

Artículo No. 02: Aguiar, G.; Ten, C. y Miorando, R. (2014). Projeto 6 Sigma – Metodologia para redução da variabilidade dos resultados obtidos no ensaio de determinação da fase amorfa em resinas de polipropileno. *Semilleros*, 1 (1), 17-32.

Projeto 6 Sigma – Metodologia para redução da variabilidade dos resultados obtidos no ensaio de determinação da fase amorfa em resinas de polipropileno

Sigma Design 6 - Method for reducing the variability of test results to determine the amorphous phase in polypropylene resin

Aguiar Guilherme¹, Schwengber Ten Caten Carla²,
Feroldi Miorando Rogério³

Resumo. A atual conjuntura do mercado, frente à globalização e a evolução dos processos produtivos, obrigam as empresas a encontrarem meios de tornar seus processos e produtos mais competitivos. Pensando nisso, esse trabalho tem como principal objetivo utilizar as ferramentas estatísticas pertencentes aos projetos 6 sigma para identificar as principais fontes de variação de um ensaio de controle de qualidade e atuar de modo a reduzir a probabilidade de falhas, garantindo assim maior confiabilidade nos resultados obtidos e conferindo maior qualidade ao produto final. Como resultados, obteve-se o mapeamento dos pontos críticos do ensaio, a redução da variabilidade dos resultados gerados e a redução da probabilidade de falhas no decorrer da produção.

Palavras-chave: DMAIC; Melhoria Contínua; Metodologia 6 sigma; Polipropileno; Solúveis em Xileno.

Abstract. The current market situation, the face of globalization and the evolution of production processes, forces companies to find ways to make their processes and products more competitive. Thinking about it, this work aims to use statistical tools belonging to 6 sigma projects to identify the main sources of variation in an assay quality control and act to reduce the probability of failure, ensuring higher reliability of the results obtained and giving higher quality end product. As a result, there was obtained the critical points of the mapping test, a reduction in the variability of results generated and reducing the likelihood of failure during production.

Key Words: DMAIC, Continuous Improvement, 6 sigma methodology; Polypropylene; Soluble in Xylene.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. guilherme.aguiar@braskem.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. tencaten@producao.ufrgs.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. miorando@producao.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Na busca por constante inovação e otimização dos processos e fluxos empresariais, as ferramentas ligadas aos programas Seis Sigma têm-se mostrado bastante efetivas, permitindo realizar um monitoramento mais apurado dos fluxos empresariais, reduzir a variabilidade dos processos, a incidência de causas especiais e ainda propor melhorias com o intuito de atingir melhores resultados.

Com base nos comentários supracitados, e tendo como objetivo consolidar as afirmações em questão, este artigo irá apresentar a aplicação das ferramentas estatísticas vinculadas a projetos 6 sigma em um ensaio de laboratório para determinar o percentual de solúveis de xileno em resinas de Polipropileno, característica esta, de suma importância para a qualidade do produto final.

A empresa analisada no presente artigo faz parte do grupo empresarial Odebrecht. Fundada em 2002, a Braskem é uma empresa do ramo petroquímico, líder do mercado nacional brasileiro e com grande influência no mercado internacional de petroquímicos e químicos básicos, possuindo filiais em países como Estados Unidos, Alemanha, entre outros.

Ambiente e problema de pesquisa

Formada em 2002 a partir da fusão de 6 empresas brasileiras, a Braskem possui uma trajetória de crescente transformação no setor químico e petroquímico, o que pode ser explicado por sua visão estratégica: ser a líder mundial da química sustentável. A Braskem pertence ao grupo Odebrecht, que possui empresas atuantes nos setores de construção civil, energia e gás, bioenergia e engenharia ambiental.

A Braskem é uma empresa produtora de petroquímicos básicos e resinas termoplásticas que integra a primeira e segunda geração do setor petroquímico.

Com unidades industriais no Brasil (Alagoas, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul), Estados Unidos e Alemanha, é a maior empresa do setor das Américas e uma das dez maiores empresas do mundo em escala produtiva. Atualmente, a Braskem produz mais de 15 milhões de toneladas/ano de resinas termoplásticas e outros produtos petroquímicos. Existe ainda uma série de escritórios e bases comerciais dispostas em todo o mundo para permitir maior proximidade com os clientes.

A Braskem se destaca no cenário global como a maior produtora de resinas plásticas das Américas. Sua produção é focada nas resinas termoplásticas Polietileno (PE), Polipropileno (PP) e Policloreto de Vinila (PVC), além de insumos químicos básicos, como eteno, propeno, butadieno, benzeno, tolueno, cloro, soda e solventes, entre outros. Juntos, compõem um dos portfólios mais completos do mercado, ao incluir também produtos diferenciados produzidos a partir de matérias-primas renováveis, como o plástico verde, oriundo da cana de açúcar.

As resinas termoplásticas produzidas pela Braskem são posteriormente destinadas a empresas de transformação de termoplásticos, comumente chamadas de empresas de terceira geração.

Propriedades da produção

É considerado um lote de material, uma quantidade pré-estabelecida de resina termoplástica com propriedades químicas, físicas e mecânicas homogêneas. Com base nisto, os lotes gerados na Braskem Petroquímica seguem uma rotina de ensaio estabelecida por um plano de controle. Há uma série de ensaios que são realizados, conforme alinhamento com as necessidades de aplicação do produto no

cliente, para determinar as propriedades anteriormente citadas.

Todos os ensaios realizados visam o atendimento de uma faixa de especificação e, quando essa é atendida, o produto pode ser liberado para a venda. Caso algum dos ensaios não atenda a faixa de especificação, o mesmo deve ser

reclassificado como um OFF GRADE, ou seja, um produto com menor valor agregado.

A seguir, é apresentada a figura 01 com o fluxo existente desde o processo de produção do material até a liberação do mesmo:

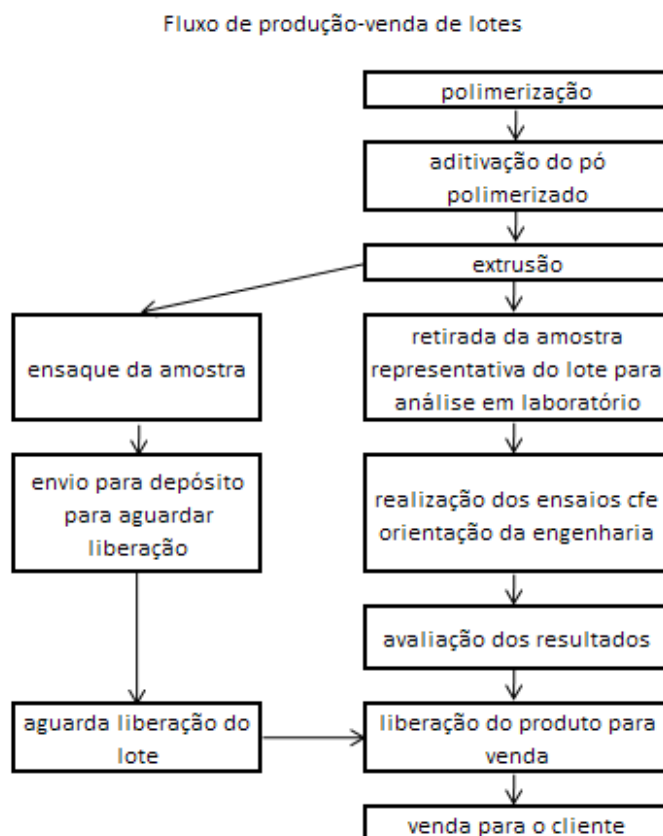


Figura 01 – fluxo de produção-venda de lotes

Entre os ensaios de liberação das resinas termoplásticas está a característica de solúveis em xileno em resinas de polipropileno, que consta, basicamente, em determinar a fração amorfa (não cristalina) de resinas de polipropileno. Têm-se observado sucessivas reclamações por parte da produção sobre os resultados analíticos da característica de Solúveis em Xileno em resinas de Polipropileno. Este ensaio determina a fração amorfa do polímero (fração não cristalina) e é extremamente importante

para o controle da produção e especificação do produto final. Neste caso, a precisão do resultado fornecido pelos laboratórios de controle de Qualidade tem alto grau de significância para assegurar a qualidade do produto. A característica de solúveis em xileno, quando fora da faixa de especificação, pode ocasionar o entupimento das linhas de processo da planta industrial, redução de produtividade e geração de produto que poderá alterar as características estruturais do produto final.

Metodologia atual

A metodologia do ensaio de solúveis em xileno é baseada na norma ASTM 5492-06. O princípio da análise consiste na pesagem de uma quantidade conhecida de amostra em balança analítica e a dissolução da mesma em sistema de refluxo com xileno P.A. sob agitação a uma temperatura controlada de $135 \pm 3^\circ\text{C}$. A solução é então resfriada e mantida a temperatura de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$, para que o material insolúvel precipite e possa ser feita a separação da fração solúvel e da fração insolúvel do polímero através da filtração. Uma alíquota da solução filtrada é evaporada e quantificada o seu resíduo para determinação dos solúveis em xileno totais. Cabe salientar que todas as etapas do processo de determinação da fração amorfa em polímero possuem tempo pré-determinado para sua determinação.

Metodologia 6 Sigma (Método de Pesquisa)

A metodologia 6 sigma foi introduzida na década de 1980, pela Motorola, com o objetivo de aumentar os níveis de qualidade do nível comum de três sigma (3s) para seis sigma (6s), pela sistemática aplicação de ferramentas estatísticas orientadas à otimização de processos produtivos (HARRY; SCHROEDER, 1998). O aumento do nível sigma seria capaz de atingir níveis extremamente baixos de produtos não conforme, na ordem de 1 por milhão.

Para WERKEMA (2006), o 6 Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores.

Já para PANDE, NEUMAN e CAVAGH (2001), Seis Sigma é: um sistema

abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado dos fatos, dados e análise estatística e pela atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos do negócio.

Portanto pode-se dizer que ambos os autores acreditam que o modelo do six sigma é uma ótima forma de alavancar o sucesso das empresas, pois além de melhorar os processos evitando o desperdício, também é capaz de satisfazer as necessidades dos clientes.

A metodologia DMAIC, utilizada para atingir os níveis sigma desejado, é composta por uma série de ferramentas estatísticas. Segundo (JENNY, 2010) a metodologia DMAIC se define em 5 etapas, que são:

- Definir: é a etapa onde se defini as metas a serem atingidas ou o escopo do projeto, e uma das ferramentas utilizadas para ajudar na definição é a VOC (Voz do Cliente) ou Análises econômicas.
- Medir: é a etapa onde se determina o foco do problema, faz-se as coletadas de dados e umas das ferramentas utilizadas nesta etapa é o Digrama de Pareto.
- Analisar: é a etapa onde se analisa os dados coletados anteriormente, determina-se as causas do problema e uma das ferramentas utilizadas nesta etapa é o Brainstorming.
- Improve (Melhorar): é a etapa onde se identifica e avaliam-se as soluções para implementa-las gerando ideias a respeito das soluções para os problemas detectados na etapa anterior, e uma das ferramentas que pode ser utilizada nesta etapa é a simulação.
- Controlar: é a etapa em que se controla o desempenho do processo ao longo do

tempo, padronizando as alterações realizadas no processo e adotando as soluções, tem como ferramenta a ser

utilizada nesta etapa os relatórios de anomalias e reuniões.

ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

Com base nos pontos levantados anteriormente, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise crítica da metodologia atual, verificar se a mesma está com um nível sigma aceitável e apresentar oportunidades de melhoria com o intuito de reduzir a variabilidade dos resultados analíticos de laboratório e, por consequência disto, melhorar a qualidade do produto final e a percepção da mesma no cliente.

Etapa Definir (D)

A primeira etapa do estudo é a definição do problema que será trabalhado. No caso em questão fica claro que a alta variabilidade dos resultados obtidos no ensaio de solúveis em xileno está impactando na qualidade do produto final. Esta tem sido uma questão observada pelos analistas e ainda pela produção, frente às sucessivas reclamações nos resultados gerados pelo

laboratório e a dificuldade de atuação no processo nas variações dos resultados fornecidos pelo laboratório.

Mapeamento da Situação Atual – Etapa Medir (M)

Para mapear a situação atual do sistema de medição, realizou-se uma coleta de dados com 10 analistas diferentes, o que representa 25% do quadro funcional do Laboratório de Controle de Qualidade. Os analistas deveriam analisar a mesma amostra 4 vezes, mas sem ter o conhecimento de que as amostras eram iguais, para garantir a imparcialidade dos resultados gerados. Foram escolhidas ainda duas amostras distintas, uma na forma de grânulos e outra na forma de esferas para verificar as variações existentes quando se trabalha com materiais diferentes. Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 01.

Tabela 01 – Resultados de Solúveis em Xileno via úmida

Resultados de Solúveis em Xileno via úmida (%)										
	An. 1	An. 2	An. 3	An. 4	An. 5	An. 6	An. 7	An. 8	An. 9	An. 10
Polipropileno - Esfera	4,13	3,96	4,27	4,05	3,79	4,05	4,46	5,30	4,86	4,14
	4,31	4,13	4,35	4,83	4,04	4,13	4,26	4,54	4,25	4,31
	4,44	3,79	3,97	4,09	4,51	3,88	3,98	4,56	4,42	4,05
	3,69	3,85	4,43	4,31	4,21	4,09	4,19	3,83	4,39	4,23
	3,85	4,23	4,19	4,13	4,12	3,70	4,38	4,66	5,02	4,22
Polipropileno - Granulado	4,51	4,52	4,22	4,34	4,45	3,96	4,27	4,16	4,53	4,05
	4,80	4,78	3,94	3,96	3,95	3,93	4,22	4,15	4,16	4,09
	4,27	4,99	4,26	4,20	4,12	4,08	3,98	4,54	4,34	4,44

Teste de Normalidade dos Dados

Com os dados gerados, iniciou-se a verificação estatística do sistema de medição, primeiramente com a avaliação da distribuição normal dos dados.

A distribuição normal é a mais importante das distribuições contínuas. É assim denominada, pois é a distribuição normalmente encontrada na natureza e nos processos de manufatura e comercial em um negócio. Dados que seguem a

distribuição normal garantem melhor previsibilidade do seu comportamento, pois seguindo o Teorema do Limite Central se tem que quando se utilizar a média dos indivíduos as distribuições dos dados tenderão a se normalizarem.

Realizou-se um estudo prévio dos dados coletados no laboratório de controle de qualidade do RS com o intuito de avaliar se os dados seguiam, de fato, uma distribuição normal.

Há várias formas de se determinar se uma distribuição contínua é normal. A mais simples é montar um histograma com os dados gerados e avaliar se o desenho possui formato de “sino”. Por sua vez, este modelo não apresenta grande precisão e pode ser considerado subjetivo. Para eliminar a subjetividade deste modelo, aplicou-se um teste de hipótese que determina a normalidade da distribuição. Neste estudo, utilizou-se o

teste de Anderson – Darling, que é um teste baseado na função distribuição cumulativa empírica. O resultado gerado neste teste é um valor p, que quando menor do que 0,05, maior é a possibilidade de a distribuição não seguir uma distribuição normal. Se o valor for superior a 0,05, há fortes evidências de que a distribuição seja normal. O teste plota os resultados gerados em uma reta e quando mais os pontos estiverem próximos da reta, maior é a evidência de que os dados seguem uma distribuição normal.

Para avaliar a situação atual do laboratório do RS foi realizada uma coleta de dados com dois tipos de materiais e diferentes analistas.

As figuras 02 e 03 mostram o teste de normalidade dos dados gerados no laboratório do RS.

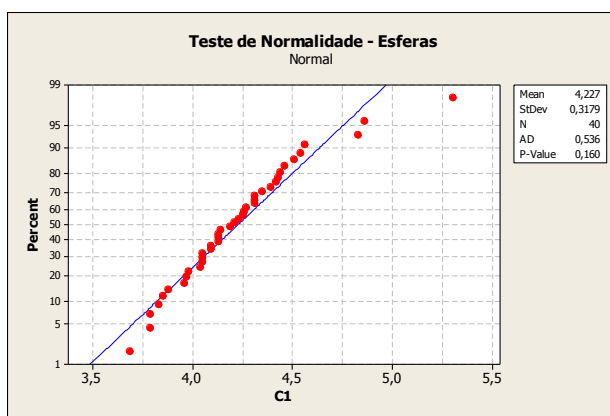


Figura 02 – teste de normalidade das amostras em esferas

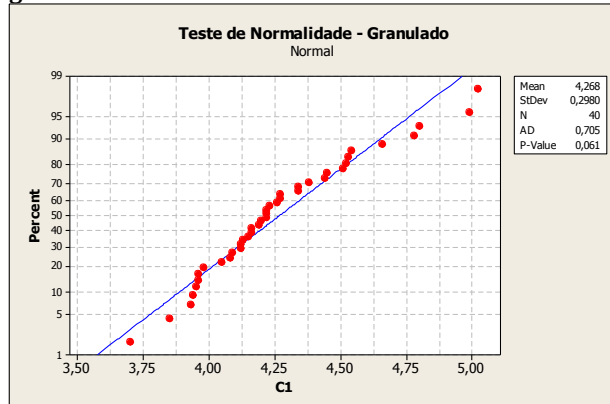


Figura 03 – teste de normalidade das amostras em granulado

A análise dos gráficos acima permite concluir que os dados gerados seguem a distribuição normal, pois apresenta um p valor maior do que 0,05 para os diferentes materiais analisados. A análise dos dados foi realizada de forma separada: esfera/grão para permitir um comparativo entre os materiais e o aspecto físico dos mesmos. Surgiu a dúvida com relação à possibilidade de os resultados apresentarem comportamento diferente quando analisados aspectos físicos distintos. Esta hipótese não foi observada no teste de normalidade.

Box Plot dos dados

Concluído o teste de normalidade dos dados, surgiu a idéia de realizar um Boxplot dos dados gerados para comparar o comportamento de saída dos dados. O Boxplot permite uma visualização instantânea da variação do processo, sendo possível avaliar tanto a tendência central do processo quanto a dispersão da distribuição dos dados. A figura 04 apresenta o boxplot dos diferentes materiais analisados.

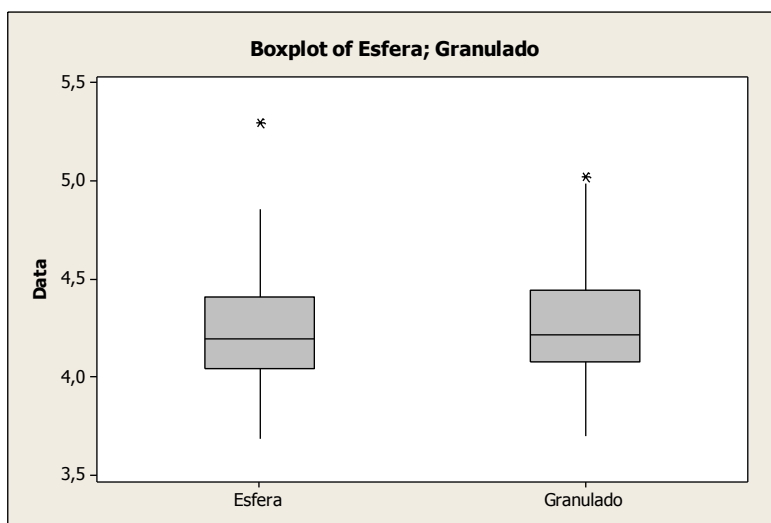


Figura 04 – Box plot da coleta de dados de solúveis em xileno

A disposição do Boxplot acima permite avaliar que não há diferença significativa entre os resultados de solúveis em xileno obtidos em amostras de material com diferença de granulometria (aspecto físico). Sabe-se que a amostra em esfera quando transformada em grânulos recebe incorporação de aditivos e que estes podem ainda alterar o resultado da fração amorfa detectável no ensaio de Solúveis em Xileno, conforme cita a norma ASTM 5492 de 2006. A variação não foi observada no boxplot supracitado e, com isso, pode-se concluir que o material

utilizado na coleta de dados não possui aditivos que possam interferir nos percentuais de solúveis em xileno.

Análise de Capabilidade

O estudo de capabilidade do processo é a determinação da probabilidade de um dado processo gerar defeitos. A capabilidade é medida em desvios padrões. Um processo perfeitamente centrado, onde a distância entre a média e o limite de especificação é de 6 sigma, gera 2 defeitos/ bilhão. Esta é uma situação hipotética, mas serve como referencial para o estudo em questão.

Para avaliar as mudanças propostas ao sistema de medição, será realizada a análise da capacidade do atual processo de medição e o novo processo de medição, com as mudanças propostas. A idéia neste caso é avaliar a evolução das alterações realizadas no processo de medição, utilizando como base comparativa a probabilidade de falhas de cada um dos processos de medição. Neste sentido, será avaliado o processo de medição antes e depois e apontar a probabilidade de falha de cada um deles

com o intuito de medir o avanço com as alterações que serão propostas. Segundo Slack (2002) a capacidade do processo é a medida da aceitabilidade da variação do processo. Werkema (1995) considera que os índices de capacidade informam se o processo é capaz ou não de produzir produtos que atendam às especificações dos clientes.

Segue abaixo as figuras 05 e 06 com os respectivos estudos de capacidade das amostras analisadas durante a coleta de dados:

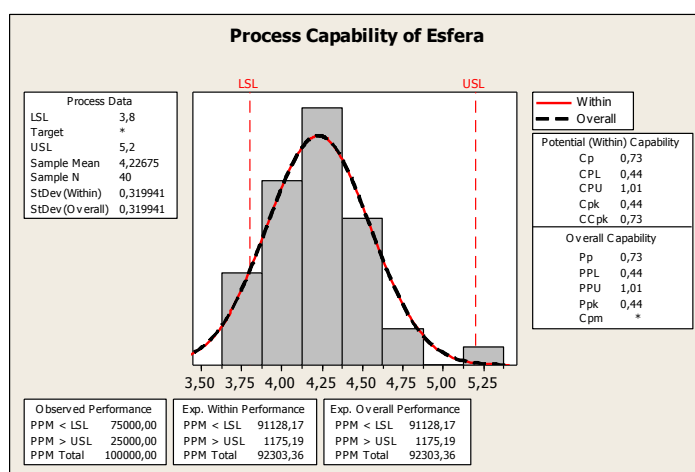


Figura 05 – estudo de capacidade das amostras em esfera

O estudo de capacidade da característica de solúveis em xileno de resinas de polipropileno homopolímero na forma de grânulos aponta para um processo não capaz ($cp < 1$). Além disso, pode-se

observar uma grande probabilidade de incidências fora da faixa de especificação, na ordem de aproximadamente 92 mil incidências por milhão.

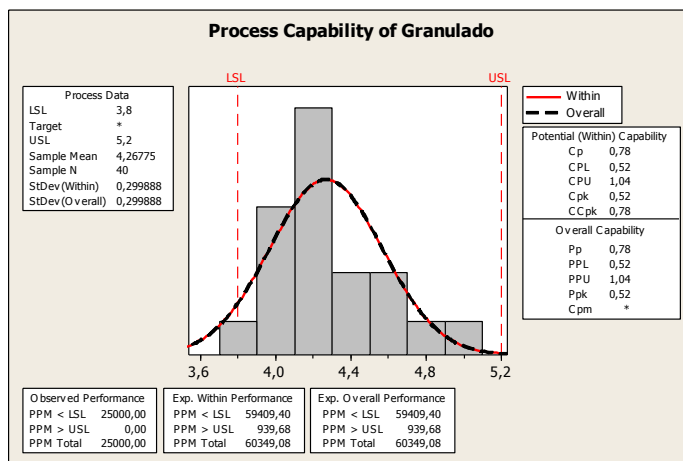


Figura 06 – estudo de capacidade das amostras na forma de granulado

O estudo de capacidade da característica de solúveis em xileno de resinas de polipropileno na forma de grânulos aponta para um processo não capaz ($cp < 1$). Além disso, pode-se observar uma grande probabilidade de incidências fora da faixa de especificação, na ordem de aproximadamente 60 mil incidências por milhão.

A análise realizada permite concluir que existe grande variabilidade nos resultados gerados pelo laboratório de controle de qualidade o que provavelmente está comprometendo a confiabilidade dos mesmos. A grande variabilidade deve ser atacada com o intuito de tornar o processo capaz e reduzir a probabilidade de falhas no processo de medição.

Definição da variável crítica para o processo de medição – Etapa Análise (A)

A variabilidade dos dados é inerente ao processo de medição. Nesta análise em específico, mesmo que o estudo realizado aponte para o principal responsável pela

alta variabilidade das análises, a alteração proposta foi direcionada para o sistema de medição, pois a variação gerada por 40 analistas dificilmente será sanada com a realização de treinamentos. Sendo a metodologia definida, a proposta é engessar as fontes de variação com o intuito de eliminar a variável analista do processo de medição.

Brainstorming

Com isso buscou-se mapear as variáveis que possuem maior influência na variável resposta. Para esta etapa, realizou-se um brainstorming com os analistas que realizam o ensaio de solúveis em xileno. O brainstorming é utilizado para gerar muitas idéias de maneira rápida, para identificar possíveis causas de um problema. Essa ferramenta encoraja a criatividade, cria envolvimento entre os membros de um grupo, gera excitação e energia (MONSANTO, 2005). Os resultados obtidos estão detalhados na tabela 02, disposta abaixo:

Tabela 02 – Brainstorming ensaio de Solúveis em Xileno

Brainstorming	
Quem deu a Ideia	Ideia do Brainstorming
Analista 1	Condição emocional do analista
Analista 2	Capacitação do analista
Analista 3	Condição física do analista
Analista 1	Instrução de trabalho incorreta
Analista 1	Procedimento padrão de trabalho
Analista 5	Condicionamento da amostra
Analista 4	Homogeneidade da amostra
Analista 2	Deterioração do equipamento
Analista 1	Técnica analítica
Analista 1	Instrumento de medição
Analista 4	Climatização do ambiente
Analista 2	Limpeza do local
Analista 1	Controle de temperatura do banho
Analista 1	Encaixe do termopar no balão
Analista 5	Tempo em que a amostra fica solubilizando a 135°C
Analista 1	Controles de temperaturas e temporização em todas as etapas
Analista 2	Adequação do procedimento em uso a IT
Analista 3	Controle de temperatura do banho
Analista 1	Agitação na fase de resfriamento

Espinha de Peixe (Ishikawa)

Tendo sido mapeado os pontos passíveis de apresentarem impacto na variável resposta, montou-se um diagrama de causa e efeito (espinha de peixe), para melhor detalhamento das variáveis do processo de medição. O diagrama de causa e efeito mostra graficamente potenciais causas de um problema. A disposição do diagrama mostra as

relações causais entre as possíveis causas do efeito estudado (MONSANTO, 2005). Sendo assim, a espinha de peixe é uma ferramenta que permite explorar e identificar graficamente todas as potenciais causas relacionadas a um problema. A figura 07 apresenta a espinha de peixe para o problema “alta variabilidade dos resultados de solúveis em xileno”.

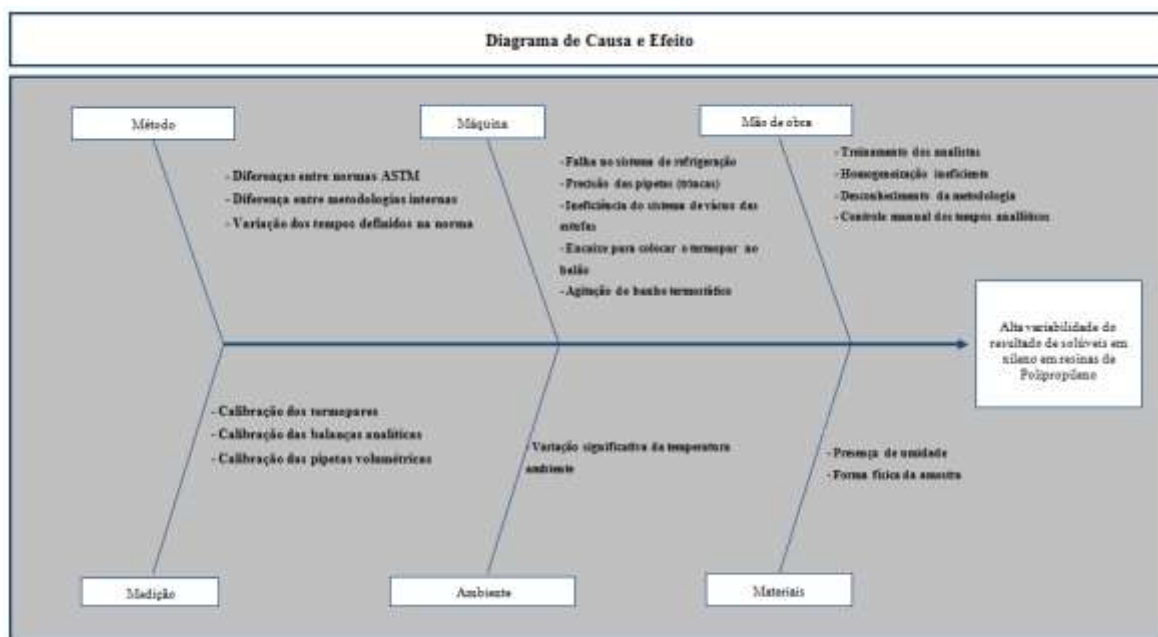


Figura 07 – Diagrama de Causa e Efeito do ensaio de solúveis em xileno

Com o intuito de fixar as etapas críticas do processo de determinação da característica de solúveis em xileno, elaborou-se um projeto com programação e temporizadores para controlar os tempos e as faixas de temperatura do ensaio. Além disso, nos momentos em que exista a necessidade de intervenção do analista, alarmes sonoros iriam indicar a necessidade de atuação.

Etapas Melhoria (I)

Com isso, todos os pontos críticos, que anteriormente impactavam em alta variabilidade no processo de medição foram engessados com o intuito de eliminar a variável analista do processo de medição. Após isso, a coleta de dados iniciada no momento de mapear a situação foi repetida com o mesmo material com o objetivo de comparar os ganhos com as alterações. Os resultados obtidos na segunda coleta de dados estão dispostos na tabela 03:

Tabela 03 – resultados de solúveis em xileno após modificações

Resultados de Solúveis em Xileno via úmida - após modificações										
	An. 1	An. 2	An. 3	An. 4	An. 5	An. 6	An. 7	An. 8	An. 9	An. 10
Polipropileno - Esfera	4,23	4,16	4,24	4,18	4,22	4,27	4,33	4,23	4,27	4,39
	4,32	4,17	4,18	4,17	4,33	4,34	4,25	4,28	4,23	4,14
	4,18	4,3	4,26	4,29	4,19	4,18	4,18	4,33	4,28	4,25
	4,3	4,28	4,33	4,21	4,16	4,13	4,25	4,17	4,17	4,13
Polipropileno - Granulado	4,23	4,28	4,17	4,13	4,3	4,25	4,19	4,26	4,18	4,25
	4,26	4,23	4,18	4,32	4,16	4,32	4,25	4,21	4,25	4,28
	4,29	4,21	4,3	4,25	4,16	4,19	4,27	4,31	4,36	4,19
	4,14	4,32	4,31	4,27	4,26	4,15	4,29	4,34	4,19	4,17

Realizou-se então um estudo de capacidade dos resultados obtidos após as modificações com o objetivo de

comparar os resultados após as modificações. As figuras 08 e 09 apresentam o estudo de capacidade:

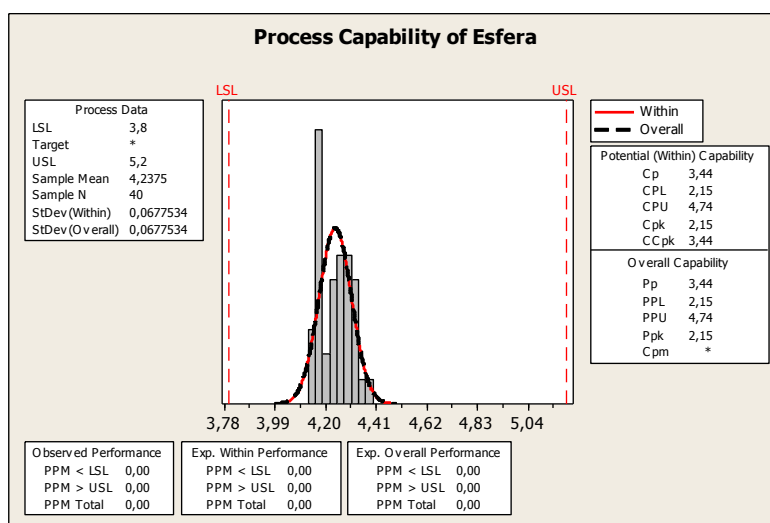


Figura 08 – estudo de capacidade das amostras em esfera após modificações

A nova coleta de dados para amostras em esferas apresentou um processo capaz, com valor de cp extremamente alto (3,44) e ainda uma taxa nula de probabilidade de incidências fora da faixa de especificação. O que anteriormente era comum encontrar valores fora da faixa de especificação passou a ser algo estatisticamente improvável. O mesmo pode ser observado para o estudo de capacidade de amostras em granulado de polipropileno. Um cp extremamente maior do que o anterior, o

que aponta para um processo capaz e ainda uma taxa nula de incidências fora da faixa de especificação do produto. Sendo assim, pode-se concluir que as ações tomadas com o intuito de reduzir a variabilidade do processo de medição foram eficazes. Pode-se observar ampla redução da variação dos resultados gerados, um aumento circunstancial do cp dos processos medidos e uma redução significativa da probabilidade de incidências fora dos limites de especificação.

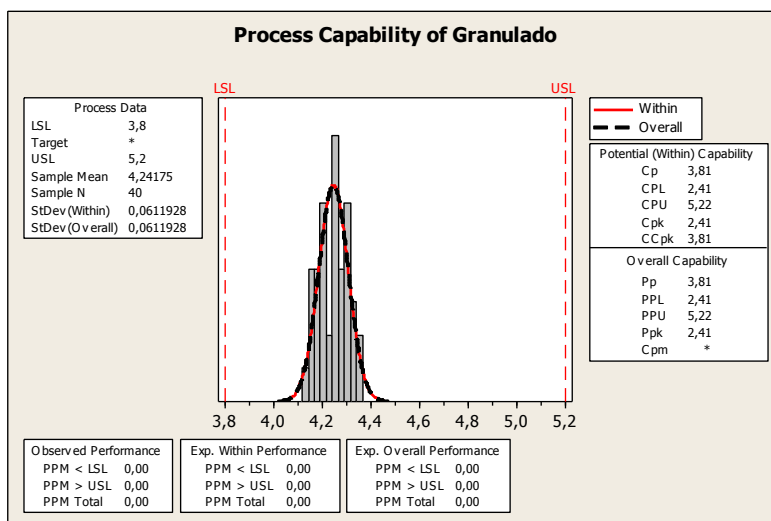


Figura 09 – estudo de capacidade das amostras na forma de granulado após modificações

Etapa Controlar (C)

Sabendo-se da existência de outros laboratórios de controle de qualidade que realizam o ensaio de determinação de solúveis em xileno em resinas de Polipropileno e da importância de garantir a equivalência dos resultados obtidos para viabilizar o mix de produção e a flexibilização logística dos produtos produzidos, optou-se por realizar um estudo de R&R para comparativo dos resultados obtidos por cada um dos laboratórios e ainda verificar o sistema de medição.

Seguindo então no processo de levantar as informações sobre o processo de medição, realizou-se um estudo de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) com o objetivo de verificar o nível de confiança dos resultados gerados e ainda mapear os pontos que estão apresentando maior variação nos resultados finais de solúveis em xileno. Um estudo de R&R é a avaliação do sistema de medição, para saber se este realmente nos mostra como o processo está se comportando (Monsanto, 2005).

Para este estudo foram mapeados todos os laboratórios de controle de qualidade que

realizam o ensaio na Braskem no Brasil e foi enviado amostras com diferentes teores de solúveis em xileno. Foram separadas 4 amostras, duas com aspecto físico na forma de esferas e outras duas na forma de grânulos. Os laboratórios não teriam acesso a esta informação, mas teriam que repetir 3 vezes cada uma das amostras disponibilizadas. A tabela 04 mostra os resultados obtidos para cada um dos laboratórios.

A figura 10 mostra os gráficos obtidos no estudo de R&R realizado com base nos resultados obtidos na coleta de dados realizada entre os laboratórios do Brasil.

O primeiro gráfico do estudo acima representa o %RR do sistema de medição. As barras Part to Part representam a variação entre os tipos de materiais e as barras Gage R&R a variação do sistema de medição. Quando maior a diferença entre estas duas, melhor será o sistema de medição. Pode-se observar que existe grande variação entre as duas colunas o que aponta para um bom sistema de medição. Pode-se observar ainda que a reprodutibilidade do sistema de medição tem maior influência no estudo de R&R, fato este comprovado pelo tamanho das colunas deste parâmetro.

Tabela 04 – Coleta de dados para estudo R&R nos laboratórios do Brasil

Resultados Solúveis em Xileno (%) - Laboratórios do Brasil						
Am.	Aspecto	SP	SP-2	RJ	RS	RS-2
1	Esfera	4,43	3,98	4,00	3,80	4,10
1	Esfera	4,50	3,95	3,70	3,81	4,04
1	Esfera	4,58	4,00	3,90	3,82	4,12
2	Grão	4,52	4,08	3,60	3,70	4,10
2	Grão	4,49	4,15	4,20	3,79	4,02
2	Grão	4,53	4,05	3,70	3,72	4,06
3	Esfera	7,97	7,19	7,50	6,88	7,42
3	Esfera	8,22	7,31	7,30	6,93	7,37
3	Esfera	8,36	6,65	7,50	6,83	7,35
4	Grão	8,86	6,99	8,00	6,19	7,58
4	Grão	9,06	7,22	8,00	6,19	7,50
4	Grão	8,56	6,82	7,70	6,22	7,52

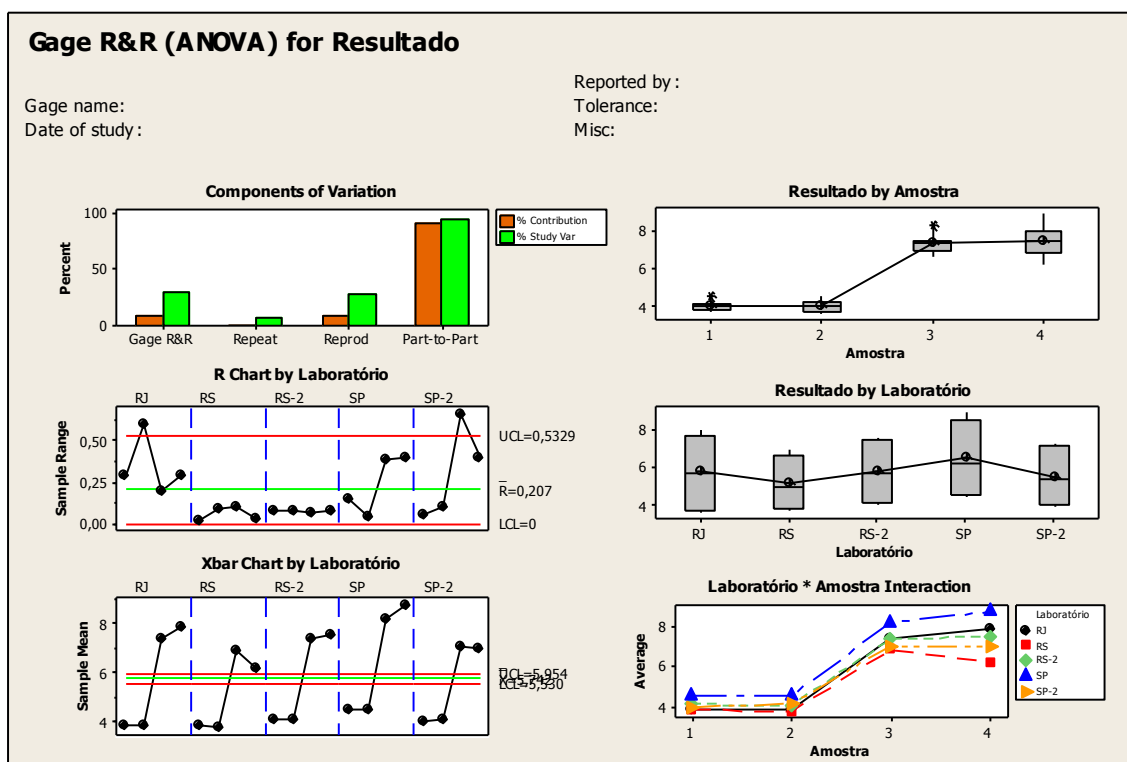


Figura 10 – Estudo de R&R interlaboratorial

O segundo gráfico mostra um boxplot das amostras, onde é possível observar que as amostras 3 e 4 possuem valores de solúveis em xileno maiores do que as amostras 1 e 2, e que ainda a amostra 4

apresentou uma maior variabilidade nos resultados obtidos.

O terceiro gráfico representa a repetibilidade (carta de controle de amplitude), que significa a diferença entre as repetições das medições na mesma

amostra. Em tese os pontos não deveriam estar fora dos limites de controle e deveriam ainda ter variação similar para todos os laboratórios. Tal fato não é observado, pois houve duas incidências fora dos limites de controle e ainda podem-se observar variações distintas entre os laboratórios. Pode-se observar ainda que a variação nos laboratórios do Sul é significativamente inferior se comparada aos demais laboratórios.

O quarto gráfico mostra todos os resultados dos 5 laboratórios. O tamanho dos Box plots deveriam ser semelhantes e a linha que interliga as medianas deveria ser uma reta horizontal. Como o comportamento não é observado, pode-se concluir que o estudo em questão permite otimizações no processo de medição dos outros laboratórios, com o intuito de buscar uma reta horizontal e Box plots com as mesmas dimensões.

O quinto gráfico representa a reprodutibilidade (carta de controle das médias). O formato do gráfico deveria ser semelhante para todos os laboratórios.

Como se observa a existência de pequenas variações entre os laboratórios, pode-se concluir que a reprodutibilidade está adequada, mas permite atuação nos processos com o intuito de melhorá-la.

Já o último gráfico indica a variação encontrada para as medições de cada analista. As linhas que representam os analistas deveriam estar sobrepostas, o que não é observado, pois existe variação nos valores de cada uma das amostras. De qualquer forma, é possível observar leve tendência de comportamento equivalente nas retas plotadas no gráfico.

O Gage R&R representa o % de a variação dos vários componentes do sistema de medição calculados como desvio padrão e tolerância. Este valor, quando acima de 30%, recusa o sistema de medição, quando maior do que 10% e menor que 30% o sistema de medição pode ser aceitável dependendo de sua criticidade, e quando menor que 10% o sistema de medição é aceitável. Segue abaixo os resultados obtidos para este estudo.

Gage R&R Study - ANOVA Method

Source	% Contribution	
	VarComp	(of VarComp)
Total Gage R&R	0,35427	8,52
Repeatability	0,02185	0,53
Reproducibility	0,33242	8,00
Laboratório	0,20655	4,97
Laboratório*Amostra	0,12587	3,03
Part-To-Part	3,80204	91,48
Total Variation	4,15631	100,00

Study Var

Source	StdDev (SD)	%Study Var	
		(6 * SD)	(%SV)
Total Gage R&R	0,59521	3,5712	29,20
Repeatability	0,14783	0,8870	7,25
Reproducibility	0,57656	3,4593	28,28
Laboratório	0,45447	2,7268	22,29
Laboratório*Amostra	0,35478	2,1287	17,40
Part-To-Part	1,94988	11,6993	95,64
Total Variation	2,03870	12,2322	100,00

Number of Distinct Categories = 4

O resultado igual a 29,2% aponta para um processo de medição aceitável, dependendo da sua criticidade. Pode-se concluir que existem oportunidades de melhoria nos outros laboratórios, as quais quando tratadas poderão reduzir acintosamente os resultados do estudo de R&R. Sugere-se neste caso que as alterações realizadas no laboratório do RS, para reduzir a variabilidade do processo de medição, sejam replicadas para os demais laboratórios.

O número de categoria igual a 4 indica um sistema de medição aceitável. O número de categorias está associado à capacidade de resolução/ discriminação do sistema de medição, que quanto maior o valor, melhor o sistema de medição, pois é capaz de medir com maior clareza diferentes tipos de grandeza.

Pode-se concluir ainda que o maior problema está relacionado com a Reprodutibilidade (28,28%). Isto indica que os laboratórios estão realizando o ensaio de determinação de solúveis em xileno de forma diferente. A primeira impressão neste caso apontaria para uma necessidade clara de treinamento/ capacitação dos analistas. Sugere-se, no entanto, o engessamento das etapas passíveis de apresentar variação no resultado final, conforme já foi realizado no laboratório do Rio Grande do Sul, que obteve bons resultados para um problema aparentemente semelhante. A fixação das etapas críticas provavelmente apresentará resultado satisfatório na proposta de reduzir a variabilidade dos resultados obtidos nos diferentes laboratórios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se perceber que os projetos 6 sigma e as ferramentas que o compõem são armas poderosas para reduzir a variabilidade e a probabilidade de falhas dos processos produtivos, permitindo ainda um fluxo lógico no tratamento de um problema que aparentemente não possui solução clara para ser sanado.

As ferramentas de qualidade após aplicação apresentaram uma redução significativa na variabilidade dos resultados obtidos na determinação da característica de Solúveis em Xileno. Com isso, além de aumentar a precisão dos resultados obtidos, houve redução da probabilidade de falhas geradas. O avanço nestas variáveis garante a qualidade do produto final e ainda fornece auxílio para os responsáveis pelo processo produtivo. O estudo comparativo entre os laboratórios de controle de qualidade

permite concluir que as alterações propostas no laboratório de controle de qualidade do Rio Grande do Sul apresentaram uma boa equivalência na comparação com os demais laboratórios. Este resultado, no entanto, pode ser otimizado com o intuito de aumentar a Repetibilidade e Reprodutibilidade dos resultados gerados. Sugere-se a replicação deste trabalho nos demais laboratórios. O provável resultado neste caso será um aumento da confiabilidade dos resultados, o que gerará o aumento da percepção da qualidade do produto final e a flexibilização do mix de produção. A flexibilização do mix de produção gera ganhos logísticos e aumento de produtividade das plantas industriais, pois flexibiliza a produção e ainda permite estudos logísticos da cadeia produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM 5492-06 – *Standard Test Method for Determination of Xylene Solubles in Polypropylene Plastics*.

Harry, M.; Schroeder, R. (1998). *Six Sigma: a Breakthrough Strategy for Profitability*. New York: Quality Progress.

Jenny, J. (2004). *Six Sigma*, publicado em: 11/12/2010 em: Qualidade – As Ferramentas Essenciais, Adaptado de Werkema (2004, p. 24).

Monsanto. (2005). *Six Sigma: treinamento six sigma para Green Belts*. São Paulo, Pompéia.

Pande, P. Neuman, R. Cavanagh, R. (2001). *Estratégia Six Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando o seu desempenho*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Werkema, M. C. (1995). *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. 4 ed. Belo Horizonte: QFCO.

Werkema, M. C. (2006). *Lean six sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing*. Belo Horizonte: Werkema, v.4.