procuram desenvolver seus produtos com mais qualidade e eficiência, de modo a atender as demandas do mercado. Para isso, essas empresas investem em áreas e profissionais capazes de fazer a gestão da qualidade e assegurar que os produtos atinjam os padrões excelência.

Os departamentos que cuidam da qualidade possuem diversas responsabilidades, como o tratamento das não-conformidades e desvios de processo, ações de melhoria, gerenciamento de fornecedores, o controle de calibração dos equipamentos de medição, entre outros. A calibração, por sua vez, é essencial na garantia da qualidade de produtos como

transformadores, pois permite verificar se a construção atende os requisitos estipulados no projeto, e também oferece formas de identificar possíveis problemas de fabricação, como desvios de montagem ou variações em ensaios a vazio e de carga, por exemplo. Com isso, é de extrema importância que os equipamentos e instrumentos responsáveis por realizar medições garantam aferições precisas ou que estejam dentro da tolerância estipulada.

Através dessa perspectiva, uma empresa de transformadores de distribuição localizada em Blumenau/SC, identificada como Trafos SA, será utilizada como objeto de estudo na análise de um projeto de melhoria. A organização possui um amplo conhecimento da metodologia Lean e Seis Sigma e busca tornar seus processos mais eficientes e seus produtos com mais qualidade. Por ser uma organização certificada pela ISO 9001, referente à gestão da qualidade, projetos de melhoria são frequentemente criados para solucionar problemas ou para aprimorar procedimentos.

Para tanto, identificou-se a necessidade da criação de um projeto focado no controle de calibração de equipamentos usados nas aferições dentro dos processos fabris. Por ser limitado, o controle antigo impedia que desvios ou situações de não-conformidade (NCR) fossem encontrados com facilidade, o que se tornava um problema frente às constantes auditorias internas e externas aplicadas na empresa, dificultava a confiabilidade na aferição apresentada pelos instrumentos e atrapalhava a garantia da qualidade do produto. O projeto aplicado segue a estrutura de um DMAIC, ou seja, um projeto dividido em cinco fases que segue os princípios da metodologia Seis Sigma para a identificação de problemas e desenvolvimento de ações corretivas, focadas na causa raiz.

Assim, o objetivo desse artigo é apresentar e analisar as etapas de aplicação do método Seis Sigma em uma indústria de transformadores. O artigo está estruturado da seguinte forma - em um primeiro momento fez-se a contextualização sobre a indústria de transformadores e qual o papel desempenhado pela área da qualidade. A seção dois descreve a metodologia usada e na próxima seção há uma breve revisão sobre a metodologia Seis Sigma e a estruturação de um DMAIC, demonstrando alguns exemplos da metodologia aplicada na resolução de problemas. A seção quatro apresenta o desenvolvimento de cada uma das cinco fases do projeto, aplicadas no contexto do controle da calibração, assim como os respectivos resultados encontrados ao fim do projeto. Nas conclusões são levantados os principais aprendizados e soluções gerados ao longo de todo o processo. Por fim, as referências são listadas.

## 2. Metodologia

Inicialmente o estado da arte sobre o tema foi explorado em artigos e trabalhos acadêmicos, e, dada a aplicação das etapas do DMAIC, houve uma pesquisa ação. Na pesquisa-ação, o pesquisador participa da ação por meio de um processo cíclico de reflexão na qual novos conhecimentos são produzidos e busca-se soluções coletivas para os problemas enfrentados (THIOLLENT, 2011).

O primeiro levantamento de dados foi feito por meio do banco de dados Scielo, porém não foram encontradas publicações com as palavras chave Seis Sigma e/ou DMAIC e transformadores. Apesar disso, com a exclusão da palavra “transformadores”, a pesquisa realizada com as outras terminologias resultaram em dois artigos relevantes. Já na base de dados Science Direct, foi realizada uma pesquisa em 15 de julho de 2021 que resultou em cinco trabalhos, que serão apresentados no tópico seguinte. Por fim, é válido ressaltar a dificuldade de encontrar trabalhos acadêmicos sobre a metodologia Seis Sigma, aplicados na indústria de distribuição de energia.

As fases da pesquisa-ação são as próprias etapas do DMAIC, ou seja, definir os processos críticos e objetivos com foco nos clientes; medir o desempenho do processo e identificar os problemas e sua intensidade; analisar o desempenho dos problemas e suas causas; melhorar o processo eliminando problemas e controlar o desempenho do processo.

A sigla DMAIC significa Define, Measure, Analyze, Improve e Control. Segundo Sindha e Suthar (2017), dentro da fase de Define, busca-se definir qual o escopo do projeto, a estratégia e quais são os objetivos que a implementação da ferramenta busca alcançar. Na fase de Measure deve ser feito um mapeamento dos dados e uma organização das informações, por meio de mapas de processo, gráficos ou diagramas. Durante a etapa de Analyze esses dados serão analisados, com o objetivo de encontrar as causas raízes dos problemas e para o desenvolvimento das ações corretivas. A fase de Improve será o momento de implementação dessas ações dentro dos processos analisados. E, por fim, a etapa de Control busca medir e controlar a eficiência das ações propostas, de modo a garantir que o problema foi solucionado.

### 3. Revisão da literatura

De acordo com Harry e Schoroeder (2000) a metodologia surgiu em meados dos anos 80, com a empresa Motorola como precursora a partir dos constantes defeitos nos equipamentos eletrônicos produzidos. Grande parte das indústrias americanas da época pensavam que investir em qualidade significava aumento de custos, porém com a redução de problemas de qualidade os custos diminuiriam. Os autores ainda reforçam que o Seis Sigma busca aumentar a lucratividade, contudo a melhoria na qualidade e eficiência dos processos são produtos imediatos da aplicação da metodologia. Eles ainda ressaltam que organizações que aplicaram a metodologia Seis Sigma tiveram aumento nas margens de lucro em cerca de 20%.

Para Bloj (2020) a metodologia Seis Sigma dá ênfase na melhoria da qualidade como forma de tornar os processos mais eficientes e com menos custos. Além disso, Schroeder et al. (2008) apresenta a metodologia como uma ferramenta mais organizada de medição que reduz a variação de processos, por meio de especialistas em melhoria, um método mais estruturado e pela definição de métricas, com a finalidade de atingir os objetivos estratégicos.

O estudo de Costa et al. (2019) é um exemplo de aplicação da metodologia Seis Sigma no processo de inserção de pinos. Foi realizado numa fábrica de placas de circuito impresso e como resultado foi possível reduzir o número de unidades defeituosas de 3231 partes por milhão (ppm) para 312 ppm (90% de melhoria), gerando uma economia estimada de 122 mil euros.

### 4. Resultados

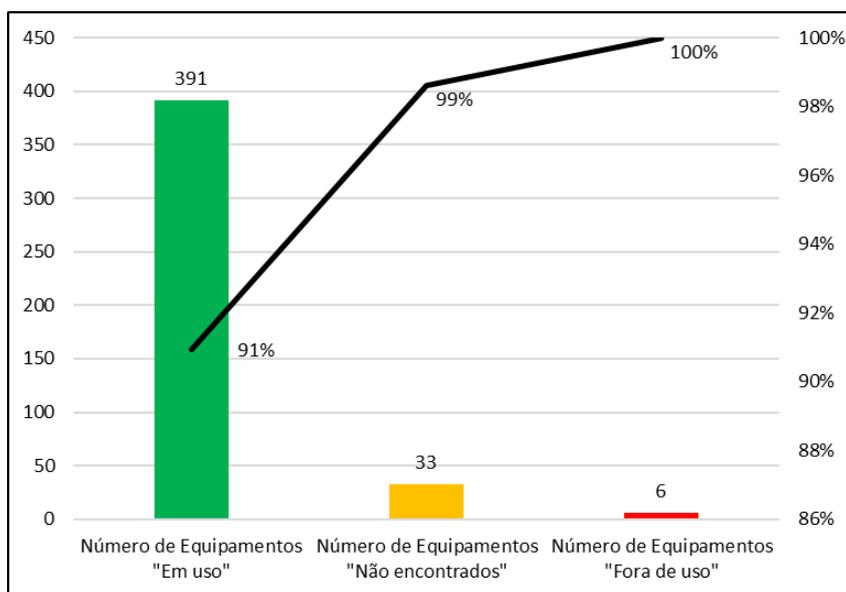
Para melhor visualização e entendimento, os resultados vão explicar o que foi realizado em cada fase da metodologia DMAIC.

#### 4.1 Define

A fase de “Definir” foi separada em duas partes. A primeira teve o foco de analisar e entender qual era a situação encontrada na lista de equipamentos calibráveis fornecida pela empresa terceirizada responsável por realizar a calibração dos equipamentos. Isso porque a empresa era responsável por realizar a calibração e a gestão da calibração dos equipamentos da fábrica, porém foi atestada uma grande quantidade de não-conformidades. Por esse motivo, fez-se

necessário analisar essa lista para criar-se um ponto de partida sobre a quantidade dos desvios e problemas. Com isso, foram encontrados 430 equipamentos, sendo que muitos estavam com a calibração vencida, com duplicidade de números de identificação, com divergência no status de utilização, etc. Além dessa quantidade de problemas, foi identificado uma parcela grande de equipamentos que não estavam mapeados no controle, o que os deixava sem calibração e sem identificação. A Figura 1 apresenta a organização dos equipamentos por status de utilização, após a análise da lista.

Figura 1 – Organização dos equipamentos por status de utilização



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2021)

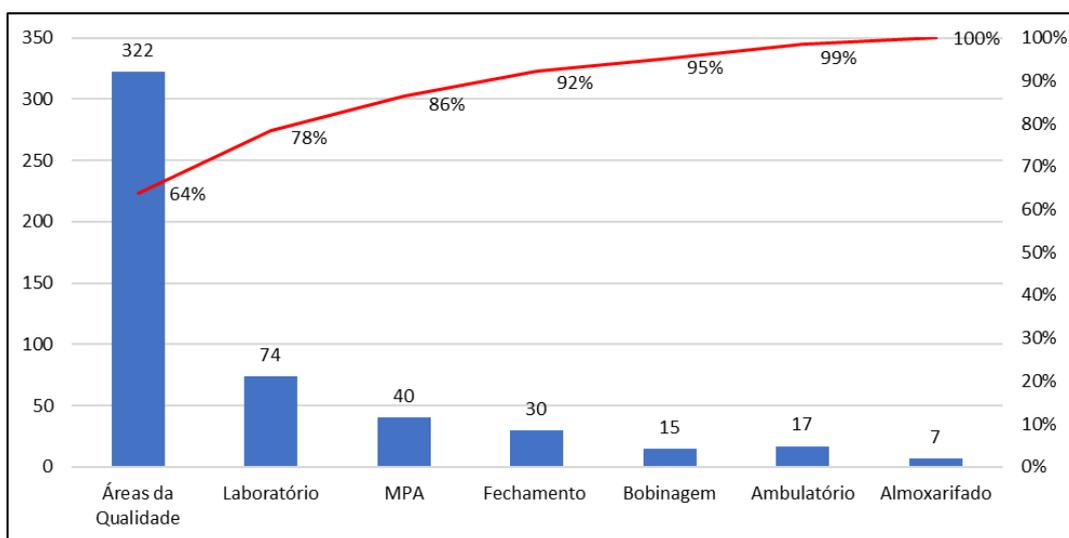
Somada a essa primeira verificação, foi feito um levantamento em cada um dos postos de trabalho da fábrica com o objetivo de mapear a situação real dos equipamentos utilizados para medição. Esse levantamento seguiu o seguinte procedimento:

- Solicitado que os operadores ajudassem no mapeamento dos equipamentos presentes no posto de trabalho;
- Com base nos equipamentos apresentados, foi identificado os respectivos números de identificação e as etiquetas de calibração, para verificar o vencimento da calibração;
- Todos os equipamentos foram inseridos em uma nova lista, com seus respectivos postos de trabalho, identificação, status e uso e data de vencimento da calibração;
- Os equipamentos que estavam em situação de não-conformidade eram retirados da fábrica e separados para a empresa tercerizada fazer as devidas correções. Esse levantamento, somado com a coleta dos equipamentos com problemas, foi uma ação de

contenção, para evitar a perpetuação de desvios e permitir que houvesse um controle confiável dos equipamentos.

No total, foram encontrados 505 equipamentos, reforçando a presença de muitos equipamentos não mapeados na lista e que estavam na produção, com diversos tipos de não-conformidades, de modo que a Figura 2 apresenta as áreas em que eles estavam alocados dentro da fábrica.

Figura 2 – Localização dos equipamentos após levantamento

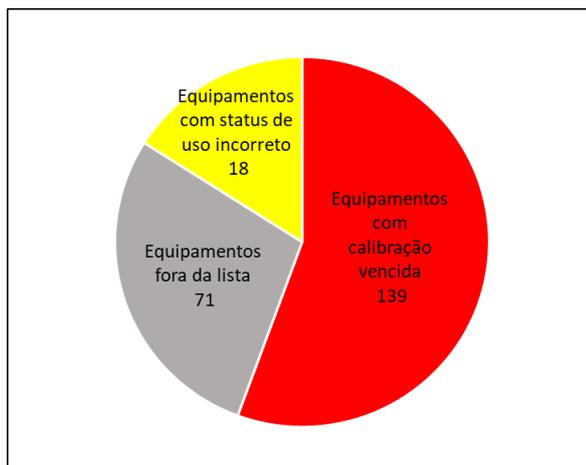


Fonte: Desenvolvido pelos autores (2021)

Os desvios identificados foram enquadrados em três grupos, de modo que um equipamento pode pertencer a mais de um grupo, baseado em sua situação. O primeiro grupo é referente aos equipamentos que possuem calibração vencida, independente do motivo. O segundo grupo abrange os equipamentos que estão com o status de uso incorreto na lista de calibração da empresa responsável por calibrar os instrumentos, por exemplo, um paquímetro dado como “Fora de uso” é utilizado na MPA (Montagem de Parte Ativa). Por fim, o terceiro grupo compreende todos os equipamentos que não foram mapeados pela empresa tercerizada, ou seja, não se encontram na lista, porém estão em uso na fábrica.

Dentro dos 505 equipamentos encontrados, e considerando os três grupos de desvios, a Figura 3 apresenta a distribuição das 228 não-conformidades encontradas. Através desse prisma, foi definido no scopo do projeto que o objetivo seria reduzir em cerca de 70% o número de não conformidades.

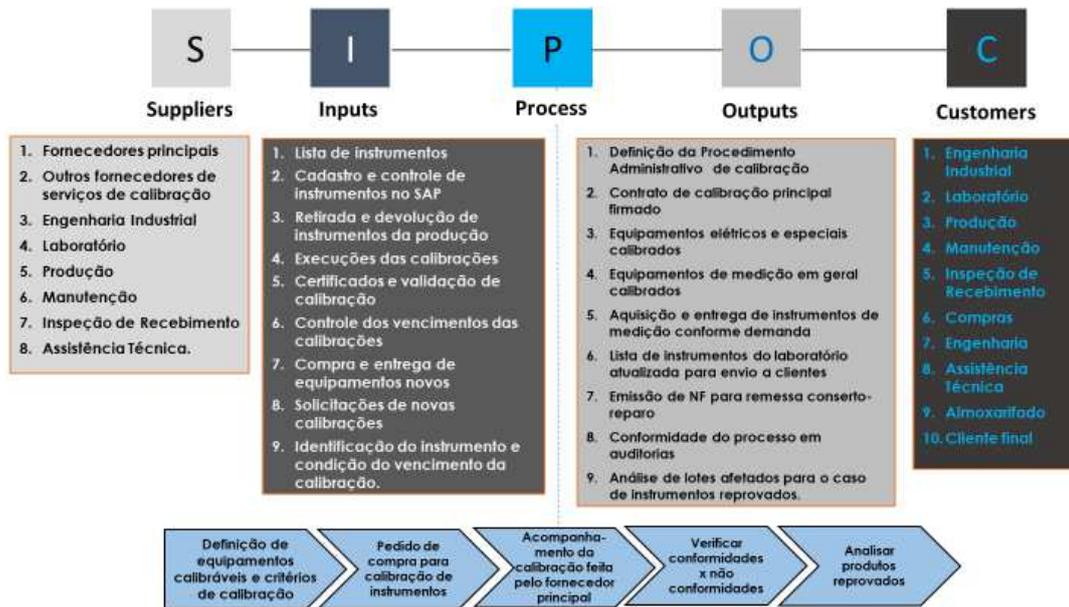
Figura 3 – Número de não-conformidades por grupo



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2021)

Como última atividade dessa primeira fase do projeto, foi necessário elaborar um mapa do processo, antes da implementação das ações corretivas, para planejar e acompanhar as mudanças e melhorias implementadas. Dessa forma, foi decidido elaborar um SIPOC para representar as atividades realizadas tanto pela empresa terceirizada, quanto pela Trafos SA. Um SIPOC é uma ferramenta que por meio de entradas e saídas exprime as atividades, os produtos e os clientes do processo analisado. A sigla, em português significa “Fornecedores, Entradas, Processos, Saídas e Clientes” e, de acordo com Nandakumar et al. (2020), é uma ferramenta que pode auxiliar na identificação dos problemas e dos “gargalos” de cada processo. A Figura 4 expõe de uma maneira completa quais são as entradas, fornecedores e demandas do processo de calibração, assim como suas respectivas saídas, clientes e resultados.

Figura 4 – SIPOC do processo de calibração



## 4.2 Measure

Durante a fase de “Medir” foram organizados os dados de modo a visualizar de forma global qual era a real situação da calibração dos equipamentos da fábrica. Foram levantados os dados encontrados com base nas visitas feitas aos postos de trabalho, e não mais a lista de calibração inicial. Dessa forma, foi possível identificar as áreas com maior incidência de equipamentos descalibrados, padrões nos tipos de equipamentos com não-conformidades, etc. Além da organização dessas informações em gráficos e tabelas, semelhantes aos apresentados acima, foram realizados diversos brainstormings com o time para levantar pontos de vista e novas possibilidades de abordagem, para definitivamente mapear e entender toda a situação.

Como exemplo, foi identificado que o laboratório de testes é a área que apresenta maior número de equipamentos em uso, mas não cadastrados na lista. Através de análises com o time e percepções de outras pessoas envolvidas, percebeu-se que o motivo era que não havia possibilidade de parar os trabalhos no setor para fazer um levantamento de dados sobre os equipamentos. Então, quando a equipe adquiria novos equipamentos, não havia um controle correto sobre a identificação, estado de calibração e localização (específica dentro do setor).

A Figura 5 apresenta o mapeamento das atribuições da empresa responsável pela calibração e em quais atividades encontrou-se não conformidades. Ao considerar as 228 não

conformidades apresentadas na fase de “Define”, 89 equipamentos (39%) se referem a problemas no controle dos equipamentos e 139 equipamentos (61%) a desvios da não calibração de equipamentos após o vencimento da calibração anterior.

Figura 5 – Atividades com não-conformidades



### 4.3 Análise

A fase de “Analisar” foi marcada pela criação das ações que seriam responsáveis pela redução das não-conformidades. A primeira ação definida pela equipe do projeto foi a criação de um procedimento para a entrega de novos equipamentos para fábrica. Devido ao fato de diversas áreas adquirem equipamentos, foi estipulado que todos os equipamentos deveriam ser entregues à qualidade antes de serem destinados os postos de trabalho da fábrica, para que fossem calibrados e devidamente identificados. Caso houvesse algum caso de urgência ou situação que impedisse que esse equipamento aguardasse a data da calibração, ele poderia ser liberado para produção somente com autorização do departamento da qualidade. Além disso, todos os produtos que tivessem sido aferidos pelo equipamento ainda não calibrado deveriam ser controlados para que nos próximos processos pudesse ser dada a garantia de qualidade. O objetivo era impedir que entrassem na produção novos instrumentos com qualquer tipo de desvio, seja na identificação ou na calibração, além do fato de ser possível identificar em qual área ele seria alocado.

A segunda ação foi a criação de um cronograma de auditorias de processo, focadas na qualidade e calibração dos equipamentos. Semelhante ao feito no levantamento de dados na fase de “Define”, essas auditorias iriam aferir a qualidade dos equipamentos, para se necessário levantar a necessidade de troca de algum deles, o status da calibração, sua localização, etc. Isso iria impedir que equipamentos com desvios fossem esquecidos dentro dos postos de trabalho e garantir que o controle dos equipamentos realmente retratava a realidade.

Somado a isso, foi definido que, apesar de ainda ser responsabilidade da empresa terceirizada manter a gestão e execução das calibrações, seria criado um controle interno do status dos equipamentos. Para tanto, foi criada uma tabela, que contém todos os equipamentos calibráveis da fábrica e suas respectivas informações, que deveria estar sob o controle do departamento da qualidade. Isso tinha como propósito impedir que houvessem desvios nos equipamentos mapeados e tornava mais difícil o “esquecimento” de algum instrumento. A Tabela 1 apresenta uma representação simplificada da planilha de controle criada, com nome dos equipamentos, sua localização dentro da produção, quem é o responsável por aquele processo, o número de identificação de instrumento e a data de vencimento da calibração.

Tabela 1 – Planilha de controle de equipamentos adaptada

| <b>Nome do Equipamento</b> | <b>Localização (Setor)</b> | <b>Responsável (Setor)</b> | <b>Identificação (Código)</b> | <b>Data de vencimento da calibração (MM/AA)</b> |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---|
| <b>Balança 2000kg</b>      | Almoxarifado               | Bruna                      | 1587416                       | 07/22   |
| <b>Lupa graduada 5mm</b>   | Fechamento                 | Carlos                     | 1482942                       | 01/23   |
| <b>Multímetro 600V</b>     | Laboratório                | Marcos                     | 1519467                       | 12/21   |
| <b>Micrômetro Digital</b>  | Bobinagem                  | Simone                     | 1399543                       | 02/22   |
| <b>Paquímetro 300mm</b>    | Bobinagem                  | Simone                     | 1500369                       | 04/22   |
| <b>Trena 3M</b>            | MPA                        | Pedro                      | 1400561                       | 05/26   |

Por fim, foi delineado um procedimento para o descumprimento de alguma das ações citadas anteriormente. Caso fosse identificado que o operador ou líder da produção tivesse equipamentos com desvios, não comunicasse a aquisição de novos instrumentos ou não indicava o número de produtos aferidos por equipamentos não calibrados, seria aberta uma nota de não-conformidade interna destinada a pessoa responsável. Como consequência, o indivíduo deveria se explicar perante o departamento sobre as causas de tal violação e, caso fosse constatada recorrência do delito, o funcionário seria penalizado com uma advertência.

#### 4.4 Improve

A fase de “Melhorar” foi implementada em dois níveis, sendo o primeiro mais focado na gerência, e o segundo direcionado aos líderes da fábrica e operadores. Fez-se necessária essa separação para que a abordagem de apresentação das ações pudesse ser direcionada aos diferentes públicos. Para tanto, a primeira ação, relacionada a aquisição de novos equipamentos, foi apresentada somente para os responsáveis pela compra de novos instrumentos e para os líderes fabris, com o objetivo de informá-los a respeito da problemática de se usar equipamentos não identificados.

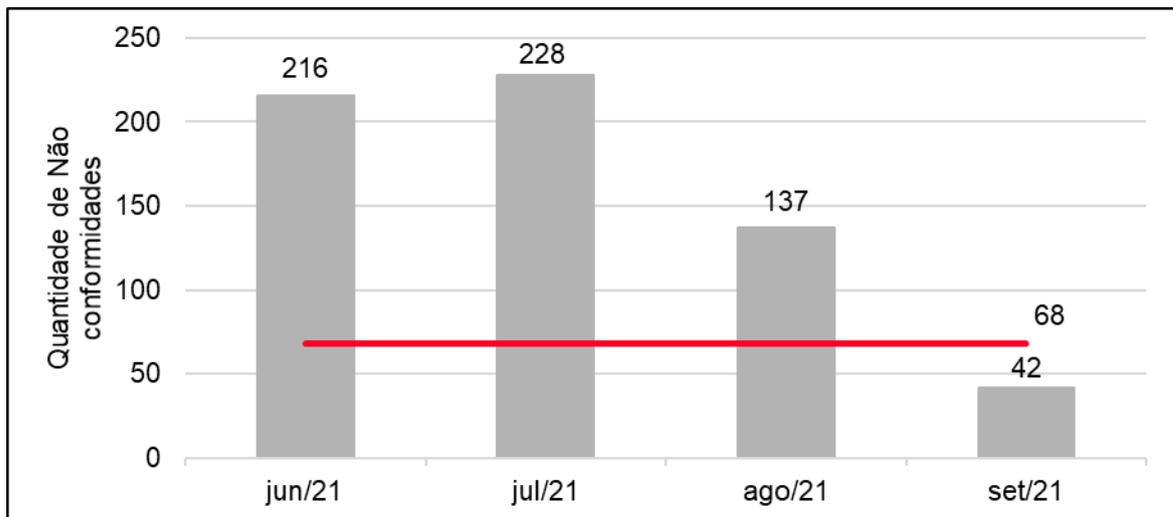
As auditorias de processo, focadas na calibração, foram revisadas com o pessoal da qualidade, com os líderes e também com operadores. Por ser um processo que será aplicado com mais frequência dentro da fábrica, é de interesse dos operadores saberem o porque da necessidade das auditorias, quais tipos de informações são relevantes, como eles podem facilitar a localização dos equipamentos, etc. Para os líderes foi informado quais os tipos de equipamentos que deverão ser localizados em cada setor, a duração dessas auditorias (inicialmente, não sendo superiores a 10 minutos), o organograma de quais postos de trabalho serão auditados em cada visita, entre outros aspectos.

Enfim, a penalização dos funcionários que apresentarem comportamento de descaso para com a calibração foi revisada com o departamento de Recursos Humanos e, em seguida, abordada com toda a gerência. Após aprovadas, essas penalidades foram apresentadas para toda a fábrica, líderes e operadores, para formalizar e oficializar o início do monitoramento.

#### 4.5 Control

A última fase, “Controle”, é marcada pelo monitoramento das ações, de modo a verificar se elas foram suficientes e eficientes na resolução dos problemas. Para tanto, após a implementação das ações foi feita uma comparação da situação anterior e posterior à criação do projeto. O objetivo era verificar como se comportavam o número de não-conformidades (principalmente de equipamentos com a calibração vencida) frente às mudanças e ações de melhoria. A Figura 6 demonstra o número de não conformidades desde a criação do projeto até o final da fase de monitoramento (isso porque cada fase deve ter uma data limite para ser finalizada, contudo com a criação da planilha de controle o monitoramento do estado da calibração não se limita ao final do projeto).

Figura 6 – Situação final das não-conformidades



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2021)

Apesar disso, o monitoramento da situação da calibração dos instrumentos deve continuar, de modo a garantir que todos os instrumentos possuam seus números de identificação, fácil localização dentro da fábrica, sejam calibrados dentro da periodicidade definida e tenham seus certificados de calibração.

## 5. Conclusão

De forma geral, os resultados do projeto foram além dos esperados e trouxeram diversos benefícios para a organização. Inicialmente, quando encontradas as 228 não-conformidades, buscava-se uma redução de 70% dos desvios, ou seja, o número de problemas deveria ser inferior a 68. Contudo, as ações se mostraram eficientes e no monitoramento do mês de setembro foram localizadas somente 42 não-conformidades, resultando em uma redução de cerca de 95%.

É importante acrescentar que sempre haverá problemas, visto que muitos equipamentos são perdidos, descartados, substituídos, etc. Porém, é de responsabilidade do departamento da qualidade buscar formas de reduzir esses problemas e criar procedimentos que aumentem cada vez mais a confiabilidade do controle dos equipamentos, assim como a confiabilidade em suas medições e aferições.



Apesar de bem sucedido, esse projeto contou com algumas dificuldades ao longo de seu desenvolvimento. A principal delas foi a falta de engajamento de uma parcela dos operadores, o que tornou custoso o mapeamento completo dos equipamentos. Apesar disso, visitas em diferentes turnos permitiram que esse problema fosse evitado e as ações voltadas ao controle dos equipamentos nos postos de trabalho deverá servir para manter a organização.

Por fim, é importante ressaltar que esse projeto, mesmo que voltado para o controle da calibração de instrumentos em uma indústria de transformadores de distribuição, pode ser aplicado nas mais diversas áreas. As ferramentas utilizadas aqui, como o DMAIC ou gráficos de pareto e o SIPOC, são amplas e permitem a aplicação em qualquer situação problema, dependendo dos critérios e dos objetivos de cada projeto individualmente. É esperado que esse trabalho possa servir como base para futuros trabalhos voltados para a melhoria contínua e a gestão da qualidade.

## REFERÊNCIAS

BLOJ, M. D.; MOICA, S.; VERES, C. Lean Six Sigma in the Energy Service Sector: A Case Study. **Procedia Manufacturing**, Targu Mures, v. 46, p. 352-358, 2020.

COSTA, J. P.; LOPES, I. S.; BRITO, J. P. Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. **Procedia Manufacturing**, Limerick, v.38, p. 1592-1599, 2019.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. New York, Currenc, 2000. Disponível em <https://silo.pub/six-sigma-the-breakthrough-management-strategy-revolutionizing-the-worlds-top-corporations.html>, acessado em 06/09/2021.

NANDAKUMAR, N.; SALEESHYA, P. G.; HARIKUMAR, P. Bottleneck Identification and Process Improvement by Lean Six Sigma DMAIC Methodology. **Materials Today: Proceedings**, Bangalore, v. 24, p. 1217-1224, 2020.

SCHROEDER, R.G.; LINDERMAN, K.; LIEDTKE, C.; CHOO, A.S. Six Sigma: Definition and underlying theory. **Quality Control and Applied Statistics**. 2009;54(5):441-5.

SINDHA, N.; SUTHAR, K. Review on Implementation of Six Sigma DMAIC Methodology in Manufacturing Industries. In: **IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering**, v. 3, 2017.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-ação**. 18. Ed. Cortez, 2011.