

TAUBATÉ

Tássia Priscila de Paula Silva

MELHORIA NA LAVAGEM DE CHAPAS DE VIDRO PLANO COM
APLICAÇÃO DE ÁCIDO ADÍPICO LÍQUIDO UTILIZANDO SEIS SIGMA

Taubaté – SP

2017

Tássia Priscila de Paula Silva

**MELHORIA NA LAVAGEM DE CHAPAS DE VIDRO PLANO COM
APLICAÇÃO DE ÁCIDO ADÍPICO LÍQUIDO UTILIZANDO SEIS SIGMA**

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Pós Graduação em Especialização em Engenharia da Qualidade – Lean Seis Sigma Green Belt do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

Silva, Tássia Priscila de Paula

S586m

Melhoria na lavagem de chapas de vidro plano com aplicação de ácido adípico líquido utilizando seis sigma. / Alexandre dos Santos – 2017.

94f. : il; 30 cm.

Monografia (Especialização em Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma Green Belt) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD, Departamento de Engenharia Mecânica.

TÁSSIA PRISCILA DE PAULA SILVA

**MELHORIA NA LAVAGEM DE CHAPAS DE VIDRO PLANO COM APLICAÇÃO
DE ÁCIDO ADÍPICO LÍQUIDO UTILIZANDO SEIS SIGMA**

Monografia apresentada para obtenção do
Certificado de Pós Graduação em Especialização
em Engenharia da Qualidade – Lean Seis Sigma
Green Belt do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Juliana de Lima Furtado Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional, especialmente a meu esposo pela paciência e dedicação. Ao meu orientador Prof. Álvaro Azevedo Cardoso e co-orientadora Juliana Furtado, pelos ensinamentos e colaboração para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso, pela habilidade com que orientou este trabalho e pelos ensinamentos durante as aulas.

À Prof. Juliana Furtado, pelo auxílio técnico na elaboração do projeto e pelos ensinamentos durante as aulas.

Aos meus colegas de trabalho, companheiros de projeto Lean Manufacturing “Aplicação de Ácido Adípico Líquido”, pelo desenvolvimento e implementação do projeto.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é tornar viável a utilização de Ácido Adípico Líquido, AAL, em vidro plano automotivo, a fim de aumentar a vida útil do vidro, protegendo-o contra o processo de irisação. Este projeto, em andamento em uma Empresa de Vidro Plano no estado de São Paulo, é dividido em duas etapas: Aplicação de AAL e Lavagem do vidro com aplicação de AAL. Este trabalho irá tratar apenas da lavagem e tem como foco, melhorar a remoção do AAL da superfície do vidro e seguirá as etapas do ciclo DMAIC:

- **Definir:** definição dos principais fatores que influenciam e contribuem para a eficiência do processo de lavagem do vidro. Foi definido que os parâmetros que mais influenciavam a lavagem eram: temperatura da água, dureza das cerdas e material das escovas da máquina de lavar e pressão das escovas sobre a superfície do vidro.
- **Medir:** medição do grau de influência de cada um dos fatores sobre o processo de lavagem. Nesta etapa, foram coletados dados de testes práticos. Após essa fase, obteve-se dados experimentais para decidir quais as ações deveriam ser tomadas.
- **Analisar:** análise dos resultados dos testes de lavagem, estudo da influência de cada parâmetro alterado. Concluiu-se que quanto mais alta a temperatura da água de lavagem e quanto maior a dureza das escovas, melhor a remoção de AAL.
- **Implementar:** implementação de melhorias levantados nas etapas DEFINIR e MEDIR. Análise da eficácia das melhorias realizadas no processo. Melhorias no processo de lavagem baseadas nos dados coletados nas fases medir e analisar.
- **Controlar:** monitoramento das melhorias implantadas e verificação da necessidade de novas melhorias. Realização de GDD (gestão do dia-a-dia).

As condições de lavagem antes da implementação do projeto eram:

- Temperatura da água: ambiente, com aquecimento em apenas um tanque
- Diâmetro das cerdas: 0,30 mm
- Distância entre as escovas: não havia controle sobre este parâmetro

Após a realização dos testes, foi estabelecida a melhor condição de lavagem:

- Temperatura da água: 45 °C
- Diâmetro das cerdas: 0,50 mm
- Distância entre as escovas: sobrepostas em 1cm

Palavras Chave: Qualidade; Produtividade; DMAIC; Processo Produtivo de Vidro Float; Defeitos do Vidro Plano.

ABSTRACT

The main objective of this work is to make feasible the use of adipic liquid acid, ALA, in automotive flat glass, in order to increase the glass useful life, protecting it against the irisation process. This project, in progress in a Flat Glass Company of São Paulo state, is divided into two stages: ALA application and Glass Washing with ALA application. This monograph will only deal the washing step and focuses on improving process of removing ALA from the glass surface. The preparation of this work will follow the stages of the DMAIC cycle:

Define: definition of main factors that influence and contribute to the efficiency of the glass washing process.

Measure: measuring the influence degree of each factors on washing process. In this stage, data will be collected from practical tests.

Analyze: results analysis of washing tests, studying the influence of each altered parameter.

Implement: implementation of verified improvements in the DEFINE and MEASURE stages. Effectiveness analysis of improvements made in the process.

Control: monitoring the implemented improvements and checking the need for further improvements.

In order to find the ideal conditions for washing flat glass with ALA application, improvements will be made to the washing machine and subsequent tests, until complete removal (100%) of the ALA from the glass is obtained. Therefore, it will be necessary to understand the chemical and physical adhesion process of the adipic liquid acid on glass surface, as well as the mechanism that controls the washing.

After 4 batches of tests were performed, the best wash condition was established:

- Water temperature: 45°C
- Bristle diameter: 0.50mm
- Distance between brushes: overlapped in 1cm.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Conceitos do Lean Thinking.....	36
Tabela 2 Resultados da Lavagem Após Troca das Escovas	75
Tabela 3 Teste de Lavagem - Ago_2015.....	78
Tabela 4 Teste de Lavagem - T1_Mar_2016.....	78
Tabela 5 Teste de Lavagem - T2_Set_2016.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolução do Conceito de Controle da Qualidade	16
Figura 2 Ciclo PDCA	18
Figura 3 Escala Sigma de Qualidade	22
Figura 4 Post-its usados em Brainstorming	24
Figura 5 Diagrama de Ishikawa	25
Figura 6 Diagrama de Pareto	27
Figura 7 Exemplo de Mapa de Processo	31
Figura 8 Exemplo de Matriz de Priorização	33
Figura 9 Princípios do Lean Thinking	35
Figura 10 Fases DMAIC	38
Figura 11 Escolha de Metodologia para Resolução de Problemas	39
Figura 12 Imagem do Palácio de Versalhes	42
Figura 13 Processo de Fabricação Float	44
Figura 14 Demanda Mundial de Vidro Float em 2011	46
Figura 15 Dados da capacidade nominal de produção de vidro plano no Brasil (ton/dia)	48
Figura 16 Consumo de vidro plano no Brasil (ton/ano)	48
Figura 17 Participação do Vidro Float no Mercado Brasileiro	49
Figura 18 Para-brisa automotivo, vidro laminado e vidro temperado	49
Figura 19 Efeitos de Alguns Corantes	50
Figura 20 Composição Básica do Vidro Plano	51
Figura 21 Mecanismo da Irisação	54
Figura 22 Imagem de Suposta "Santa" em Janela	54
Figura 23 Fluxograma para escolha da metodologia Seis Sigma	60
Figura 24 Vidro com Ácido Adípico em Pó (esquerda) e Vidro com AAL (direita)	63
Figura 25 Experimentos de Aplicação de AAL	64
Figura 26 Diagrama de Ishikawa	67
Figura 27 Critérios de avaliação FIRE	68
Figura 28 Gráfico de Pareto	69
Figura 29 Esquema da Máquina de Lavar	71
Figura 30 Planejamento dos Testes de Lavagem Iniciais	72

Figura 31 Resumo dos Testes Preliminares de Lavagem	73
Figura 32 Troca das Escovas Rotativas	74
Figura 33 Tanques Reservatórios de Água	77
Figura 34 Montagem dos Testes de Lavagem	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Mapeamento do processo - etapas macros	87
Anexo 2 Mapeamento do processo de lavagem.....	88
Anexo 3 Master Plan	89
Anexo 4 Resultados do Teste de Lavagem 1 – 14_04_2016	90
Anexo 5 Resultados do Teste de Lavagem 2 – 03_05_2016	91
Anexo 6 Resultados do Teste de Lavagem 3 – 20_05_2016	92
Anexo 7 Matriz de Priorização FIRE.....	93
Anexo 8 Matriz de Resultados.....	94

SUMÁRIO

1. Introdução	15
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivo	14
2. Revisão Bibliográfica.....	15
2.1 Qualidade	16
2.1.1 História da Qualidade no mundo.....	15
2.1.2 História da Qualidade no Brasil.....	20
2.2 Produtividade	20
2.2.1 Metodologia Seis Sigma.....	20
2.2.2 Projeto Seis Sigma e Ferramentas Utilizadas	21
2.2.2.1 Brainstorming	22
2.2.2.2 Diagrama de Ishikawa.....	23
2.2.2.3 Diagrama de Pareto	25
2.2.2.4 Mapeamento de Processo	27
2.2.2.5 Matriz de Priorização.....	31
2.2.3 Lean Manufacturing.....	33
2.2.3.1 Os Princípios do Lean Manufacturing	34
2.2.3.2 A Importância do Lean Manufacturing nas Empresas.....	36
2.3 DMAIC	37
2.3.1 Definir	38
2.3.2 Medir.....	40
2.3.3 Analisar.....	39
2.3.4 Implementar	39
2.3.5 Controlar	40
2.4 Processo Produtivo do Vidro Float.....	40
2.4.1 A História do Vidro	41
2.4.2 O Processo Float	42
2.4.3 A Importância do Vidro na Economia Brasileira e Mundial	44
2.5 Defeitos no Vidro Plano	50
2.5.1 Composição do vidro.....	50
2.5.2 Defeitos ópticos e visuais.....	51
2.5.3 Irisação	52

3. Metodologia.....	56
3.1 Escolha da Metodologia de Trabalho.....	56
3.2 Fase Definir.....	56
3.2.1 Elaboração dos Testes de Aplicação.....	57
3.2.2 Elaboração dos Testes de Lavagem.....	57
3.3 Fase Medir.....	56
3.4 Fase Analisar.....	57
3.5 Fase Implementar.....	58
3.5.1 Testes em Campo (Clientes).....	58
3.6 Fase Controlar.....	58
4. Resultados.....	59
4.1 Escolha da Metodologia de Trabalho.....	60
4.2 Fase Definir.....	60
4.2.1 Elaboração dos Testes de Aplicação.....	63
4.2.2 Elaboração dos Testes de Lavagem.....	65
4.3 Fase Medir.....	65
4.4 Fase Analisar.....	70
4.5 Fase Implementar.....	74
4.5.1 Troca das Escovas Rotativas.....	74
4.5.2 Aquecimento dos três tanques reservatórios de água.....	76
4.6 Fase Controlar.....	80
5. Conclusão.....	80
6. Referências Bibliográficas.....	82

1. Introdução

O presente trabalho trata de um projeto Seis Sigma, em implantação em uma fábrica de vidros planos no Estado de São Paulo.

1.1 Justificativa

Este projeto se justifica pela necessidade de uma fabricante de vidros planos em aumentar a vida útil do vidro e protegê-lo, de forma eficaz, contra o processo de irisação, reação química que causa a corrosão da superfície do vidro, provocando distorções ópticas.

Com o aumento da proteção do vidro contra irisação, o processo de exportação deste produto torna-se mais seguro e viável. A exportação de vidros automotivos para países da América do Sul e principalmente para países de outros continentes é morosa e submete o vidro à condições climáticas que favorecem a irisação.

A implementação do AAL resultará na diminuição de reclamações por defeitos de irisação, representando um ganho financeiro considerável para a empresa.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é encontrar as condições ideais para o processo de lavagem de chapas de vidro com aplicação de ácido adípico líquido (AAL), realizando melhorias no processo de lavagem, até a obtenção da remoção completa (100%) de resíduos de ácido adípico. Para tanto, é necessário o entendimento do mecanismo que rege a lavagem.

A aplicação de ácido adípico líquido em vidros planos tem o intuito de aumentar a vida útil do vidro em estoque, melhorando sua resistência química ao processo de irisação. Portanto, o objetivo principal deste projeto é aumentar a vida útil do vidro.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Qualidade

2.1.1 História da Qualidade no mundo

De acordo com O Movimento da Qualidade no Brasil, publicado por Fernandes (2011), “na conceituação moderna do termo, qualidade significa adequação ao uso. É o atendimento aos desejos e às aspirações dos consumidores, incluindo os aspectos econômicos, de segurança e desempenho. O conceito refere-se ao mais apropriado e não ao melhor ou ao mais caro.”

Tem-se registros da preocupação com a qualidade desde os primórdios das civilizações, porém, o conceito de controle de qualidade sofreu mudanças significativas com o advento da Revolução Industrial. Já no século XX, o avanço tecnológico e a concorrência entre os produtos e empresas levaram ao aumento do controle de qualidade, pois assegurar previamente a qualidade dos produtos e serviços se tornou indispensável. Neste cenário, teve surgimento o Controle Total da Qualidade. (FERNANDES, 2011)

A Figura 1 mostra a evolução do conceito de controle da qualidade durante a evolução das civilizações:



Figura 1 Evolução do Conceito de Controle da Qualidade
Fonte: FERNANDES, 2011

A Revolução Industrial trouxe mudanças significativas na administração das empresas, o processo industrial foi dividido em fases: marketing, concepção, projetos, aquisição, produção e comercialização. Desta forma, aumenta o distanciamento entre produtor e consumidor final, o que gerou problemas sérios com a qualidade do produto. Neste cenário, os artesãos transformaram-se em empregados e surgiu a figura do supervisor, que inspecionava e avaliava a qualidade do que era produzido. (FERNANDES, 2011)

Durante a Primeira Guerra Mundial, a demanda por material bélico, trouxe grandes problemas com a qualidade dos produtos, uma vez que falta de qualidade, implicava em falta de segurança. Neste contexto, surgiu o “inspetor de qualidade”, que assumiu a função do supervisor no controle da qualidade. Os inspetores de qualidade inspecionavam 100% dos produtos liberados pela produção, para evitar que produtos sem qualidade fossem utilizados pelos clientes. (FERNANDES, 2011)

No início do século XX surge a produção em massa com Henry Ford, que viu uma oportunidade de baratear o custo dos automóveis. Neste modelo de produção, já não era mais necessário o emprego de mão-de-obra especializada, no entanto, era requerida uma rigorosa inspeção dos produtos intermediários e finais. Porém, a inspeção 100% era muito custosa e ia contra os princípios do sistema, que era tornar os produtos mais acessíveis, deste modo, surgiram técnicas sofisticadas de controle de qualidade, como técnicas de amostragem. (FERNANDES, 2011)

Na década de 1920, **Dr. W Edwards Deming** visitou algumas empresas norte americanas e verificou que a inspeção de produtos ocorria apenas ao final do processo, procedimento, que segundo sua visão, estava incorreto, pois gerava apenas ações corretivas e não preventivas, gerando maiores custos no processo. Nos anos de 1930 e 1940, Dr. Deming desenvolveu uma das bases mais sólidas e utilizadas até hoje, no que diz respeito a qualidade, o ciclo PDCA, ou ciclo Deming. (CAMARGO, 2011) A Figura 2 mostra o Ciclo PDCA:



Figura 2 Ciclo PDCA
Fonte: CAMARGO, 2011

Na década de 1930, Walter Shewhart, trabalhando para a Bell System, nos Estados Unidos, desenvolveu técnicas de controle estatístico da qualidade, sendo a mais importante e conhecida, a **Carta de Controle Estatístico do Processo**. Suas técnicas, juntamente com as técnicas de amostragem de Dodge e Romig, ambos da Bell System, permitiram a realização da inspeção por amostragem, em vez da inspeção 100%. O uso da carta de controle estatístico do processo permitia prever quando um processo de produção sairia do controle, desta forma, a “função qualidade” começava a atingir o nível de prevenção de defeitos. (FERNANDES, 2011)

À medida que as indústrias se tornavam maiores e mais complexas, a responsabilidade pela qualidade foi diluída e viu-se necessária, a criação de uma coordenação entre os diversos setores. Em 1951, **Armand V. Feigenbaum** publicou o livro *Quality Control*, no qual propôs a criação do Departamento de Engenharia da Qualidade, que tinha a função de gerenciar o programa de qualidade da empresa. (FERNANDES, 2011)

Com o término da Segunda Guerra Mundial, a qualidade era uma questão vital. Estudos da época mostravam que 80% dos problemas de falta de qualidade eram provocados por falhas gerenciais e não falhas técnicas. Assim, os órgãos de compra dos EUA passaram a exigir das empresas a implementação de Programas de Garantia da Qualidade, que resultou da aplicação conjunta da teoria de sistemas e dos princípios do Controle Total da Qualidade. De acordo com Fernandes (2011) “A *Garantia da Qualidade assegura ao cliente que o fornecedor tem capacidade de atender a todos os requisitos técnicos e organizacionais exigidos nas normas e nos contratos de fornecimento*”.

Os conceitos de **Feigenbaum** continuaram evoluindo e em 1961, foi lançado *Total Quality Control Engineering and Management*, no qual defende que a qualidade deve envolver de maneira sistêmica todos os órgãos das empresas. A ênfase é no planejamento de todas as etapas de produção. Resumidamente, “Quem estabelece a qualidade é o cliente e não os engenheiros nem o pessoal de marketing ou a alta administração. A qualidade de um produto ou serviço pode ser definida como o conjunto total das características de marketing, engenharia, fabricação e manutenção do produto ou serviço que satisfaçam às expectativas do cliente.” (FERNANDES, 2011)

Antes da Segunda Guerra Mundial, os produtos japoneses era conhecidos por seus baixos preços e qualidade. Com a ocupação do Japão pelos EUA, estes exigiram maior qualidade dos produtos, para isso, foram enviados ao Japão **William Edwards Deming** e **Joseph M. Juran**, ex-alunos de Shewhart, que juntamente com **Kaoru Ishikawa**, engenheiro japonês recém-formado, transformaram a indústria japonesa, com a implementação de conceitos de controle de qualidade. O conceito japonês de controle de qualidade se mostrou mais eficiente do que o modelo americano e evolui em três estágios: garantia da qualidade orientada para inspeção; garantia da qualidade orientada para o controle do processo; garantia da qualidade durante o desenvolvimento do novo produto. Desta forma, todos os segmentos da empresa, deveriam estar envolvidos no Controle de Qualidade. (FERNANDES, 2011)

Com a globalização da economia na década de 1970, tornou-se imperativa a uniformização dos sistemas da qualidade adotadas pelos diversos países, seria necessária, a criação de normas internacionais sobre requisitos de sistemas de qualidade. Foram criadas pela ISO, International Organization for Standardization, a família de Normas ISO 9000, que abrangem diversos aspectos da qualidade. A criação das Normas ISO 9000 possibilitou a certificação dos sistemas de qualidade das empresas por organismos independentes, eliminando a necessidade de serem avaliadas pelos clientes. Resumidamente:

“O objetivo principal das normas de sistema da qualidade é disciplinar os sistemas organizacionais e gerenciais, a partir dos quais produtos e serviços são concebidos, projetados, fabricados e comercializados. Apesar de as normas não garantirem a qualidade da tecnologia empregada ou a capacidade de inovação da

empresa, os sistemas de gestão têm como objetivo principal atender aos requisitos para aumentar continuamente a satisfação do cliente". (FERNANDES, 2011)

2.1.2 História da Qualidade no Brasil

Até o início do século XX, o Brasil era um país essencialmente agrícola. Na década de 1920, foram instaladas as primeiras indústrias automobilísticas no país, Ford em 1921 e General Motores em 1923, instalaram suas linhas de montagem. Porém, a maioria das peças utilizadas na montagem dos automóveis era importada, fazendo com que o Brasil fosse altamente dependente das indústrias americana e europeia. (FERNANDES, 2011)

Durante o governo de Juscelino Kubitschek, o Plano de Metas, propunha ao país a entrada da produção em massa na indústria, nesta época, as indústrias automobilísticas passaram a se instalar no Brasil, construindo uma cadeia de fornecedores para as montadoras de automóveis. As montadoras, por sua vez, estabeleceram controles para assegurar que seus fornecedores tivessem um rígido sistema de garantia da qualidade. (FERNANDES, 2011)

A indústria automobilística desempenhou um papel fundamental na formação de uma cultura da qualidade na indústria brasileira, cultura que foi absorvida, sobretudo, pelas indústrias de bens de consumo duráveis. (FERNANDES, 2011)

Na década de 1950, foram criadas a Companhia Siderúrgica Nacional e a Petrobrás, esses dois empreendimentos serviriam de base para o desenvolvimento industrial brasileiro. Durante a implementação dessas duas empresas no país, a dependência tecnológica brasileira era total, toda a tecnologia era importada, no caso da Petrobrás, dos EUA e da França. Por desconhecimento, um tubo de aço-carbono foi erroneamente especificado como sendo de aço-liga e utilizado em uma das primeiras refinarias da Petrobrás. Este erro culminou em um grave acidente, com vítimas fatais.

A partir deste episódio, surgiu um movimento de controle de qualidade, conhecido na época como **Inspeção de Equipamentos**, responsável por garantir a segurança pessoal e operacional. (FERNANDES, 2011)

A indústria de petróleo foi pioneira do quesito qualidade no Brasil. De uma forma geral, o movimento da qualidade nas indústrias nucleares, de energia elétrica,

de petróleo e petroquímica começou com inspeção de equipamentos, evoluiu para controle de qualidade, garantia da qualidade, sistema de gestão da qualidade e atualmente, adota os **Sistemas Integrados de Gestão**, integrando Qualidade, Meio Ambiente, Segurança e Saúde Ocupacional e Responsabilidade Social. (FERNANDES, 2011)

Este modelo seguido pela maior parte das empresas de bens de consumo do país, essa preocupação com a qualidade surgiu com a necessidade de melhorar a produtividade e aumentar a competitividade entre as empresas. (FERNANDES, 2011)

2.2 Produtividade

2.2.1 Metodologia Seis Sigma

O que atualmente é conhecido como Seis Sigma, surgiu na Motorola no ano de 1987, quando alguns profissionais iniciaram um estudo sobre os conceitos publicados por Deming sobre a variabilidade dos processos de produção, tendo como objetivo, melhorar o desempenho destes processos. A direção da Motorola reconheceu e apoiou a iniciativa, que visava a implementação do Seis Sigma em todas as atividades da empresa, sempre enfatizando o conceito de melhoria contínua. (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007)

A proposta da Motorola buscava resolver as reclamações de clientes, com relação à ocorrência de defeitos em produtos eletrônicos dentro do período de garantia. Para tal, o programa tinha dois alvos principais: o aumento da confiabilidade do produto final e a redução de perdas. (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007)

A Motorola já havia implantado diversos programas de qualidade e obtivera poucos resultados, porém, com o programa Seis Sigma, o ganho obtido foi superior a 1,3 bilhões de dólares. (DE CARVALHO; HO; PINTO, 2007)

Após a divulgação dos resultados do Programa Seis Sigma pela Motorola, outras empresas adotaram esta metodologia como Texas Instruments (1988), IBM (1990), ABB (1993), Kodak (1994) e General Electric (1996). Dentre estas, destacou-se a **General Electric**, que se tornou um *benchmark* no assunto, pois a empresa investiu uma quantia de US\$ 380 milhões na implementação do Seis Sigma e dois

anos depois, obteve ganhos da ordem de US\$ 1,5 bilhões. (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007)

No Brasil, o Seis Sigma foi disseminado a partir de 1997 com o Grupo Brasmotor, que em 1999 contabilizou ganhos de R\$ 20 milhões devido à implementação do Programa Seis Sigma. (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007)

O termo *sigma* se refere a uma escala de medida de qualidade em processos, baseado nesta escala, *seis sigma* equivale a 3,4 defeitos por milhão de peças produzidas. (DIAS, 2017) A Figura 3 mostra esta escala:

Sigma Level	Defects per million	Defects percentage
1	691,462	69%
2	308,538	31%
3	66,807	6.7%
4	6,210	0.62%
5	233	0.023%
6	3.4	0.00034%
7	0.019	0.0000019%

Figura 3 Escala Sigma de Qualidade
Fonte: DIAS, 2014

2.2.2 Projeto Seis Sigma e Ferramentas Utilizadas

O princípio fundamental do Seis Sigma é reduzir continuamente a variabilidade dos processos e assim eliminar as falhas nos produtos e serviços. A implementação do Seis Sigma nas empresas tem como base ferramentas de coleta e tratamento de dados, com forte suporte estatístico. (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007)

A correta seleção de projetos seis sigma é fundamental para a sustentação do mesmo. Desta forma, o primeiro passo para o desenvolvimento de um projeto é a compreensão das **Característica Críticas da Qualidade**. O segundo passo é a escolha de um método de solução de problemas, o **DMAIC** (iniciais de *Define, Measure, Analyse, Improve* e Control) é o mais utilizados deles. (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007)

Além do método de análise de problemas, um projeto Seis Sigma utiliza ferramentas de obtenção, coleta, tratamento e análise de dados. Algumas da

principais ferramentas utilizadas são: Brainstorming; Histograma, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto, Cartas de Controle, Índices de Capacidade, Fluxograma, Mapeamento do Processo, Avaliação do Sistema de Medição, Matriz de Priorização e CEP (Controle Estatístico do Processo). (CLETO; QUINTEIRO, 2011)

Segundo Andrietta e Miguel (2007), os principais benefício do Programa Seis Sigma para uma empresa são: *“a busca da melhoria contínua dos processos, a conquista da satisfação dos clientes através da melhor compreensão dos requisitos exigidos, o pleno entendimento das entradas críticas dos processos necessárias para responder as alterações na exigências e especificações definidas, aprimoramento da qualidade, ganhos no fluxo do processo, aumento da produtividade, redução de tempos de ciclos, aumento da capacidade produtiva e da confiabilidade dos produtos, redução dos defeitos, redução dos custos, redução dos desperdícios, eliminação de atividades que não agregam valor ao processo e a maximização dos lucros.”*

2.2.2.1 Brainstorming

Brainstorming ou Tempestade de Ideias é uma ferramenta fundamental para instigar a criatividade de um grupo e pode auxiliar as empresa em processos de inovação. Criada pelo diretor de um banco comercial, colaborador de várias revistas e sócio de uma agência de publicidade, Alex Osborn, foi aplicada pela primeira vez em 1938 e em 1950 foi adotado em universidades americanas, nas forças armadas, divisões de repartições pública federais, indústrias e empresas comerciais em todo os EUA. Desde então, essa ferramenta tornou-se prática indispensável para o espraiamento da visão em qualquer atividade, corporativa ou não. (SANTO, 2015)

Santo (2015) faz uma analogia a respeito do brainstorming, comparando-o com o livramento de um “cercadinho mental”:

Você já viu a ação de uma mãe quando tem um monte de coisas a fazer e um filho de seis meses a um ano para tomar conta? Certamente já. Ela o coloca dentro de um “cercadinho”, dá um monte de brinquedos, e vai cuidar dos seus afazeres domésticos. É a sua “garantia e segurança” que a criança vai estar bem, liberando-a para manter a rotina da casa. É isso que fazemos quando propomos um BS – TI, com um problema “perfeitamente definido”, tão bem definido que já contém 50% da solução. O grupo fica sem flexibilidade, limitado ao “cercadinho mental”. As proposições serão engessadas, limitadas aos contornos da questão. Claro que em algumas situações

precisamos exatamente disso. (...) Mas nem todas as situações são assim, pelo menos as propostas em um BS – TI, não deveriam ser. Precisamos de possibilidade, mas não com tal urgência, nem tão fechadas. (...) Antes de qualquer coisa, “tirar os cérebros do cercadinho mental”, deve ser a primeira função do coordenador de um BS – TI, definindo onde precisamos ou gostaríamos de chegar, olhar para frente (efeitos) ao invés de fixar-se no “atrás” (causas bem definidas).

Um das coisas mais importantes sobre um brainstorming é o que será feito depois do seu término. Deve-se garantir que as boas ideias que surgiram durante a reunião se transformarão em planos de ações e serão implementadas em benefício do negócio. (GOMM, 2014) A Figura 4 mostra uma ferramenta bastante usada em encontros de Brainstorming, o uso de post-its para organizar as ideias que surgirem:



Figura 4 Post-its usados em Brainstorming
Fonte: GOMM, 2014

2.2.2.2 Diagrama de Ishikawa

Criado por Kaoru Ishikawa, este diagrama que tem a forma de uma espinha de peixe é um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio e a discussão sobre as causas de um problema prioritário e analisar as dispersões em seu processo e os efeitos decorrentes disso. É considerado uma das sete ferramentas da qualidade, e também é conhecido como Diagrama 6M, Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito. Esta ferramenta foi desenvolvida com o intuito de fazer as pessoas pensarem sobre as causas possíveis que fazer um problema ocorrer, por isso, os problemas

geralmente são enunciados em forma de perguntas: “por quê ocorre este problema?” ou “quais as causas deste problema?”. (BEZERRA, 2014)

O Diagrama de Ishikawa permite estruturar hierarquicamente as causas de determinado problema ou oportunidade de melhoria. As causas do problemas podem ser agrupadas por categoria, a partir do conceito dos 6M: materiais, métodos, mão-de-obra, máquinas, meio ambiente e medidas. (REYES, 2017). A Figura 5 mostra exemplos de Diagrama de Ishikawa:

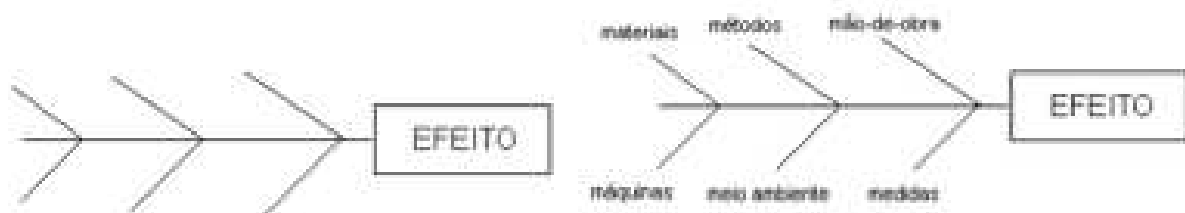


Figura 5 Diagrama de Ishikawa
Fonte: REYES, 2017

Pode-se considerar ainda, um sétimo M, advindo do inglês *Managment*, a qual encontra-se relacionado à palavra gestão. Nem todos os M's são aplicáveis em todos os estudos de causa e efeito do problema abordado. O sistema proposto pelo diagrama de Ishikawa permite estruturar hierarquicamente as causas potenciais de um determinado problema, como também uma oportunidade de melhoria e seus efeitos sobre a qualidade de um produto. Vale considerar, que nem todos os problemas podem ser resolvidos com a utilização do Diagrama de Causa e Efeito, estima-se que 95% deles pode, e qualquer pessoa com o mínimo de conhecimento do processo pode aplicar o diagrama, que vem a se tornar uma ferramenta rápida de coleta de dados e resolução de problemas. (BEZERRA, 2014)

Bezerra (2014) ensina os passos para se elaborar um Diagrama de Ishikawa:

- **Definição do Problema:** *primeiramente, deve-se determinar o problema que será analisado no diagrama de Ishikawa, assim como o objetivo que se espera alcançar através dele. O mais importante é evitar ser superficial, focando no problema de forma objetiva e em termos de qualidade que possa ser mensurável de alguma forma;*
- **Estruturação do Diagrama:** *Após a primeira etapa, o executor do diagrama de Ishikawa deve juntar todas as informações necessárias a respeito do problema em*

questão. Ele pode também, por exemplo, descrever o problema a ser analisado na “cabeça do peixe”, a fim de facilitar sua visualização;

- **Agrupamento das Informações:** Após reunir um equipe que possa ajudar na criação do diagrama, a mesma deve apresentar as informações agrupadas por meio de uma sessão de brainstorming. É interessante trazer para o brainstorming pessoas que estejam relacionadas diretamente com o problema, assim como de outras áreas, com perspectivas diferentes que agreguem valor ao diagrama e ao processo;
- **Classificação das Causas:** Deve-se ordenar todas as informações da melhor maneira possível, apontando as principais causas e eliminando as informações dispensáveis. É muito importante fazer uma análise profunda das causas, com o intuito de detectar quais delas impactam mais no problema e quais seriam suas possíveis soluções. Após a análise das causas, deve-se elaborar um plano de ação e definir os responsáveis, como também um prazo para a conclusão de cada ação;
- **Conclusão do Diagrama:** Por fim, desenhe o diagrama, levando em consideração as causas que devem estar de acordo com os 6M's. Nesta etapa é importante dividi-las de acordo com as categorias (máquina, mão-de-obra, meio ambiente, material, etc.). Vale salientar que não se deve esquecer de definir também as sub-causas dos problemas. O diagrama completo deve conter os seguintes componentes: cabeçalho, efeito, eixo central, categoria, causa e sub-causa.

2.2.2.3 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto foi criado pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto, que ficou conhecido como o fundador da aplicação matemática à análise econômica. Uma das principais contribuições de Pareto à Economia foi seu estudo econômico, onde observou que 80% da riqueza italiana encontrava-se nas mãos de 20% da população do país, esse estudo incentivou o consultor da qualidade Joseph Moses Juran a desenvolver o que hoje nós conhecemos por Diagrama de Pareto. (BEZERRA, 2014)

O Diagrama de Pareto é considerado umas das sete ferramentas básicas da qualidade, baseando-se no princípio de que a maioria das perdas possuem poucas causas. É uma técnica estatística que auxilia na tomada de decisão, permitindo à empresa selecionar prioridades. O princípio diz que os itens significativos de um grupo normalmente representam uma pequena proporção do total de itens desse mesmo

grupo. Na qualidade, resumidamente, esse princípio afirma que 20% dos defeitos são responsáveis por 80% dos prejuízos. (BEZERRA, 2014)

Normalmente, utiliza-se uma tabela onde são listadas as possíveis causas em relação aos efeitos. As causas são divididas por classes: (BEZERRA, 2014)

- Classe A: problemas de maior importância, correspondem a 20% do total;
- Classe B: problemas intermediários, correspondem a 30% do total;
- Classe C: problemas de menor importância, correspondem a 50% do total.

A Figura 6 mostra um exemplo de Diagrama de Pareto:



Figura 6 Diagrama de Pareto
Fonte: BEZERRA, 2014

Neste demonstrativo, os primeiros 20% dos itens da lista são responsáveis por mais de 70% das peças rejeitadas (problemas), enquanto o restante dos itens representam pouco mais de 30% das demais peças rejeitadas.

Bezerra (2014) lista os passos para se construir o Diagrama de Pareto:

- Formar uma tabela listando os problemas e a frequência de cada uma como porcentagem;
- Organizar as linhas na ordem decrescente de importância das causas;
- Adicionar uma coluna com total acumulado de cada problema;
- Adicionar outra coluna com os valores percentuais referentes ao tipo de ocorrência;
- Acumula-se estes percentuais em uma única coluna;
- Manter as causas no eixo X em barras e o percentual no eixo Y em forma de linha;
- Percebe-se que a linha do eixo Y forma uma curva acentuada e crescente;
- Verificar na linha o percentual dos fatores acumulados em relação ao total;

- *Identificar quais são os problemas prioritários e as medidas necessárias para saná-los.*

2.2.2.4 Mapeamento do Processo

Mapear um processo é desenhar o fluxo de suas atividades. É uma fotografia do estado atual do processo para que se possa entendê-lo por completo e possibilitar e se pensar em uma maneira de melhorá-lo. (VENKI, 2017)

Neste contexto, a consultoria VENKI define onze etapas para o mapeamento de processos para trazer os melhores resultados. Não há como mapear processos passo a passo sem seguir uma ordem lógica de etapas:

- ***Determinando seus objetivos:*** *Dentro de toda cadeia de valor da empresa, cada processo tem um objetivo específico que, ao ser levado em conta no conjunto das atividades da organização, colabora para o atingimento de seus objetivos finais. Neste momento, é preciso entender qual o papel deste processo em análise dentro do limite de sua atividade: qual o motivo dele existir?;*
- ***Identificando quais são as saídas do processo:*** *Saídas ou “outputs” são as entregas que ocorrem no final de cada um dos processos. Elas vão agregando valor no decorrer da cadeia produtiva até culminarem no produto ou serviço final da empresa. Muitos se confundem e enxergam as saídas como algo físico e palpável, como uma peça ou um produto. Na verdade as saídas podem ser de várias naturezas, como gráficos, dados, tomadas de decisão, aprovações e muitas outras. Da mesma forma que os processos entregam “saídas”, eles recebem “entradas” (ou “inputs”), como veremos mais adiante;*
- ***Identificando os clientes do processo:*** *Identifique os clientes e sua jornada no processo. De atenção aos “momentos da verdade”, que são aquelas interações com o seu cliente que geram percepção de valor;*
- ***Identificando as entradas do processo:*** *Entradas ou “inputs” são todos os elementos que são modificados no decorrer do processo para agregar valor à cadeia produtiva. Podem ser tanto físicos como de outras formas: informações e dados, por exemplo;*
- ***Identificando os componentes do processo:*** *Todos os recursos utilizados durante o processo e que colaboram na transformação das entradas em saídas são*

chamados de componentes do processo e podem ser materiais, energia, maquinário, recursos humanos, metodologias, tecnologias e muitos outros;

- **Identificando os fornecedores do processo:** Se existem entradas, existe alguém responsável por encaminhá-las ao início do processo. Só assim ele poderá começar a transformá-las em saídas. Da mesma forma que os clientes, existem dois tipos de fornecedores:

- Fornecedores internos: pessoas ou grupos dentro da empresa que entregam as entradas ou os componentes de um processo.
- Fornecedores externos: empresas ou particulares que abastecem a organização com insumos, serviços e matérias primas.

- **Entendendo os limites do processo:** Limites são os pontos extremos de um processo, quando se iniciam e quando terminam. O início do processo é caracterizado pelo recebimento das entradas e seu término acontece com a entrega das saídas. Perceba que os envolvidos no processo só passam a ter controle sobre ele ao receberem as entradas e, de forma semelhante, já não tem mais controle no momento em que são feitas as saídas;

- **Documentação do processo atual:** Uma das maneiras mais usadas para se documentar os processos é usando um fluxograma. É muito importante que todas as informações colhidas até este momento sejam documentadas e analisadas por todos os envolvidos, que devem estar de acordo com o que for determinado pelo grupo de trabalho;

- **Identificando as melhorias que o processo necessita:** É a hora de ver o que está funcionando e o que não está funcionando no processo. Inconformidades, atrasos e gargalos devem ser apontados. Assim como atividades críticas e aquelas que agregam mais valor devem ser identificadas. Por fim, deve-se dar grande atenção às atividades em que se entra em contato direto com o cliente e garantir que ele tenha a melhor experiência possível;

- **Escolher as melhorias a serem aplicadas ao processo:** Ferramentas de melhoria de processos como PDCA, 5W2H, o diagrama de Ishikawa e a matriz GUT devem ser aplicadas na busca de soluções que ataquem as causas dos problemas. Depois de acertadas quais as melhorias a serem aplicadas no processo, elas devem ser revisadas. E, mais adiante, ao serem aplicadas, é preciso acompanhar sua implementação para se certificar de seu êxito;

- **Documentar o processo melhorado:** Novamente a documentação é crucial para que todas as melhorias possam ser padronizadas e escaladas no futuro. Pode ser usado o BPMN e outras ferramentas mais adequadas para que este processo de documentação alcance o melhor resultado possível.

A Figura 7 mostra um exemplo de mapa de processo, para melhoria de um processo:

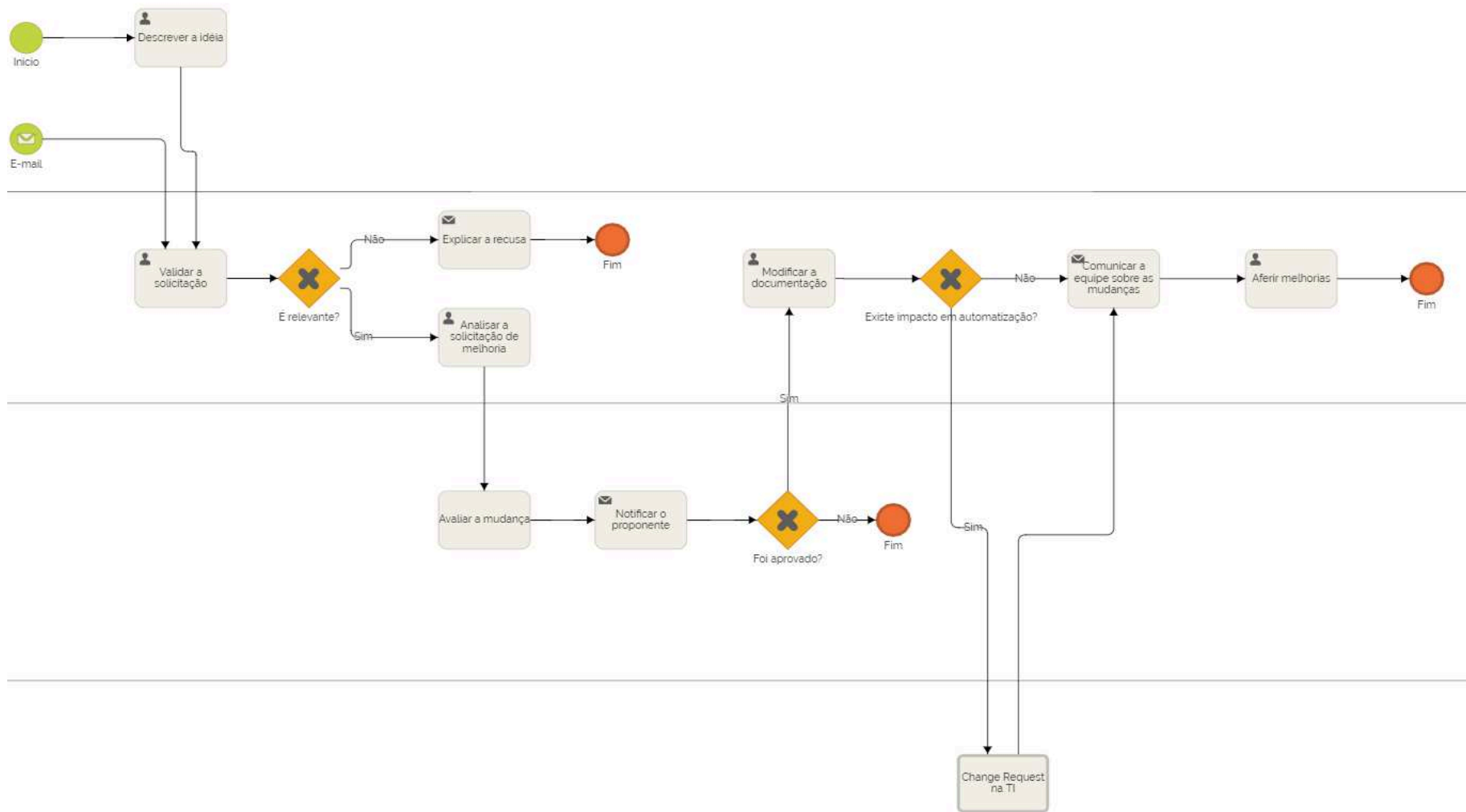


Figura 7 Exemplo de Mapa de Processo
Fonte: VENKI, 2017

2.2.2.5 Matriz de Priorização

Existem diversas formas de se priorizar os problemas a serem resolvidos, uma das ferramentas mais utilizadas em empresas é a Matriz de Priorização, que fornece um método no qual a atenção do grupo é focada para as opções mais relevantes, estabelecendo uma classificação numérica de prioridade entre as opções. São diversas as situações que solicitam seu uso: (FILHO, 2017)

- Há um consenso ao que é uma boa solução mas quanto a importância relativa entre elas;
- Há limitações de recursos, sendo necessário então escolher apenas algumas opções;
- As opções disponíveis têm muitas inter-relações, o que torna difícil identificar as mais relevantes.

Para a construção da Matriz de Priorização, é possível utilizar dois métodos. O primeiro deles, o método da priorização por critérios e é baseado nas seguintes etapas:

- *Priorizar os critérios: para priorizar os critérios, recomenda-se a técnica de priorização em grupo (TPG) por pontuação após uma discussão que esclareça, previamente, os critérios para todos da equipe;*
- *Pontuar as Opções Segundo Cada Critério: constrói-se uma matriz em L onde as linhas são as opções e as colunas são os critérios. Observando cada coluna, julga-se o grau em que cada opção atende ao critério. Cada participante dá a nota de 0 a 10, de acordo com seu julgamento;*
- *Calcular as Pontuações Totais: para cada linha (opção) multiplica-se a sua nota pelo peso de cada critério (coluna) a fim de obter a pontuação parcial naquele critério. Para saber a pontuação total, somam-se todas as pontuações parciais de cada opção. É de acordo com a pontuação total que se torna possível estabelecer a prioridade entre elas.*

No método de Priorização por critérios só são levados em consideração os critérios preestabelecidos aplicados a cada opção isoladamente e medindo o seu grau de adequação. Ela não considera a influência que uma opção pode ter sobre a outra. O método de priorização por causa-e-efeito é composto pelas seguintes etapas:

- **Construção da Matriz de Opções:** constrói-se uma matriz listando as opções nas linhas e numerando-as em sequência. As colunas também correspondem às mesmas opções, pois elas serão comparadas entre si;
- **Comparação entre cada opção com as demais:** cada opção é comparada com as outras a fim de saber se existem relações de causa-e-efeito entre elas; além de tentar avaliar a intensidade das relações. Em geral são usados símbolos para medir a intensidade da relação de causa;
- **Totalizar os Graus de Relação:** depois de estabelecidas todas as relações, devem-se quantificar suas intensidades;
- **Interpretar a Matriz:** procura-se identificar as opções prioritárias.

A Figura 8 mostra a análise das reclamações dos clientes de um restaurante:

	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	Soma (Σ)	Prioridade
Demora na entrega da refeição	3	5	5	13	3°
Validade do produto	5	5	5	15	1°
Atendente bilingüe	2	2	1	5	9°
Ambiente desconfortável	2	3	3	8	6°
Não ter área para fumantes	3	3	3	9	5°
Falta de acesso para deficiente	2	1	3	6	8°
Cardápio em braile	1	1	1	3	10°
Opções light ou diet	1	2	2	5	9°
Inovação constante do cardápio	2	3	2	7	7°
Segurança	2	5	5	12	4°
Estacionamento	4	5	5	14	2°

Figura 8 Exemplo de Matriz de Priorização
Fonte: FILHO, 2017

Onde:

G = 1 para ocorrências de baixa gravidade

G = 5 para ocorrências grave

U = 1 para baixa urgência

U = 5 para alta urgência de solução

T = 1 a situação não irá piorar se nada for feito

T = 5 a situação irá ficar muito pior se nada for feito.

Assim, percebe-se que, de acordo com as reclamações, o item que requer maior cuidado e prioridade é a validade do produto, pois ela afeta diretamente a saúde dos consumidores. E em segundo lugar o estacionamento, pois, não tendo onde estacionar, os clientes procuram outro estabelecimento.

2.2.3 Lean Manufacturing

Uma ferramenta/filosofia que foi de grande importância para a história da qualidade no mundo, é o Lean Manufacturing, que até os dias atuais, tem se mostrado eficiente na redução de desperdícios em empresas de todas as áreas.

Com a introdução da produção em série por Henry Ford, no início do século XX, a produção de automóveis se tornou mais rápida e eficiente, criando uma complexa rede automotiva. As expectativas e exigências dos clientes aumentaram rapidamente e a indústria automotiva japonesa, liderada pela Toyota, desenvolveu mecanismos de gerenciamento industrial, que atendesse às novas expectativas do mercado. Para vencer a concorrência das indústrias americana e europeia, a Toyota investiu em variabilidade dos seus produtos, para alcançar tal feito, foi necessário o desenvolvimento de um novo método de produção, que permitisse baixos custos. (PINTO, 2008)

O Lean Production surgiu na Toyota na década de 1940, com a implementação do Toyota Production System (TPS), que tinha como objetivo, aumentar a produção de automóveis, reduzindo todo tipo de desperdício no processo e com foco na satisfação do cliente. Este modelo foi posteriormente, denominado de **Lean Production** por investigadores do MIT, Massachusetts Institute of Technology. (MAIA; ALVES; LEÃO, 2011)

Gradativamente, o TPS foi se difundindo em outras empresas japonesas durante as décadas seguintes. Na década de 1990, surgiu o termo **Lean Thinking**, que sugere uma filosofia enxuta, com apenas o necessário. (PINTO, 2008) Segundo Maia, Alves e Leão (2011), *“seu objetivo é a procura contínua da eliminação de todos os desperdícios ambicionando a melhoria contínua da organização.”*

2.2.3.1 Os Princípios do Lean Manufacturing

O Lean Production evoluiu para uma filosofia, o Lean Thinking, que é regido cinco princípios básicos: Valor, Cadeia de Valor, Fluxo Contínuo, *Sistema Pull* e Busca de Perfeição, mostrados na Figura 9:



Figura 9 Princípios do Lean Thinking
Fonte: MAIA, 2011

A Tabela 1 mostra resumidamente os conceitos dos Lean Thinking:

Tabela 1 Conceitos do Lean Thinking

1. Valor	Identifica o que os clientes querem. Quaisquer características ou atributos do produto ou serviço que não atendam às necessidades ou expectativas do valor dos clientes representam oportunidades de melhoria.
2. Cadeia de Valor	<p>A cadeia de valor é o conjunto de todas as etapas e ações necessárias à satisfação dos pedidos do cliente através de três atividades críticas de gestão de qualquer negócio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolução de problemas (desde a concepção até a entrega do produto); • Gestão da informação (desde o acompanhamento das ordens até ao registro); • Transformação física (desde dos materiais até os produtos finais nas mãos dos clientes; <p>A cadeia de valor é o veículo que permite entregar valor aos clientes. É a sequência de processos que desenvolvem, produzem e entregam os resultados desejados. O lean thining procura racionalizar cada etapa dos processos.</p> <p>Análise da cadeia de valor consiste na identificação de três tipos de ações:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aqueles que criam valor; • Aqueles que embora não acrescentando valor, são inevitáveis dado a atual tecnologia e formas de organização e gestão; • Aquelas que não acrescentam vaor e são totalmente dispensáveis.
3. Fluxo Contínuo	Organizar a cadeia de valor para eliminar qualquer parte do processo que não acrescente valor, tornando o processo o mais fluido possível. A ideia de criar um fluxo contínuo é poder fabricar produtos ou serviços ao ritmo a que são pedidos pelo cliente.
4. Sistema Pull	Este conceito consiste em produzir apenas aquilo que é necessário. Visa evitar a acumulação de estoque de produtos mediante a produção e fornecimento daquilo que o cliente deseja quando o cliente precisar, nem mais cedo nem mais tarde.
5. Perfeição	A perfeição traduz-se na completa eliminação do desperdício. A este nível, só as atividades que acrescentam valor estão presentes nos processos. [E o compromisso de continuamente procurar os meios ideais para criar valor enquanto o desperdício é eliminado. Trata-se de uma jornada de melhoria contínua.

Fonte: (PINTO, 2008)

Estes princípios permitem reduzir ou eliminar os sete desperdícios fundamentais: (PINTO, 2008)

- **Excesso de Produção:** produzir em excesso ou muito cedo, resultando em fluxos irregulares e estoque em excesso;
- **Tempos de Espera:** pessoas, equipamentos, materiais e informações parados por muito tempo geram fluxos irregulares e longos *lead times*;
- **Transportes:** deslocamentos excessivos de pessoas, materiais e informações resultam em dispêndio de capital, tempo e energia;
- **Processos Inadequados:** utilização incorreta de recursos em geral, processos inadequados e aplicação de procedimentos complexos;
- **Excesso de Estoque:** demasiados tempos e locais de armazenamento resultam em custos excessivos e baixo desempenho, impactando o serviço prestado ao cliente;
- **Movimentação desnecessária:** desorganização dos locais de trabalho, despreocupação com aspectos ergonômicos;
- **Defeitos (qualidade):** problemas frequentes nos processos e problemas de qualidade do produto.

2.2.3.2 A importância do Lean Manufacturing nas Empresas

De acordo com Maia, Alves e Leão (2011), os quatro passos para implementar o Lean Manufacturing em uma empresa são:

- I. Envolver a gestão de topo (para orientar e fornecer os recursos necessários);
- II. Formar a equipe do projeto (com gestores de seção, departamento e operação);
- III. Introduzir um projeto piloto;
- IV. Estabelecer círculos de controle de qualidade para envolver os operadores.

O Lean Manufacturing tem se mostrado de grande importância nas empresas em todo o mundo. Alguns dos benefícios apontados por Pinto (2008), descreve alguns dados que comprovam o benefício desta filosofia para as organizações:

- Crescimento do negócio: valores superiores a 30% em um ano;
- Aumento da produtividade: valores entre 20 e 30%;
- Redução dos estoques: valores típicos apontam para reduções superiores a 80%;

- Aumento do nível de serviço (ex. cumprimento de requisitos e pedidos, entregas a tempo): valores entre 80 e 90%;
- Aumento da qualidade e do serviço prestado ao cliente, redução dos defeitos: 90%;
- Maior envolvimento, motivação e participação das pessoas;
- Redução de acidentes de trabalho: 90%;
- Redução de espaço ao nível do *shop floor*: valores na ordem de 40%;
- Aumento da capacidade de resposta por parte da empresa;
- Redução do *lead time*: valores típicos de 70 a 90%.

2.3 DMAIC

Segundo Santos (2013), o DMAIC é um procedimento usado em projetos de melhoria de processos já existentes e está apoiado no uso de técnicas estatísticas e ferramentas de gestão da qualidade. Esta metodologia é dividida em cinco fases: *Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control*, mostradas na Figura 10.

De forma resumida, Cleto e Quinteiro (2011) definem:

- Define: define-se com precisão o escopo do projeto;
- Measure: determina-se o foco do problema;
- Analyze: determinam-se as causas de cada problema;
- Improve: propõem-se, avaliam-se e implementam-se soluções para cada problema;
- Control: garante-se que o alcance da meta seja mantido a longo prazo.

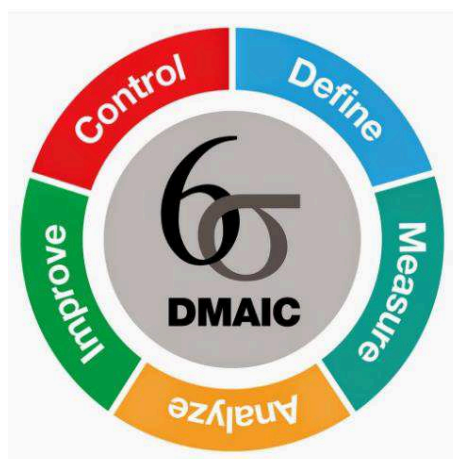


Figura 10 Fases DMAIC
Fonte: SINGH, 2015

A metodologia DMAIC deve ser utilizada em um problema de solução desconhecida. A Figura 11 mostra o caminho percorrido para escolha da correta metodologia para resolução de problemas:

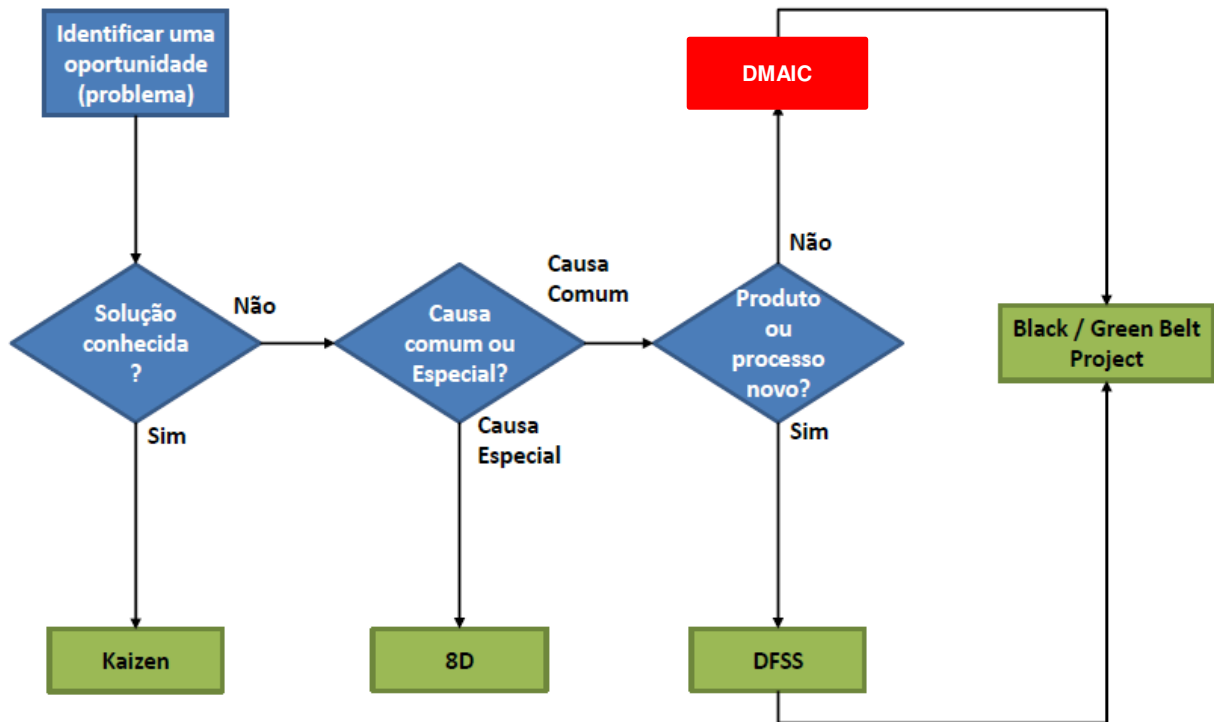


Figura 11 Escolha de Metodologia para Resolução de Problemas
Fonte: FURTADO, 2015

2.3.1 Definir

Segundo Santos (2013), esta etapa consiste em definir claramente o problema, a variabilidade de um processo, para que ela possa ser minimizada ou eliminada. As principais ferramentas utilizadas na fase Definir são:

- Definir a **voz do cliente** (VOC) e transformar esses requisitos em **características para a qualidade** (CTQ);
- Escolher uma equipe adequada e preparada;
- Mapear os processos críticos e identificar aqueles que possuem relação com as CTQ e aqueles que geram resultados insatisfatórios;
- Realizar uma análise de custo-benefício da implementação do projeto;
- Compilar os dados e submeter a proposta do projeto à alta direção da empresa.

2.3.2 Medir

Nesta fase, o processo será desenhado e serão medidas as principais variáveis envolvidas neste processo. As ferramentas usadas são: (SANTOS, 2013)

- Mapear os processos e subprocessos envolvidos, definindo entradas e saídas e estabelecendo relações $Y = f(x)$, onde Y é a variável de saída e x é a variável de entrada;
- Analisar o sistema de medição (MSA) e ajustá-lo as necessidades do processo. Coletar dados representativos e aleatórios.

2.3.3 Analisar

Na fase Analisar, os dados coletados na fase Medir são analisados com o auxílio de ferramentas estatísticas e ferramentas de qualidade. Essas análises permitem a determinação das causas que influenciam nos resultados do processo. Os seguintes passos devem ser utilizados: (SANTOS, 2013)

- Submeter os dados coletados às ferramentas estatísticas e da qualidade, de modo a identificar as variáveis de entrada prioritárias, que influenciam no processo;
- Identificar a capacidade do processo atual e estabelecer os objetivos de melhoria do projeto.

Algumas das ferramentas estatísticas comumente utilizadas nesta fase são: Teste de Hipótese, FMEA, Fluxograma, Mapa de Processo, Análise do Tempo de Ciclo, Histograma, Boxplot, Cartas “Multi-Vari”, Diagrama de Causa e Efeito, Matriz de Priorização, Carta de Controle entre outros.

2.3.4 Implementar

Nesta fase são implementadas as melhorias no processo, atuando nas causas raízes identificadas nas fases anteriores. De acordo com Santos (2013), algumas ferramentas disponíveis são:

- DOE, Designe of Experiment;
- Plano de Ação;
- Manufatura Enxuta;
- Cálculo da Nova Capacidade do Processo.

2.3.5 Controlar

Na última fase do DMAIC, Controlar, deve ser estabelecido e validado um sistema de medição e controle para medir continuamente o desempenho do processo após a implementação das melhorias, para garantir que a capacidade do processo se mantenha ao longo do tempo. Além de manter as variáveis dentro dos limites estabelecidos, esta fase também tem o objetivo de identificar possíveis pontos de melhorias futuras. Algumas ferramentas são: (SANTOS, 2013)

- Elaboração de novos procedimentos e instruções;
- Gráficos de controle por dados variáveis e dados de atributo;
- CEP.

2.4 Processo Produtivo do Vidro Float

2.4.1 A História do Vidro

De todos os materiais usados pelo homem, o vidro é o que se destaca como sendo o que mais o acompanhou desde o surgimento da humanidade. Rochas vítreas tiveram origem do resfriamento do magma vulcânico e são constituídas majoritariamente por sílica. Essas rochas tinham funções estruturais e estéticas para o homem pré-histórico. Devido a sua dureza, conquistada a partir do resfriamento do magma, as rochas vítreas eram utilizadas para confeccionar ferramentas, como pontas de lanças. Já devido sua beleza e brilho, as rochas vítreas eram usados para confeccionar “espelhos” e utensílios. (NAVARRO,1991)

Esse tipo de rocha foi largamente utilizado durante a transição da humanidade de nômades para povos fixos, quando do início da agricultura. Amostras destes utensílios foram encontradas no Oriente, Asia e atual Europa. Antigos povos americanos também faziam uso de rochas vítreas, porém na confecção de máscaras e objetos usados em rituais religiosos. Os espanhóis, denominaram esses objetos de “espelhos dos Incas”. (NAVARRO,1991)

Os primeiros registros do vidro, datam de 5000 a.C., quando mercadores fenícios fizeram uma fogueira na beira da praia e acidentalmente, descobriram o novo material, a partir do nitrato de sódio e o calor do fogo. (HISTÓRIA, 2017 - FAU USP)

Alguns registros do vidro ao longo da história são: (HISTÓRIA, 2017 - FAU USP)

- 100 a.C. os romanos produziam vidro por técnicas de sopro em moldes para confeccionar janelas;
- 600 d.C. surgiu um novo método para fabricação de vidro plano, sopro de uma esfera e sua sucessiva ampliação por rotação em forno;
- 1300 vidro moldado à rolo introduzido em Veneza; surgimento do cristal;
- 1300 novo método para fabricação de vidro plano, sopro por cilindro;
- 1665 fundação da Compagnie de Saint Gobain na França, por determinação do rei Luís XIV, para fornecimento de vidros para o Palácio de Versalhes, mostrado na Figura 12: (SAINT GOBAIN, 2017)



Figura 12 Imagem do Palácio de Versalhes
Fonte: SAINT GOBAIN, 2017

Os séculos XVII e XVIII foram marcados por um grande avanço no conhecimento sobre vidro, com publicações de obras importantes sobre a fabricação de vidro e a construção de fornos. (NAVARRO,1991)

A indústria de vidro como conhecemos hoje, advém da Revolução Industrial, com a invenção de dois métodos de produção: o processo da folha estirada e o de flutuação (float). Embora seja uma criação europeia, a indústria de vidro americana logo emergiu, impulsionada pela demanda da indústria automotiva. A indústria no Reino Unido consolidou-se quando a Pilkington Borthers, fundada em 1826, tentou alguns experimentos com prensagem de cilindros para produzir folhas

de vidros maiores, também impulsionada pelo processo produtivo em larga escala da Ford Motor Company. (HISTÓRIA, 2017 - FAU USP)

A descoberta e introdução de um novo método de fabricação de vidro plano pela Pilkington em 1959, o Processo Float, representou um grande progresso para a indústria de vidro. Com esse processo, a indústria vidreira atingiu novos patamares de produção, qualidade e desempenho técnico econômico. (REVOLUÇÃO, 2016 - Pilkington)

2.4.2 O Processo Float

A dificuldade de se obter uma folha de vidro perfeitamente plana, com as dimensões e espessura desejadas e com a maior transparência possível, motivou o estudo e desenvolvimento do Processo Float. Alastair Pilkington, membro da quinta geração da família Pilkington, foi o principal responsável pelo desenvolvimento da tecnologia Float. Após quase dez anos de pesquisa e experimentos, é consolidado o novo método de produção, que garantia perfeitas condições de planicidade e transparência ao vidro, suas características principais. (REVOLUÇÃO, 2016 - Pilkington)

O processo foi patenteado em 1959 e se expandiu por todo o mundo, licenciado pela Pilkington, rapidamente tornando-se o principal método de produção de folhas de vidro.

O Processo Float é basicamente descrito como (REVOLUÇÃO, 2016 - Pilkington):

“O vidro é um material tão transparente que não esconde seus defeitos, quando existem. Ondulações, granulações, bolhas, manchas e outras deformações na sua textura e qualidade ótica podem ser percebidas com facilidade. Naturalmente sempre foi o objetivo dos fabricantes de vidro plano produzir uma chapa de vidro na exata espessura desejada, perfeitamente lisa e transparente. Um objetivo longamente perseguido e por fim alcançado com o processo float. Nesse processo, a mistura de areia e demais elementos que entram na composição do vidro, depois de fundida no forno de fusão, vaza para um tanque onde flutua sobre estanho líquido em atmosfera controlada e de onde sai em forma de uma folha de vidro contínua para as linhas de

resfriamento gradual, inspeção a laser e corte mecânico. Ao deslizar sobre o estanho, devido às diferentes densidades, o vidro não adere nem se mistura mas estabelece com ele um perfeito paralelismo, do que resulta sua superfície perfeitamente lisa. Controlando-se a velocidade de saída da folha contínua de vidro, determina-se com precisão a espessura da chapa a ser produzida. Da mesma maneira, adicionando-se corantes à mistura original, obtém-se chapas na cor desejada, sem prejuízo da planicidade e da transparência”.

A Figura 13 mostra de forma resumida, o processo de fabricação de vidro float:

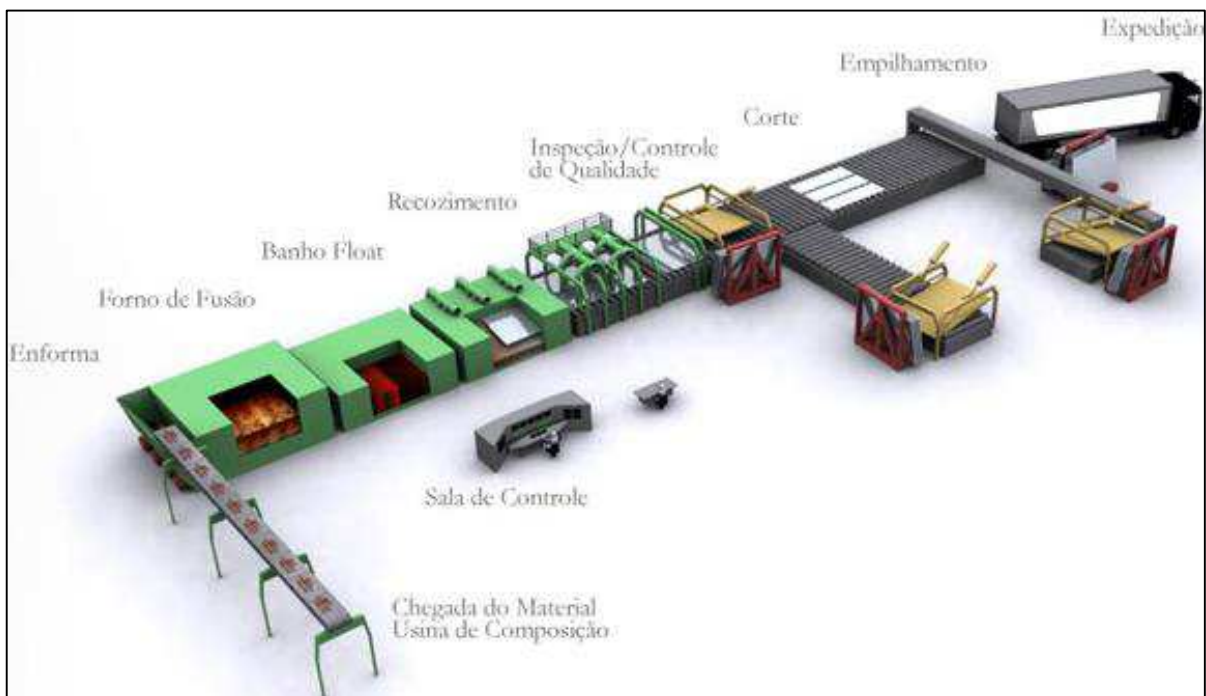


Figura 13 Processo de Fabricação Float

Fonte: PILKINGTON, 2016

As etapas de fabricação são: (BLINDEX, 2016)

- I. A matéria-prima, que faz parte da composição do vidro é fundida em um forno com temperaturas superiores a 1000 °C;
- II. A massa fundida é derrubada continuamente em um tanque com estanho liquefeito, quimicamente controlado. O vidro líquido flutua no estanho, espalhando-se uniformemente. A espessura e largura do vidro são controladas pela velocidade do vidro;
- III. O vidro é continuamente resfriado (recozimento controlado) e se solidifica, apresentando superfícies polidas e paralelas;
- IV. A folha de vidro contínua passa pelo Controle de Qualidade para a detecção de possíveis defeitos;
- V. Após o corte mecânico, são produzidas chapas de vidro com dimensões variadas;
- VI. As chapas de vidro são empilhadas e estão prontas para a expedição.

2.4.3 A Importância do Vidro na Economia Brasileira e Mundial

A fabricação de vidro plano requer altos custos, cada planta demanda investimentos de longo prazo e habilidades técnicas de alto nível. Uma planta de vidro float tem o custo variando entre 70 e 200 milhões de dólares, dependendo do tamanho e da capacidade produtiva. (VIDRO IMPRESSO, 2016)

São poucas as unidades de plantas de vidro float no mundo, justamente devido ao alto investimento e custos associados, o mercado mundial é dominado por grandes fabricantes internacionais: Saint-Gobain Glass, com 17 plantas, AGC com 13 plantas, NSG Group (PILKINGTON, 2016), com 11 plantas, Guardian, com 8 plantas e Sisecam, com 7 plantas.

O mercado global de vidros planos produz anualmente, 52 milhões de toneladas, dos quais 29 milhões são considerados de alta qualidade (produzidos principalmente na Europa, China e América do Norte) e 18 milhões são considerados vidros de baixa qualidade (produzidos majoritariamente na China). A China é o maior produtor de vidro float e concentra cerca de 50% da produção global, a representatividade chinesa na fabricação de vidro float subiu de 20% da produção mundial total (1990) para 50% na década de 2010. A Figura 14 mostra a demanda mundial de vidro plano:

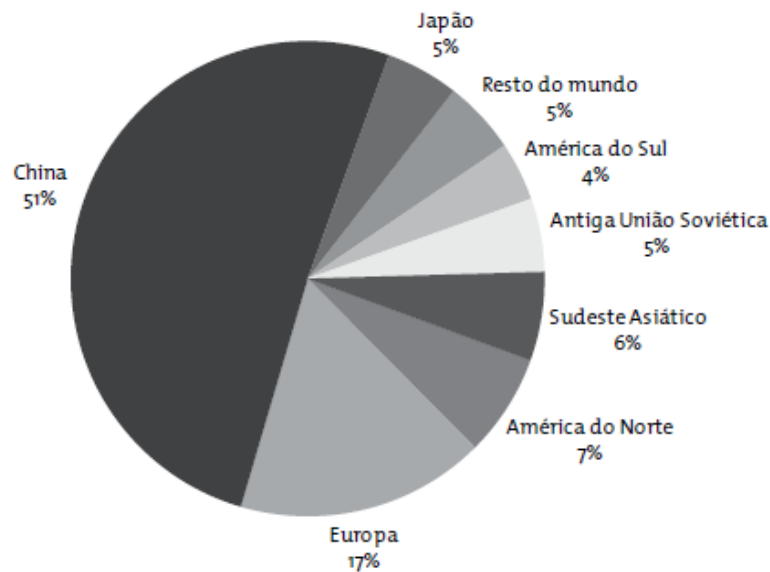


Figura 14 Demanda Mundial de Vidro Float em 2011
Fonte: MONTANO, BASTOS, 2016

A demanda mundial de vidro em 2010 foi de 53 milhões de toneladas, sendo 50 milhões de toneladas de vidro float. Acompanhando a dinâmica do mercado global, o crescimento do mercado de vidro float é maior nos países em desenvolvimento, nos quais existe maior potencial de utilização deste produto, seja no setor de construção civil ou automobilístico. Regiões como a Europa e América do Norte representam mercados estáveis, com consumo *per capita* de 14kg e 8,5kg de vidro plano por ano, respectivamente, enquanto que a Ásia e América do Sul possuem consumos consideravelmente mais baixos, 4kg e 6kg *per capita* por ano, respectivamente. (MONTANO; BASTOS, 2016)

A indústria vidreira é altamente atingida pela situação econômica mundial, sobretudo pela indústria automotiva. Devido à crise no continente europeu, em 2013, a indústria de vidro plano sofreu um forte impacto e de 60 linhas de produção, 14 foram fechadas, sem previsão de novos projetos.

A maior planta de vidro float foi inaugurada em 2010 na cidade de Klin, a 80km de Moscou, na Rússia. O investimento total foi de cerca de 210 milhões de euros e tem capacidade diária de produção de mil toneladas, com espessuras que variam de 4 a 12 milímetros.

No Brasil, existem 8 fabricantes de vidro plano. Existem alguns entraves, que interferem na instalação de novas plantas vidreiras no país: importações a preços baixos (especialmente vindos da China), alto custo da cadeia logística, elevados custos de insumos e falta de incentivo para uso de produtos com maior tecnologia. As companhias vidreiras instaladas no Brasil, foram beneficiadas pela elevação de 10% para 20% nas tarifas de importação, estabelecidas pelo Governo Federal, o que freou consideravelmente a entrada de vidros estrangeiros no país, sobretudo vidros chineses, que devido à baixa qualidade, chegavam a um preço muito inferior ao vidro nacional.

Dados da Abividro, Associação Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro, apontam que o consumo de vidro plano no Brasil em 2012 foi de aproximadamente 500 mil toneladas, sendo 35% desta quantia, representada por vidro importado. Com o aumento da taxa de importação, esse valor caiu para 10% em 2013. (ABRAVIDRO, 2016)

A Abravidro, Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos, divulgou números atualizados do mercado vidreiro no Brasil em sua publicação mais recente do Panorama Abravidro, revista de publicação anual, sobre setor vidreiro nacional.

Segundo o Panorama Abravidro 2016, a capacidade nominal de produção de vidros planos no Brasil se manteve de 2014 para 2015, já o consumo de vidro plano teve uma queda de 9,9%, devido à baixa dos principais mercados consumidores de vidro plano: automotivo e construção civil.

A Figura 15 mostra a capacidade de produção de vidros planos no Brasil em toneladas por dia, entre os anos de 2009 e 2015:

Produtor	Planta	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CEBRACE	C1	900	900	900	900	900	900	900	900
	C2	600	600	600	600	600	600	600	600
	C3	600	600	600	600	600	600	600	600
	C4	600	600	600	600	600	600	600	600
	C5	-	-	-	900	900	900	900	900
GUARDIAN	RJ	600	600	600	600	600	600	600	600
	SP	800	800	800	800	830	830	830	830
VIVIX	PE	-	-	-	-	-	900	900	900
AGC	SP	-	-	-	-	600	600	600	600
SAINT-GOBAIN GLASS	SP	160	160	160	160	180	180	180	180
UBV	SP	240	240	240	240	240	240	240	240
Total		4.500	4.500	4.500	5.400	6.050	6.950	6.950	6.950

Figura 15 Dados da capacidade nominal de produção de vidro plano no Brasil (ton/dia)
Fonte: ABRAVIDRO, 2016

A Figura 16 mostra o consumo anual de vidro plano no Brasil de 2013 a 2015:

Período	Temperado	Laminado	Tampo, curvo, etc.	Espelho	Insulado	Automotivo, comum e outros	Total
2015	623.912	163.523	102.195	126.901	7.269	764.207	1.788.007
2014	663.357	169.319	102.600	143.149	9.922	897.208	1.985.555
2013	632.944	157.290	105.632	138.091	8.569	932.820	1.975.346

Figura 16 Consumo de vidro plano no Brasil (ton/ano)
Fonte: ABRAVIDRO, 2016

O PANORAMA ABRAVIDRO, (2016) publicou ainda, dados sobre o consumo de cada tipo de aplicação de vidro plano no ano de 2015, mostrado na Figura 17. Pode-se notar, um aumento de 57,3% na participação de vidros laminados (também denominados de vidro de segurança) não automotivos no mercado brasileiro, o que mostra um grande avanço do mercado nacional com relação à exigência de segurança nas mais diversas aplicações de vidro plano, como no mercado de construção civil e moveleiro, por exemplo.

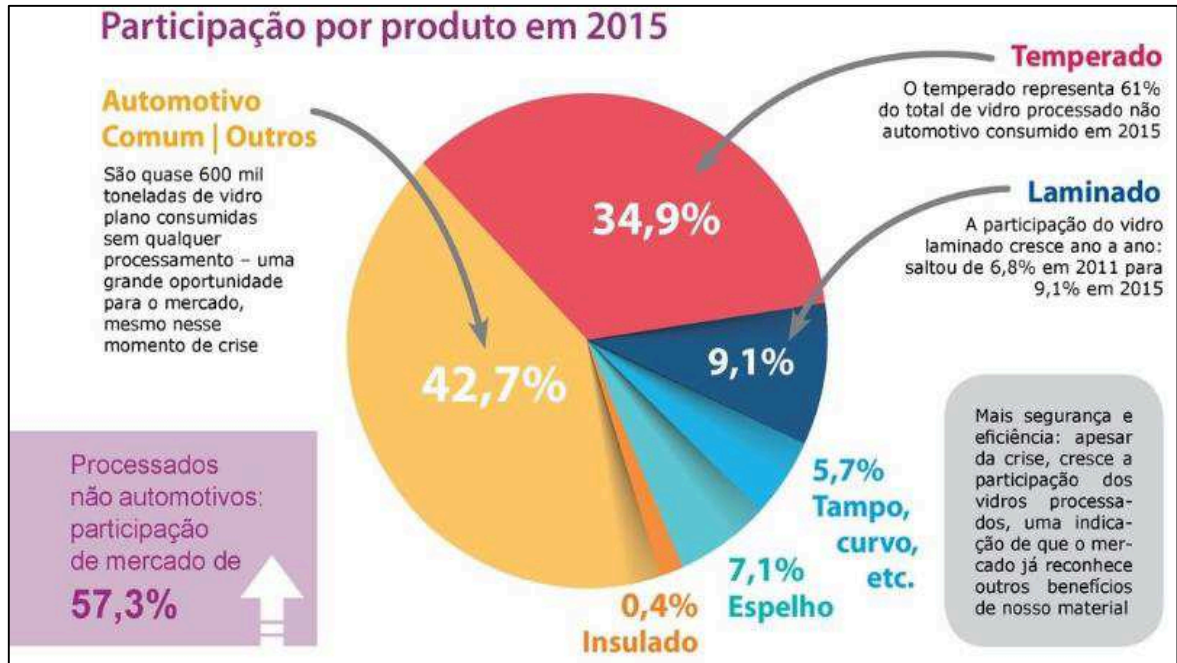


Figura 17 Participação do Vidro Float no Mercado Brasileiro
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2015

A Figura 18 mostra exemplos de vidro automotivo, vidro laminado e vidro temperado, os três maiores representantes consumidos de vidro plano no Brasil.

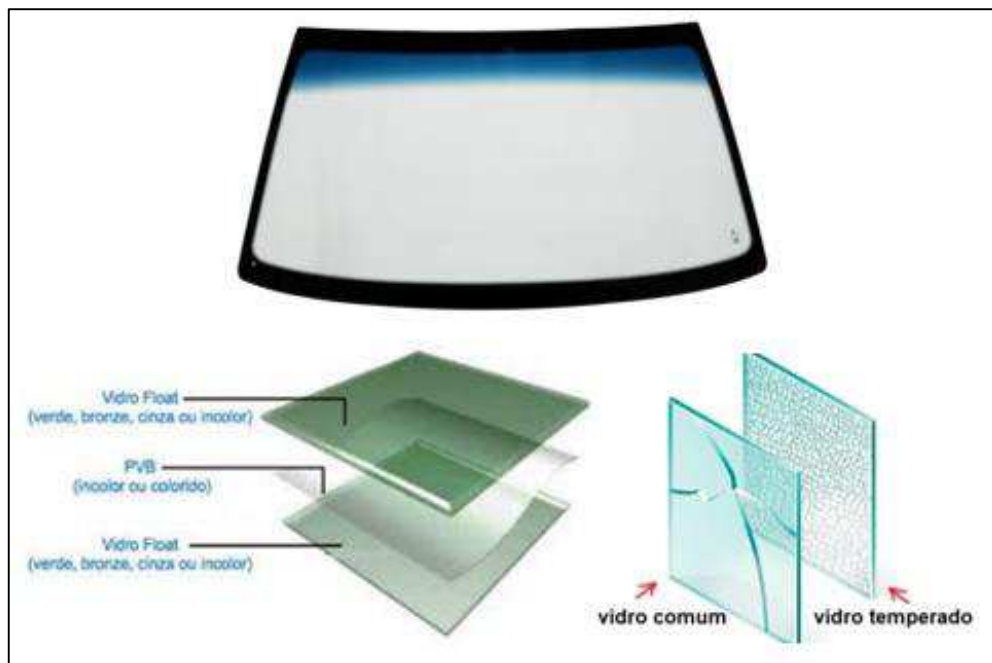


Figura 18 Para-brisa automotivo, vidro laminado e vidro temperado
Fonte: ANAVIDRO, 2013 / ESC, 2015

2.5 Defeitos no Vidro Plano

2.5.1 Composição do vidro

As matérias-primas utilizadas na composição do vidro convencional, podem ser classificadas em quatro grupos principais, de acordo com o papel que desempenham durante o processo de fusão, vitrificantes, fundentes, estabilizantes e componentes secundários:

- Vitrificantes: Correspondem basicamente aos óxidos formadores da estrutura do vidro. Os compostos mais comumente encontrados em vidros convencionais são sílica, anidrido bórico e anidrido fosfórico. (NAVARRO, 1991)
- Fundentes: Correspondem aos óxidos modificadores do vidro; são utilizados na composição para diminuir a temperatura de fusão dos componentes vitrificantes, exigindo assim, menor gasto de energia no forno de fusão. Um exemplo de fundente é óxido de sódio. (NAVARRO, 1991)
- Estabilizantes: Correspondem aos óxidos que podem atuar como vitrificantes ou fundentes. (NAVARRO, 1991)
- Componentes secundários: Incluem materiais minoritários, que possuem finalidades específicas, mas que não são indispensáveis para a formação do vidro. Neste grupo, estão inclusos os corantes, descolorantes e opacificantes. (NAVARRO, 1991) Óxido de ferro, óxido de cobre e óxido de cobalto são exemplos de corantes utilizados na composição do vidro. A Figura 19 mostra a cor adquirida com alguns tipos de corantes:

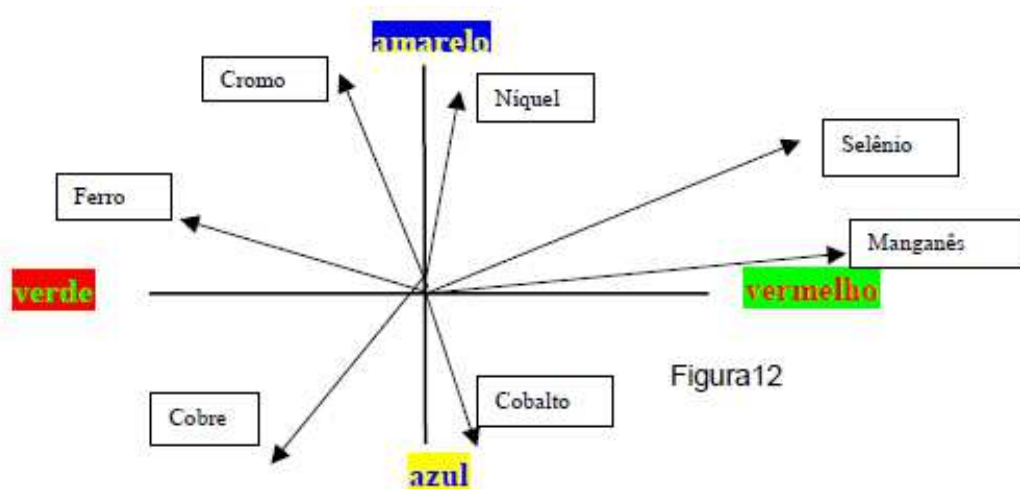


Figura 19 Efeitos de Alguns Corantes
Fonte: AKERMAN, 2000

A Figura 20 mostra os principais componentes do vidro plano incolor:

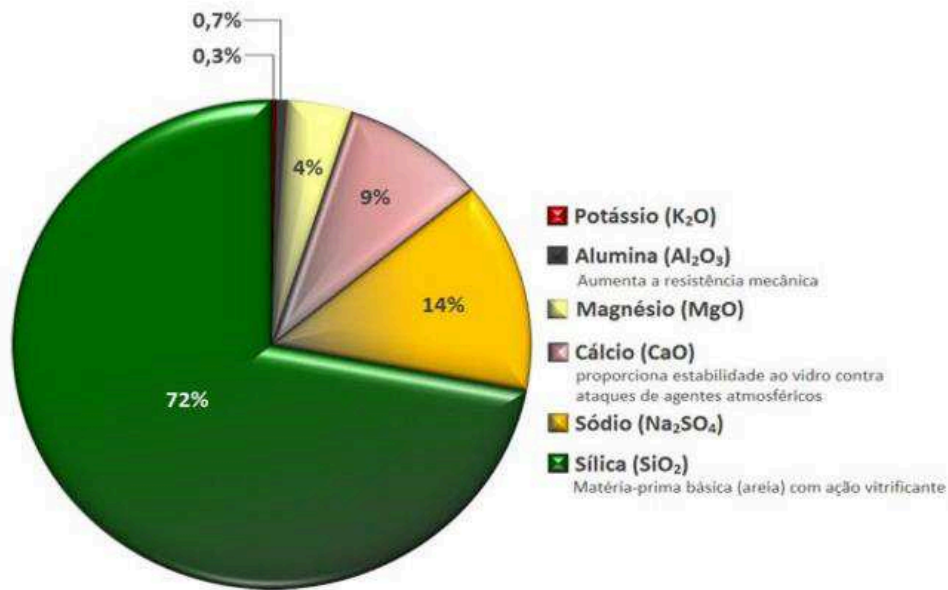


Figura 20 Composição Básica do Vidro Plano
Fonte: BLINDEX, 2016

Essa composição do vidro é responsável por suas características químicas. Uma das características principais é a alta resistência química, o que possibilita uma série de aplicações práticas para o vidro. Porém, o vidro não pode ser considerado inerte e a interação da composição vítrea com outros materiais tem sido objeto de estudo nos últimos anos. Uma das reações mais importantes que o vidro sofre é com a água; o ataque do vidro em meio aquoso, provoca um dos mais importantes defeitos conhecidos, a irisação, que será detalhadamente explicado na seção 2.5.3. (NAVARRO, 1991)

Com relação à resistência mecânica, o vidro comum era considerado pouco resistente, porém, hoje existem técnicas capazes de reverter esse quadro. Um dos processos mais conhecidos e utilizados é a têmpera térmica ou química, capaz de aumentar a resistência mecânica do vidro em até 5 vezes; vidros temperados são utilizados em móveis, box de banheiro, lentes de óculos, vidros automotivos, janelas e vidros à prova de balas. Outro processo, que tem se tornado cada vez mais comum é a laminação; vidros laminados, também conhecidos como vidros de segurança, são formados por duas camadas de vidro plano, entre as quais existe uma película de polímero, PVB (polivinilbutiral), responsável por segurar os cacos de vidro no caso de quebra. Exemplos de utilização são: tampos de mesas, janelas de sacadas e para-brisas. (AKERMAN, 2000)

2.5.2 Defeitos Ópticos e Visuais

Defeitos visuais são aqueles que podem ser percebidos por um observador, como riscos na superfície do vidro, por exemplo. Defeitos ópticos são defeitos que causam a distorção da luz refletida no vidro, sendo um dos mais preocupantes deles, a irisação.

A identificação de defeitos no vidro e suas causas são de extrema importância para a indústria vidreira, para assegurar a qualidade do vidro fornecido. Diversas são os tipos e as causas dos defeitos, sendo alguns deles: (ABRAVIDRO – Ameaça à Aparência Perfeita, 2017)

Na fabricação – o material pode adquirir defeitos em sua superfície antes de sair da fábrica ou da distribuidora. As causas podem estar na:

- Estocagem das chapas em espaços úmidos;
 - Ausência de materiais separadores entre as lâminas de vidro (colocando uma chapa em contato com os elementos químicos presentes na superfície da outra).
 - Transporte das peças inadequado, as chapas devem ser transportadas verticalmente e sem impactos violentos ou repetitivos, de modo a evitar riscos.
- Pré-processamento – cada etapa do beneficiamento do vidro pode levar ao surgimento de manchas. Estas podem ser causadas por erros nos maquinários e produtos utilizados ou devido a manuseios incorretos. No corte, o vidro pode ganhar uma série de marcas em sua superfície, cujas causas incluem:
 - Ventosas contaminadas por produtos químicos e umidade ou ventosas não originais (improvisadas);
 - Umidade do ambiente;
 - Óleo de corte com composição inadequada;
 - Luvas usadas no manuseio do vidro que estejam contaminadas por produtos químicos, óleo de corte inadequado ou sujeira;
 - Ausência de intercalário entre as chapas, ou uso de intercalário inadequado.
 - Na lapidação – a atenção deve ser constante, pois uma série de manchas pode surgir nessa atividade:

- Marcas de correia;
- Manchas de pinças;
- Manchas causadas pela água usada na lapidação;
- Ataques superficiais causados pelo uso de produtos químicos inadequados para a limpeza do vidro.

2.5.3 Irisação

A irisação é um fenômeno definido como um efeito arco-íris, cuja cor muda conforme o ângulo de observação ou de iluminação. A irisação é comum em vidros antigos sujeitos a intemperismo, sendo provocada por interferência óptica e é causada pela exposição do vidro à umidade sem a devida proteção. (ZANOTTO, 2002)

Quando um vidro entra em contato com uma solução aquosa, mudanças químicas e estruturais ocorrem em sua superfície. Além disso o acúmulo dos produtos de corrosão promove mudança na composição química do vidro e aumenta o pH da solução aquosa. O vidro não resiste a pH elevados, levando à dissolução da rede de sílica que o estrutura. As reações entre o vidro e a água podem ser divididas em dois estágios: (ZANOTTO, 2002)

Primeiro estágio – O ataque primário é um processo que envolve trocas de íons sódio (Na^+) e potássio (K^+), presentes na composição do vidro e íons (H^+) da solução aquosa. A reação (a) mostrada na Figura 21 é dominante neste primeiro estágio e a taxa de extração de álcalis (Na, K) do vidro é lenta. Há um aumento da rugosidade da superfície do vidro e conseqüentemente, um aumento na área superficial do vidro em contato com a solução aquosa (corrosiva). Este aumento de área superficial é relacionado à lixiviação (dissolução seletiva) dos íons alcalinos do vidro, deixando uma camada rica em sílica contendo micro poros hidratados.

Segundo estágio - O segundo estágio de ataque é um processo onde ocorre a quebra das ligações principais (Si-O-Si), ocasionando a dissolução da estrutura do vidro. A reação (b) na Figura 21 é o mecanismo dominante no segundo estágio.

Em vidros do tipo soda-cal-sílica, a força motriz para o processo da difusão do íon Na^+ do vidro para a solução aquosa na reação (a) é a diferença de concentração do mesmo vidro e na água superficial. No entanto, para manter a

neutralidade elétrica, íons hidrogênio (H^+) da água devem difundir-se da solução para o vidro e ocupar os espaços deixados pelos íons sódio que migram para a solução. Como consequência, esta troca iônica conduz o aumento do pH da solução aquosa.

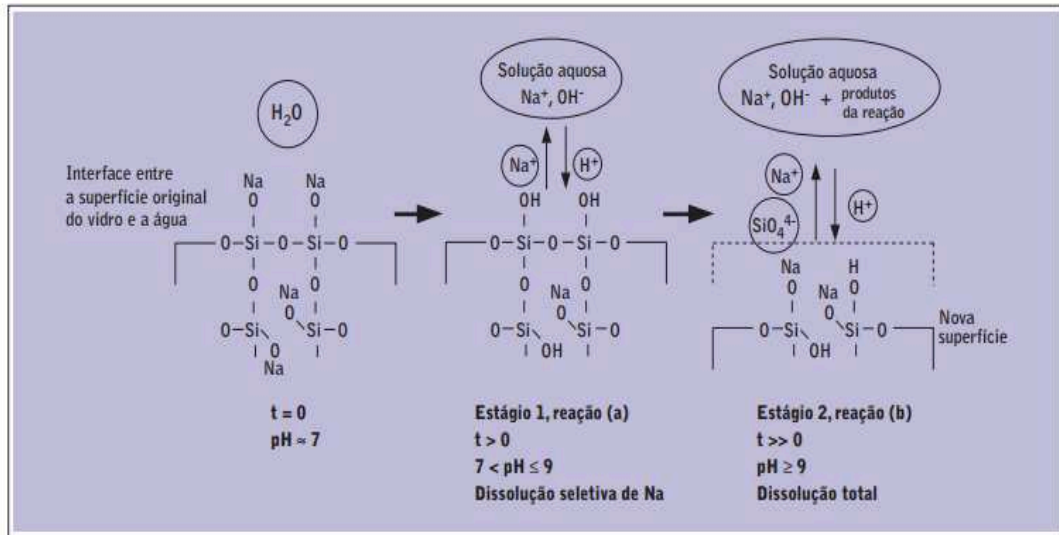


Figura 21 Mecanismo da Irisação
Fonte: ZANOTTO, 2002

Um exemplo midiaticamente famoso sobre o fenômeno da irisação ocorreu no ano de 2002 na cidade de Ferraz de Vanconcelos, quando a vidraça de uma janela em um imóvel apresentou formas parecidas com uma Santa, Figura 22, causando grande comoção do público e despertando a curiosidade de moradores da cidade.



Figura 22 Imagem de Suposta "Santa" em Janela
Fonte: ZANOTTO, 2002

Baseado nos estudos sobre irisação (corrosão ou lixiviação), a hipótese mais aceita para este caso, é que o vidro sofreu ataque químico devido à presença de

umidade. O proprietário do imóvel afirmou na época, que adquiriu o vidro em uma casa de materiais de demolição, o que reforça a ideia de que o vidro passou um período armazenado indevidamente e exposto à intempéries. Quando duas placas de vidro são armazenadas próximas uma à outra e há um volume de água entre elas, é provável o surgimento de manchas geométricas arredondadas, como o da “Santa”, que são revelados com a iridescência, ou seja, a incidência de luz e observação sob diferentes ângulos. (ZANOTTO, 2002)

3 Metodologia

3.1 Escolha da Metodologia de Trabalho

A metodologia escolhida para elaboração deste trabalho foi baseada nas fases do DMAIC: definir, medir, analisar, implementar e controlar.

3.2 Fase Definir

A fase definir é a etapa em que o projeto deve ser muito bem caracterizado e para tal, alguns elementos devem ser seguidos:

- Declaração do problema: descrição da situação a ser melhorada, definição e quantificação do problema;
- Mapeamento do processo: representação gráfica das etapas do processo, para melhor entendimento de cada uma, possibilitando a identificação dos gargalos e pontos de melhoria;
- Voz do cliente: declaração do problema sob o ponto de vista do cliente, as fabricantes de vidro automotivo, como para-brisas e afins;
- Crítico para o cliente: identificação das características do vidro mais importantes para o cliente, relacionados principalmente à qualidade e custo;
- Definição do defeito: identificação das etapas do processo que influenciam diretamente nas características críticas para os clientes;
- Escopo do projeto: definição do que realmente deve ser trabalhado durante o projeto, para garantir que não haja desperdícios e que o prazo seja cumprido;
- Custo da falta de qualidade: quantificação dos custos que podem ser eliminados durante o processo;
- Objetivo do projeto: determinação dos resultados esperados com a implementação do projeto.

Na fase Definir, a equipe se reuniu para elaborar o escopo e objetivos do projeto. Primeiramente, o projeto foi desmembrado em dois subprojetos, a “aplicação de AAL” e a “lavagem de vidro com AAL”. O foco deste trabalho é o subprojeto de “lavagem de vidro com AAL”.

3.2.1 Elaboração dos Testes de Aplicação

Os teste de aplicação de ácido adípico líquido partiram das condições de sucesso já utilizadas em outras plantas de vidro float do grupo.

3.2.2 Elaboração dos Testes de Lavagem

Os testes de lavagem foram elaborados segundo dados obtidos de outras empresas do grupo e de clientes. Duas variáveis foram preferencialmente trabalhadas, por se conhecer a influência delas sobre a eficiência de lavagem:

- Escovas da máquina de lavar;
- Temperatura da água de lavagem.

3.3 Fase Medir

Nesta fase, foram determinadas as variáveis chaves do processo, ou seja, aquelas que tem grande impacto nos resultados. A fase medir segue alguns elementos:

- Análise do sistema de medição: as medições do processo de lavagem do vidro são apenas visuais e não quantitativos, caracterizando-se como dados de atributo. Por esse motivo, foi realizada apenas uma “Definição Operacional” para a inspeção do vidro após a etapa de lavagem e uma “Validação da Medição”, com treinamento dos envolvidos na etapa de inspeção através de LUPs (lições de um ponto);
- Análise de causa e efeito: para essa análise, foi utilizada a técnica de brainstorming e posteriormente, foram usadas as técnicas de Diagrama de Ishikawa, Pareto e Matriz de Priorização para a determinação das principais causas para o defeito;
- Ação de contenção: identificação de ações corretivas necessárias.

3.4 Fase Analisar

Durante esta fase, o time levantou as principais causas que impactam no problema encontrado no projeto, através de dados experimentais.

Foram realizadas diversos experimento de lavagem do vidro com AAL, alterando variáveis com forte influência sobre a eficiência da lavagem. Com os dados empíricos em mãos, pode-se decidir as ações que seriam tomadas e as melhorias a serem prioritariamente implementadas.

3.5 Fase Implementar

Nesta fase, foram implementadas melhorias no processo de lavagem do vidro e na máquina de lavar, guiadas pelas causas apontadas na fase analisar.

Após as melhorias implementadas, os testes de lavagem foram repetidos para que fosse possível uma comparação da eficácia da lavagem antes e depois das modificações. A efetividade das melhorias foi medida após a obtenção de dados práticos. O objetivo destas melhorias implementadas foi chegar mais próximo aos requisitos dos clientes, que são uma chapa de vidro totalmente sem resíduos de AAL e sem marcas de irisação.

3.5.1 Testes em Campo (Clientes)

Para comprovar a eficiência de lavagem, foi feita uma parceria com um importante cliente, uma empresa beneficiadora de vidro automotivos. Esta empresa trabalhou em um teste de serigrafia, capaz de revelar defeitos e possíveis manchas de resíduos de AAL na superfície.

3.6 Fase Controlar

Após implementação das melhorias e verificação de sua eficácia, foi realizado um controle periódico dos resultados para verificar a constância dos dados.

Essa etapa irá acontecer durante todo o ano de 2017, durante o chamado DGG, gestão do dia-a-dia. Experimentos de lavagem serão contínuos e periódicos e avaliarão as mesmas variáveis: eficiência da lavagem e presença de irisação, ambas as características sofrem influência da idade do vidro e da idade de aplicação do AAL.

4 Resultados

As equipes escolhidas para implementar projetos Lean são multidisciplinares, lideradas por um colaborador ligado diretamente ao projeto, normalmente um gerente ou supervisor de área. Cada equipe utiliza ferramentas de qualidade que mais se adequam ao seu projeto. Um consultor é responsável pela orientação técnica dos times.

Para a implementação, foram escolhidos projetos com grande potencial de redução de perdas, desde financeiras até de tempo, e consequente ganho econômico.

O projeto de Aplicação de Ácido Adípico Líquido foi escolhido por se tratar de um futuro substituto para o processo atual, que utiliza a mistura lucita/ácido adípico em pó, processo esse que apresenta desperdícios na aplicação desta mistura. Além disso, o ácido adípico líquido se mostra mais adequado para aumentar a vida útil do vidro contra irisação.

Os projetos Lean escolhidos tem o prazo de um ano para implementação, desde a elaboração teórica até o cumprimento prático de todas as etapas. Após esse período, os projetos seguem no processo de acompanhamento, denominado GDD, Gestão do Dia-a-Dia.

Apesar de este projeto não ter características Lean, ele foi escolhido devido à grande importância que pode representar no processo a curto e médio prazo. A equipe envolvida recebeu treinamento diferenciado, onde ao invés de ser abordado o tema Lean Manufacturing, foram ensinadas diversas ferramentas para projetos Seis Sigma.

As condições de lavagem utilizadas antes da aplicação do projeto eram adequadas apenas para a lavagem do vidro com aplicação da mistura lucita/ácido adípico em pó. A máquina de lavar não era adequada ao processo de lavagem capaz de remover os resíduos de ácido adípico líquido. Desta forma, os parâmetros de lavagem antes da implementação deste projeto eram:

- Temperatura da água: ambiente, com aquecimento em apenas um tanque
- Diâmetro das cerdas: 0,30 mm
- Distância entre as escovas: não havia controle sobre este parâmetro

4.1 Escolha da Metodologia de Trabalho

A metodologia Seis Sigma foi escolhida para o desenvolvimento do projeto após análise do problema, segundo o fluxograma mostrado na Figura 23:

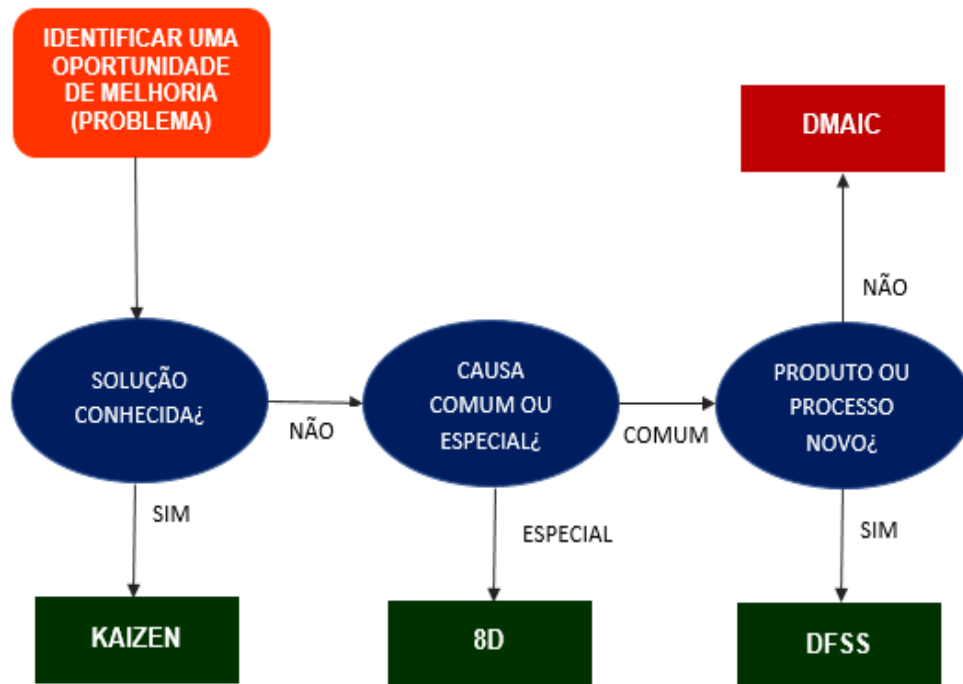


Figura 23 Fluxograma para escolha da metodologia Seis Sigma

- O problema identificado foi a pouca resistência do vidro à irisação, quando submetido às condições ambientais severas;
- A solução levantada é conhecida, utilização de ácido adípico líquido, porém os processos de aplicação e lavagem não são completamente conhecidos;
- A causa do defeito é comum, pois é cotidiana;
- O processo é existente, não se trata do desenvolvimento de um projeto novo.

Seguindo os passos explicitados acima, decidiu-se por seguir as etapas do DMAIC para a elaboração deste projeto: Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar.

O objetivo do Seis Sigma é diminuir a variabilidade do processo, reduzindo a probabilidade de defeitos. Neste contexto, o presente projeto é dividido em duas importantes etapas:

- Aplicação do AAL: procura-se as condições ótimas de aplicação, capazes de caracterizar o processo como estável e reprodutível;
- Lavagem do vidro com AAL: tem o objetivo de encontrar os set points de lavagem, que garantam a remoção completa do produto e que possa ser reproduzido nos clientes, fabricantes de para-brisa automotivo.

4.2 Fase Definir

- Declaração do Problema: Para a elaboração da declaração do problema, a equipe se reuniu para nivelar o conhecimento de todos a respeito do projeto e posteriormente, caracteriza-lo de forma clara. O projeto é classificado como sendo de Qualidade, pois atua em uma característica que afeta diretamente a qualidade do produto, a resistência do vidro contra o processo de irisação.

O problema é resumidamente definido como: umas das reclamações mais decorrentes e custosas para a empresa é devido à irisação. Vidros submetidos à condições climáticas severas têm maior probabilidade de sofrer irisação, conforme explicitado na seção 2.5.3. Vidros enviados para regiões litorâneas e ou armazenados de forma incorreta, sem controle de temperatura e umidade, têm menor durabilidade e rapidamente podem deixar de estar aptos para aplicação automotiva.

Com a aplicação do intercalário atual, mistura de Lucita e Ácido Adípico em Pó (80:20 m/m), a empresa garante uma durabilidade de 3 meses, se o vidro for estocado sob temperatura e umidade controladas. Com a substituição do intercalário pelo AAL, espera-se aumentar a vida útil do vidro. Esse aumento de vida útil está sendo continuamente monitorado.

A utilização de AAL além de resolver a questão de durabilidade do vidro, irá beneficiar a exportação de vidro, pois irá torna-lo mais resistente as condições da viagem, que por vezes, pode incluir a parada em diversos portos.

- Mapeamento do Processo: Foi elaborado um fluxograma simples, com as etapas macros do projeto. O resumo do processo de aplicação de AAL é mostrado no Anexo 1. Após encontrada as condições ideais para a etapa de aplicação de ácido adípico líquido, o processo de lavagem com vidro foi estudado e as melhorias foram concentradas nessa etapa. O Anexo 2 mostra o ciclo que foi seguido para estudo e determinação das melhores condições de lavagem. O vidro com aplicação de AAL é

submetido à lavagem, sob uma condição inicial da máquina de lavar, foram usadas as mesmas condições de lavagem para o vidro com aplicação de lucita:

- Temperatura da água: ambiente
- Escovas rotativas: nylon 60, com diâmetro das cerdas de 0,5mm
- Distância das escovas rotativas: sem controle.

Após a lavagem, o vidro é submetido à inspeção dos colaboradores do Controle de Qualidade e a remoção do AAL é avaliada. No caso de remoção completa dos resíduos, a condição ideal foi encontrada, em caso de remoção ineficiente, é realizado um estudo detalhado e posteriormente, testes práticos para a determinação de uma nova condição de lavagem.

- Voz do cliente: os clientes externos a esse produto são empresas beneficiadoras de vidro, fabricantes de para-brisas automotivos e afins. Os clientes apontam que o vidro tem baixa resistência à irisação e muitas vezes já chega na empresa irisado após o longo e crítico processo de exportação.
- Crítico para o Cliente: a indústria automobilística tem um alto grau de exigência quanto às matérias-primas do automóvel, devido aos quesitos de segurança. As características mais importantes para o vidro automotivo são a resistência à irisação, ausência de defeitos pontuais como inclusões, bolhas e riscos e ausência de defeitos ópticos em geral.
- Definição do Defeito: tendo como base que a característica crítica para o cliente é a resistência do vidro contra irisação, a equipe de trabalho se reuniu e através de um brainstorming e posterior priorização dos itens levantados, determinou-se que as variáveis do processo com maior influência nesta questão são:
 - Homogeneidade da aplicação do intercalário
 - Quantidade de intercalário aplicado
 - Resistência do intercalário à movimentação

A utilização do ácido adípico líquido em detrimento à mistura lucita/ácido adípico em pó tem grande potencial de atuar nessas variáveis e solucionar o problema de resistência do vidro à irisação:

- Homogeneidade da aplicação do intercalário: por se tratar de uma solução líquida, quando aplicado sobre a superfície do vidro, o AAL forma uma película homogênea sobre toda a área da chapa de vidro, ao passo

que a mistura lucita/ácido adípico em pó é incapaz de cobrir toda a superfície do vidro, conforme mostra a Figura 24:



Figura 24 Vidro com Ácido Adípico em Pó (esquerda) e Vidro com AAL (direita)

- Quantidade de intercalário aplicado: a quantidade de ácido adípico é calculada para proteger o vidro por 3 meses, é possível setar o aplicador de AAL para atender essa necessidade.
- Resistência do intercalário à movimentação: o ácido adípico líquido forma uma película que adere à superfície do vidro, sendo mais resistente as movimentação a que o vidro é submetido durante a estocagem e transporte até o cliente.
- Escopo do Projeto: o projeto foi dividido em dois subprojetos **aplicação de ácido adípico líquido** e **lavagem do vidro**. Foi definido um Master Plan com as etapas a serem seguidas, para que o escopo do projeto fosse cumprido integralmente. O master plan é mostrado no Anexo 3.
- Custo da Falta de Qualidade: dados de reclamações de clientes.
- Objetivo do Projeto: durante a primeira reunião da equipe Lean, foi definido como objetivo do projeto, “**melhorar a proteção do vidro contra irisação aumentando a vida útil do produto. Definindo um conjunto de parâmetros para o processo de lavagem e aplicação que garanta o resultado ideal**”.

4.2.1 Elaboração dos Testes de Aplicação

A aplicação de AAL ocorre através de um aplicador constituído basicamente por dois tanques onde são preparados e armazenados a solução de AAL, bicos aplicadores e feltro.

Os dados inicialmente utilizados para a aplicação do AAL foram baseados em dados já obtidos com sucesso em outras plantas do grupo, que utilizam o mesmo processo de aplicação de intercalário. O set up inicial foi variado com o intuito de se encontrar uma condição ideal de aplicação do AAL, o que inclui os parâmetros:

- altura do feltro;
- vazão da solução de AAL nos bicos aplicadores;
- concentração da solução de AAL.

Os experimentos de aplicação de AAL foram determinados através de um DOE, mostrado na Figura 25:

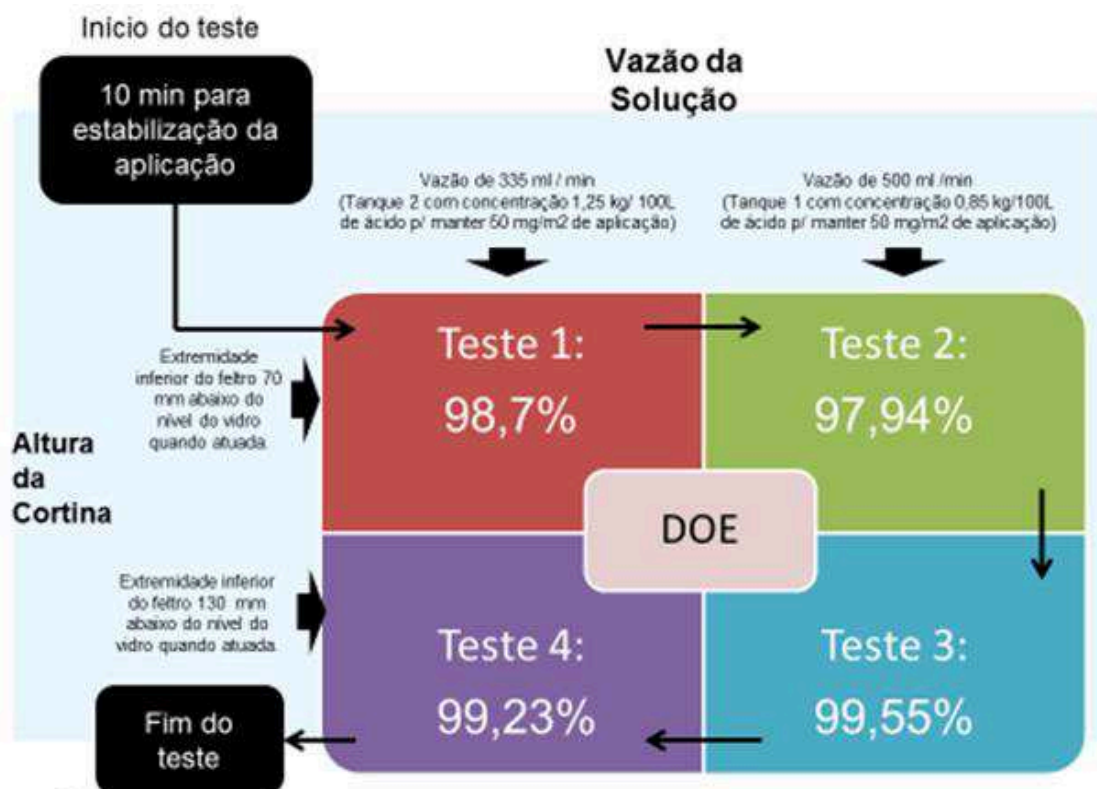


Figura 25 Experimentos de Aplicação de AAL

4.2.2 Elaboração dos Testes de Lavagem

Os três fatores a serem trabalhados serão:

- Temperatura da água de lavagem da máquina de lavar;
- Material, diâmetro e dureza das escovas rotativas da máquina de lavar;
- Ajuste da distância entre as escovas, o que interfere na pressão das mesmas sobre o vidro.

O controle e análise das melhorias implementadas na máquina de lavar serão realizados através da seguinte metodologia: as chapas de vidro com aplicação de AAL serão lavadas a cada quinze dias, seguindo o planejamento mostrado abaixo:

- Teste 1 – variação na temperatura de lavagem do vidro (de 25 °C a 45 °C), mantendo a escova rotativa na mesma configuração;
- Teste 2 – troca das escovas rotativas;
- Teste 3 – ajuste na distância das escova rotativas; fixadas a temperatura e tipo de escova ideais, será analisada a pressão das escovas sobre a superfície do vidro.

4.3 Fase Medir

As seguintes etapas foram seguidas:

- Análise do sistema de medição – Foi definido que após a lavagem do vidro, uma inspeção visual deveria ser realizada seguindo o seguinte procedimento:
 - A avaliação da eficiência da lavagem das chapas de vidro será realizada através de inspeção de 100% das chapas lavadas;
 - A inspeção será executada por um técnico de controle de qualidade treinado e seguir as instruções:
 - ✓ Deve-se utilizar o suporte de inspeção de primitivos;
 - ✓ O suporte de inspeção de primitivos é vertical, inclinado sob um ângulo de 5 graus e possui lâmpadas de LED brancas;
 - ✓ Deve-se utilizar a “corujinha”, luminária utilizada para enxergar defeito em vidro, para avaliar a presença de irisação;
 - ✓ Deve-se utilizar vaporização para revelar a presença de faixas sem aplicação ou resíduo de AAL sobre a superfície do vidro.

- Análise de causa e efeito: os principais fatores que influenciam na eficácia da lavagem do vidro foram levantados a partir do refinamento das ideias obtidas em um brainstorming, promovido entre a equipe:
 - Brainstorming – a equipe levantou possíveis causas que interferem na lavagem de vidro com aplicação de AAL:
 - ✓ Altura da escova
 - ✓ Condição de limpeza da água
 - ✓ Saturação da água com ácido
 - ✓ Idade da aplicação de AAL
 - ✓ Estado de limpeza da máquina de lavar
 - ✓ Direção da água
 - ✓ Lado de lavagem, atmosfera ou estanho
 - ✓ Velocidade do transportador
 - ✓ Quantidade de ácido adípico aplicada
 - ✓ Uniformidade da aplicação
 - ✓ Tratamento extra da água de lavagem
 - ✓ Temperatura da água de lavagem
 - ✓ Recirculação de água
 - ✓ Sentido de giro das escovas
 - ✓ Material das escovas
 - ✓ pH e condutividade da água
 - ✓ Quantidade de rampas
 - ✓ Quantidade de escovas
 - Diagrama de Ishikawa: foi construído um diagrama de causa e efeito, onde o efeito é a *Remoção Completa de Ácido Adípico Líquido do Vidro* e as causas foram definidas dentro dos grupos: material, mão-de-obra, método e máquina. Não há medições durante o processo de lavagem e não há influências do meio ambiente sobre o processo. A
 - Figura 26 mostra o Diagrama de Ishikawa para o processo de lavagem do vidro.

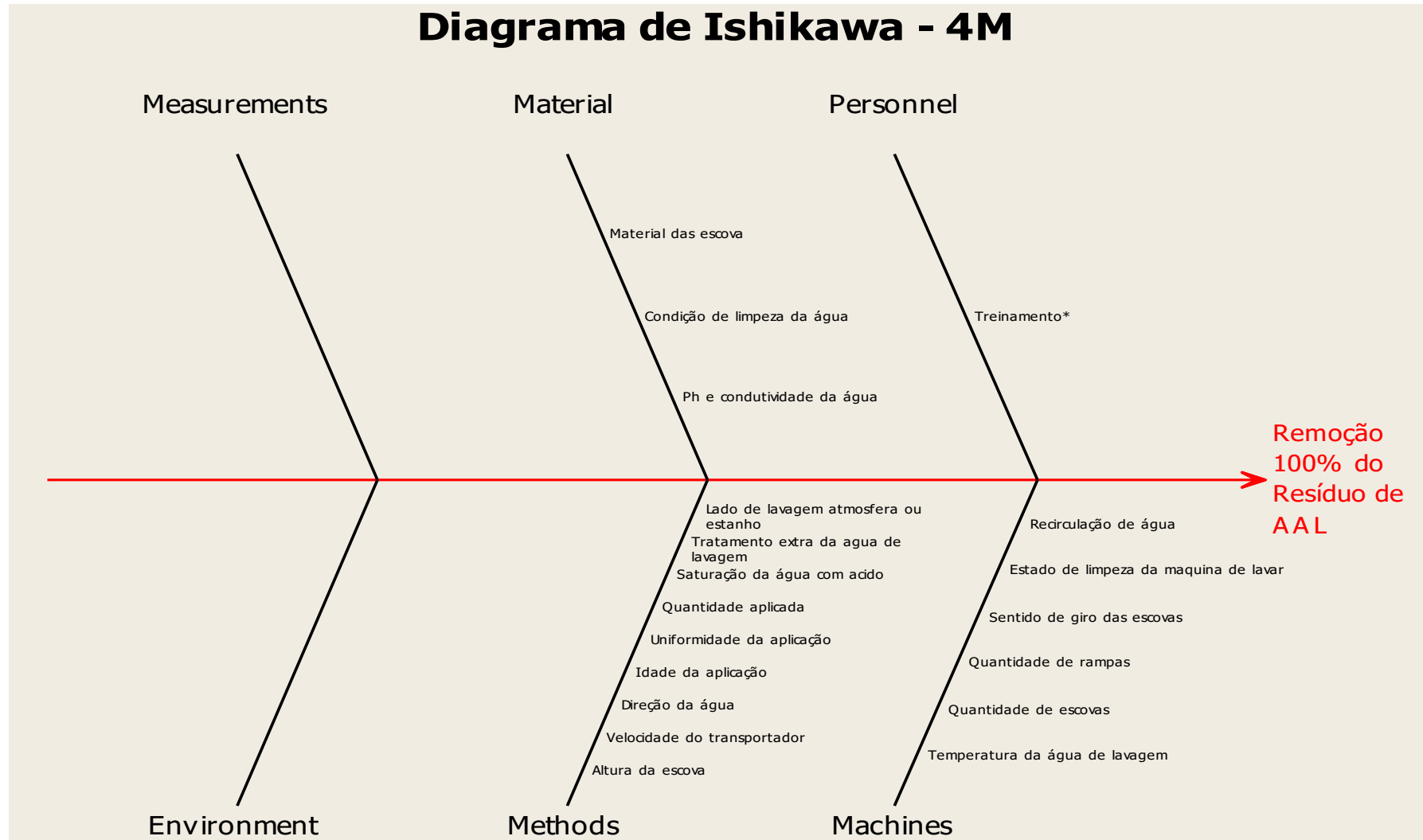


Figura 26 Diagrama de Ishikawa

○ Matriz de Priorização: para avaliar a viabilidade de se trabalhar com cada variável, cada membro da equipe preencheu uma matriz de priorização FIRE (facilidade, investimento, resultado e execução) e a soma dos resultados de todos os membros norteou as ações de melhoria. Na matriz FIRE, deve-se atribuir notas 1, 3 ou 9 para cada uma das variáveis (causa) em relação à facilidade, investimento, resultado e execução (efeito). A soma destas notas irá compor a nota final de cada variável, o que possibilita elaborar um ranking e priorizar as variáveis a serem trabalhadas. A Figura 27 mostra os critérios de avaliação FIRE:

	Facilidade	Investimento	Resultado	Execução
1	Difícil atuar nesta variável	Alto investimento para atuar nesta variável	Fraco resultado ao atuar nesta variável	Alta complexidade e necessidade de contratação de MO externa para atuar nesta variável
3	Dificuldade média de atuar esta variável	Nível Médio de investimento para atuar nesta variável	Médio resultado ao atuar nesta variável	Média complexidade e necessidade de contratação para atuar nesta variável
9	Facil atuar nesta variável	Baixo nível de Investimento para atuar nesta variável	Alto resultado ao atuar nesta variável	De fácil execução com MO interna para atuar nesta variável

Figura 27 Critérios de avaliação FIRE

O Anexo 7 mostra a matriz de priorização utilizada pelos membros da equipe. Após atribuídas as notas por um membro da equipe, é feita uma soma de todas as notas de cada variável, gerando a Matriz de Resultados, mostrada no Anexo 8. A matriz de resultados traz a média das notas de cada variável e a partir desses dados, foi construído o Pareto, mostrado na Figura 28:

:

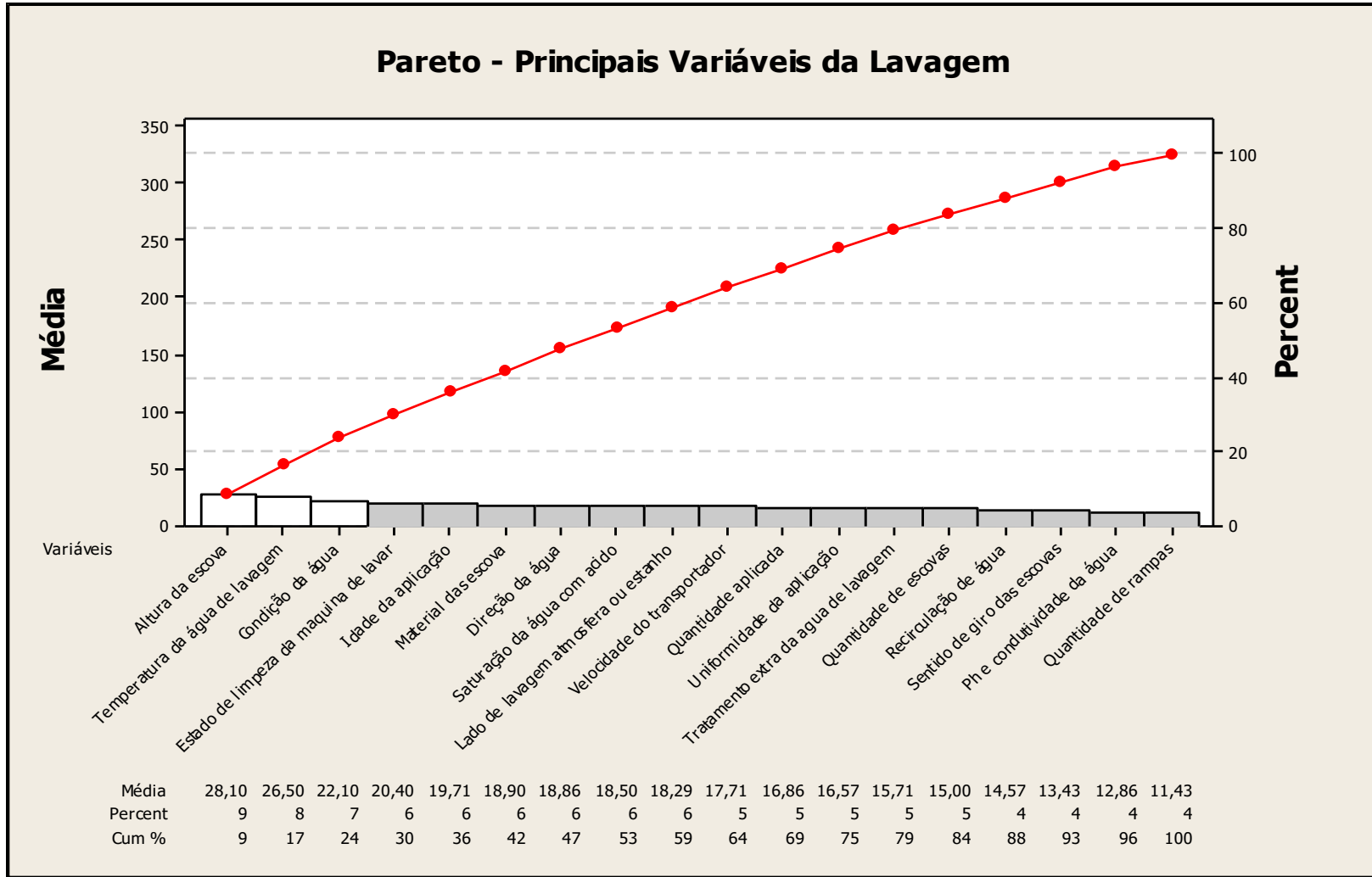


Figura 28 Gráfico de Pareto

A partir da matriz de prioridades e do diagrama de pareto, escolheu-se três variáveis para serem trabalhadas com projetos de melhoria: altura das escovas; temperatura da água de lavagem e material das escovas. Apesar de a variável condição da água ter se apresentado entre as mais influentes, optou-se por não trabalhar nesta variável, pois a água é trocada com frequência e seus parâmetros físicos e químicos são controlados diariamente, para que a lavagem sempre ocorra com a água limpa. Por outro lado, sabe-se por experiências anteriores dentro da própria empresa, que o material das escovas é um dos fatores mais influentes na lavagem de vidro em geral.

4.4 Fase Analisar

Durante a fase analisar, as variáveis levantadas no gráfico de pareto e na matriz de priorização serão avaliadas através de testes práticos de lavagem de vidro com aplicação de AAL.

Os testes de lavagem foram planejados a fim de avaliar as seguintes características, já apontadas na seção 4.3:

- Temperatura da água de lavagem;
- Material das escovas;
- Altura das escovas.

A configuração inicial da máquina de lavar, mostrada na Figura 29, no que se refere às três variáveis apresentadas acima, é:

- Três tanques reservatórios de água;
- Temperatura da água do tanque T3 varia entre ambiente e 70 °C;
- Dois pares de escovas rotativas;
- Escovas de Nylon 60, com diâmetro das cerdas de 0,3mm;
- Não havia controle da distância entre os pares de escovas.

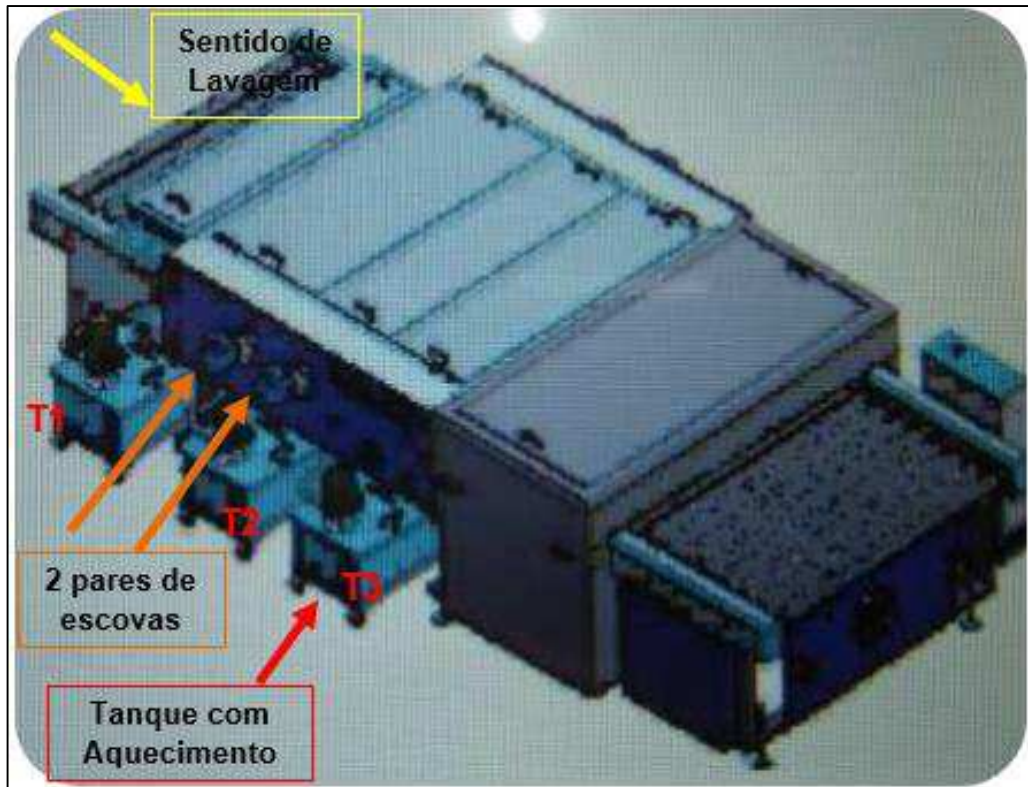


Figura 29 Esquema da Máquina de Lavar

Os testes de lavagem envolveram três amostras de vidro com aplicação de AAL:

- Vidro com aplicação de AAL datada de agosto de 2015, denominado como Ago_2015;
- Vidro com aplicação de AAL datado de março de 2016, cuja aplicação foi considerada pouco uniforme, denominado como T1_Mar_2016;
- Vidro com aplicação de AAL datado de março de 2016, cuja aplicação foi considerada homogênea sobre a superfície, denominado como T3_Mar_2016.

Foram realizados três replicatas, quinzenais, a fim de validar os resultados. As características avaliadas após a lavagem são: presença de resíduo de AAL, presença de faixas sem aplicação (oriundas de uma aplicação heterogênea), presença de irisação e remoção da marca de lápis dermatográfico (são feitos riscos leves em toda a superfície do vidro para testar a eficiência das escovas rotativas). Os testes de lavagem seguiram o esquema mostrado Figura 30:

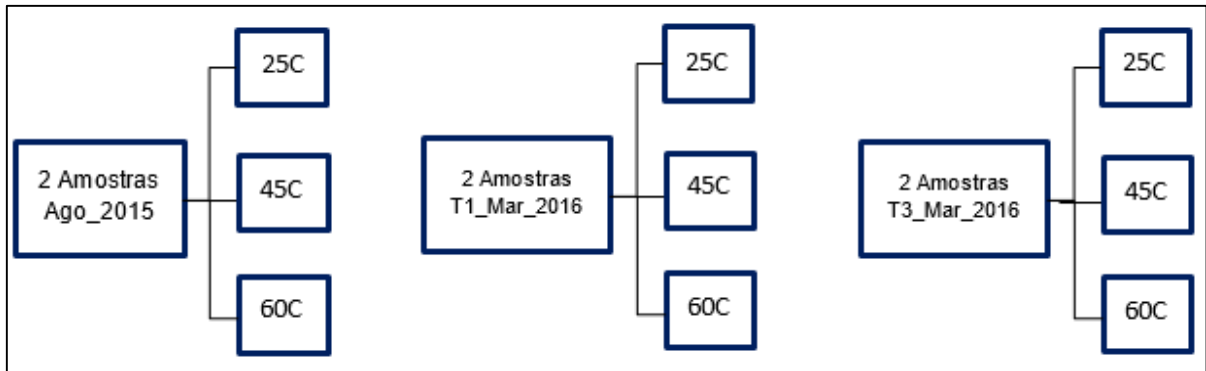


Figura 30 Planejamento dos Testes de Lavagem Iniciais

Os resultados desses quatro testes são mostrados nos Anexo 4, Anexo 5 e Anexo 6.

Através do gráfico da Figura 31, pode-se notar que:

- A temperatura de 25°C praticamente não teve efeito na lavagem das chapas de vidro, pois os três testes de aplicação continuaram com grande quantidade de resíduo de AAL;
- As temperaturas de 45°C e 60°C mostraram melhor resultado com relação à remoção de AAL e foi possível notar diferenças entre os três testes de aplicação. O teste 3, datado de março de 2016 é o que possui aplicação mais uniforme, enquanto o teste 1 de março de 2016 e o teste de agosto de 2015 possuem aplicação com muita falhas (faixas sem aplicação). Após lavagem nessas temperaturas, o teste 3 de março de 2016 apresentou melhor remoção do AAL;
- De uma forma geral, a lavagem realizada à temperatura de 60°C foi mais eficiente, porém, não removeu completamente o AAL. Acredita-se que esse resultado deve-se ao fato de apenas um tanque reservatório de água possuir aquecimento, de forma que durante o processo de lavagem, a água dos três reservatórios se misturam e a temperatura resultante cai consideravelmente.

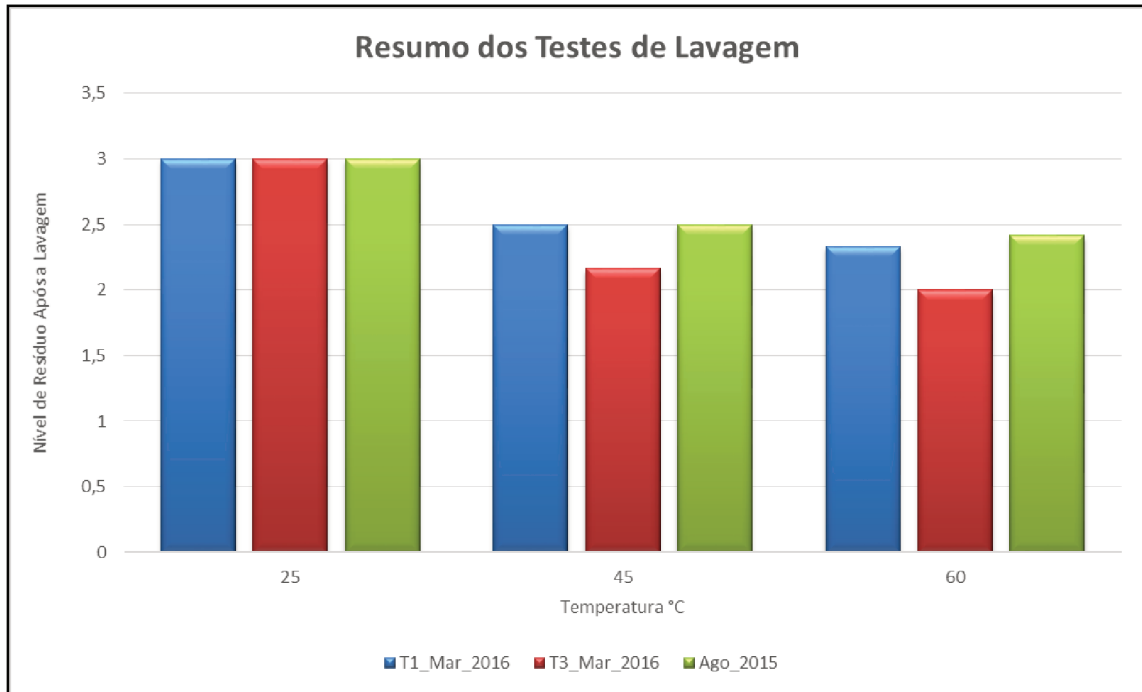


Figura 31 Resumo dos Testes Preliminares de Lavagem

Após a realização dos testes de lavagem, pode-se concluir que:

- Quanto mais alta a temperatura da água de lavagem, melhor os resultados de remoção do AAL;
- Vidro com aplicação mais antiga apresenta maior dificuldade de remoção do AAL;
- Vidro com aplicação mais homogênea apresenta remoção de AAL mais fácil;
- O aquecimento da água em apenas um tanque reservatório não é suficiente para a remoção completa de AAL;
- O material das escovas rotativas e a distância entre as escovas do mesmo par são inadequados para a remoção completa do AAL;
- O teste do lápis teve um resultado negativo em todos os casos. As indústrias de vidro utilizam este método para avaliar a qualidade das escovas rotativas: faz-se uma marca leve de lápis em toda a superfície do vidro e lava-se a chapa, se a marca do lápis for completamente removida, assume-se que as escovas estão em boas condições. Se a marca do lápis não for removida, as escovas podem estar muito gastas ou desreguladas.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas e nas conclusões acima, decidiu-se por implementar duas melhorias na máquina de lavar: troca das

escovas rotativas e instalação de aquecimento nos três tanques reservatórios de água, que serão detalhadas no 4.5.

4.5 Fase Implementar

As duas melhorias planejadas foram implementadas na ordem:

- Troca das escovas rotativas;
- Aquecimento dos três tanques reservatórios de água.

4.5.1 Troca das Escovas Rotativas

Foi contatado um fornecedor especializado em escovas para lavagem industrial, que sugeriu a troca com o intuito de aumentar a dureza das cerdas. A Figura 32 mostra a substituição e a configuração das novas escovas rotativas:

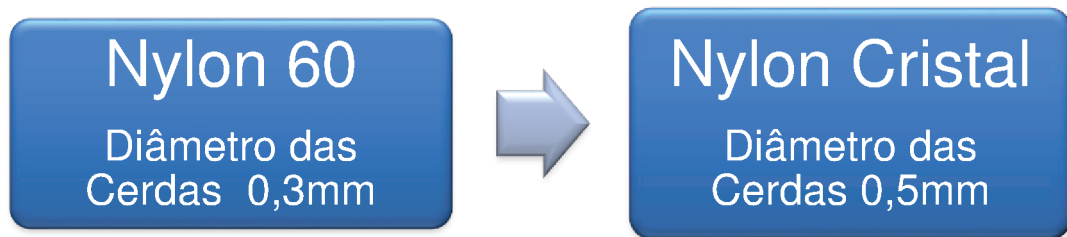


Figura 32 Troca das Escovas Rotativas

Após a melhoria acima, foram realizados novos testes de lavagem dos vidros com AAL, mostrados na Tabela 2:

Tabela 2 Resultados da Lavagem Após Troca das Escovas

Temperatura = 25 °C						
Amostra	Identificação da Amostra	Resíduo	Faixas	Irisação	R/NR	pH H2O = 7,3
1	Ago_2015	3	2	N	NR	5,7
2	Ago_2015	3	2	N	NR	5,8
3	T1_Mar_2016	2	1	N	NR	6,0
4	T1_Mar_2016	2	1	N	NR	5,9
5	T3_Mar_2016	2	0	N	NR	5,8
6	T3_Mar_2016	2	0	N	NR	6,0
Temperatura = 45 °C						
Amostra	Identificação da Amostra	Resíduo	Faixas	Irisação	Lápis	pH H2O = 7,3
1	Ago_2015	2	2	N	R	6,6
2	Ago_2015	2	2	N	R	5,5
3	T1_Mar_2016	1	1	N	R	5,6
4	T1_Mar_2016	1	1	N	R	5,6
5	T3_Mar_2016	1	0	N	R	5,8
6	T3_Mar_2016	1	0	N	R	5,7

Onde, para resíduos e faixas:

1 = ausência

1 = pouco

2 = quantidade moderada

3 = muito

Para irisação:

S = presença de irisação

N = ausência de irisação

Para lápis:

R = removeu completamente

NR = não removeu completamente

Não foram realizados testes de lavagem à 60 °C, pois a maioria dos clientes da empresa (fabricantes de pára-brisas) não possuem máquinas de lavar compatíveis com essa configuração, desta forma, para atender um requisito dos clientes, optou-se por manter os testes de lavagem até a temperatura de 45 °C.

Os dados da Tabela 2 mostram uma clara melhoria nos resultados da lavagem:

- A temperatura de 25 °C é ineficiente tanto na remoção do resíduo de AAL quanto na remoção das marcas de lápis;
- A temperatura de 45 °C mostrou grande melhora na remoção do AAL e foi suficiente para remover completamente as marcas de lápis em todas as amostras;
- As amostras de agosto de 2015 tiveram pior remoção do AAL nas duas temperaturas, comprovando mais uma vez que a idade do vidro é um fator que interfere na eficácia da lavagem: quanto mais antigo o vidro, mais difícil é a remoção do ácido;
- Foi inserido um novo teste para comprovar a existência ou não de ácido na chapa após a lavagem: foi recortada uma amostra de 30cm x 30cm de cada chapa e no laboratório químico, essas amostras foram lavadas com 150mL água desmineralizada. A água usada foi recolhida para um béquer através de um funil e o pH foi medido. Comparando o pH da água usada nesta lavagem com o pH inicial da água desmineralizada, pode-se inferir se há a presença de ácido se o valor do pH cair. Este método porém, não é quantitativo, apenas qualitativo.

i. Aquecimento dos três tanques reservatórios de água

Instalação de resistências de 12kW nos dois tanques não aquecidos: foram dimensionadas resistências capazes de aquecer a água dos tanques T1 e T2 até uma temperatura de 70 °C. As resistências dos três tanques são controladas por um único set point, não é possível atribuir diferentes temperaturas para os tanques, porém cada tanque possui um indicador de temperatura individual, como mostra a Figura 33:



Figura 33 Tanques Reservatórios de Água

Os testes de lavagem foram baseados nos princípios mostrados na Figura 34 e incluem duas novas aplicações, chamadas de T2_Mar_2016 e T2_Mar_2016. Essas amostras replicaram as condições de aplicação anteriores:

1º Teste: mantém a data/aplicação do vidro e varia a temperatura. O objetivo é encontrar a temperatura mínima capaz de remover todo o resíduo de AAL dos vidros, independente da idade e da homogeneidade da aplicação. A temperatura de partida é 45°C.

2º Teste: encontrada a temperatura mínima capaz de lavar o vidro com eficácia, será variada a altura das escovas. A distância entre eixos deve ser medida para encontrar a variação máxima permitida, com a qual é possível a remoção completa do resíduo de AAL. Deve-se encontrar uma faixa para cada espessura de vidro envolvida.

A especificação das escovas será mantida: Escova rotativa, tipo cartucho, com 30 dentes. Diâmetro externo de 150mm. Furo de 60mm. Parede do cartucho de 15mm. Comprimento de cada cartucho de 100mm. Cerdas de Nylon Cristal Liso, diâmetro das cerdas 0,50mm.

Figura 34 Montagem dos Testes de Lavagem

Os resultados das lavagens encontram-se nas Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5:

Tabela 3 Teste de Lavagem - Ago_2015

Teste 1A – Ago_2015					
Amostra	Temperatura	Resíduo	Faixas	Irisação	R/NR
1	45°C	0	2	N	R
2	45°C	0	2	N	R
3	40°C	0	2	N	R
4	40°C	0	2	N	R
5	35°C	0	2	N	NR
6	35°C	0	2	N	NR
7	30°C	0	2	N	NR
8	30°C	0	2	N	NR
9	25°C	0	2	N	NR
10	25°C	0	2	N	NR

Tabela 4 Teste de Lavagem - T1_Mar_2016

Teste 1B – T1_Mar_2016					
Amostra	Temperatura	Resíduo	Faixas	Irisação	R/NR
1	45°C	0	0	N	R
2	45°C	0	0	N	R
3	40°C	0	0	N	R
4	40°C	0	0	N	R
5	35°C	0	0	N	NR
6	35°C	0	0	N	NR
7	30°C	0	0	N	NR
8	30°C	0	0	N	NR
9	25°C	0	0	N	NR
10	25°C	0	0	N	NR

Tabela 5 Teste de Lavagem - T2_Set_2016

Teste 1D – T2_Set_2016					
Amostra	Temperatura	Resíduo	Faixas	Irisação	R/NR
1	45°C	0	2	N	R
2	45°C	0	2	N	R
3	40°C	0	2	N	R
4	40°C	0	2	N	R
5	35°C	0	2	N	R
6	35°C	0	2	N	NR
7	30°C	0	2	N	NR
8	30°C	0	2	N	NR
9	25°C	0	2	N	NR
10	25°C	0	2	N	NR

Com esses testes, encontrou-se a temperatura mínima capaz de remover todo o ácido adípico líquido da superfície do vidro para cada aplicação:

- Ago_2015: os resíduos de ácido adípico foram removidos completamente em todas as temperaturas. Porém, apenas as temperaturas de 40°C e 45°C foram eficientes na remoção dos riscos de lápis;
- T1_Mar_2016 e T3_Mar_2016: os resíduos de ácido adípico foram removidos completamente em todas as temperaturas. Porém, apenas as temperaturas de 40°C e 45°C foram eficientes na remoção dos riscos de lápis;
- T2_Set_2016: os resíduos de ácido adípico foram removidos completamente em todas as temperaturas. Porém, apenas as temperaturas de 40°C e 45°C foram eficientes na remoção dos riscos de lápis;

Desta forma, admitiu-se que a temperatura mínima necessária para a remoção de AAL é 40°C.

Adotou-se a altura das escovas utilizada durante o teste 1, como marco inicial para o teste 2, no qual utilizou-se chapas da aplicação T2_Set_2016. Variou-se a altura das escovas de 1mm (afastando os eixos das escovas do mesmo par), até

que não fosse mais possível a remoção do AAL. O valor encontrado foi: 1cm de sobreposição das cerdas.

De forma resumida, pode-se concluir que:

- A temperatura da água de lavagem interfere na remoção do ácido adípico, quanto mais alta a temperatura, mais a remoção é favorável. Isso pode ser explicado pelo mecanismo de lavagem do AAL, que é parte física (esfregação das escovas) e parte química (dissolução do ácido em água). A dissolução de um material em água, em geral, aumenta com o aumento da temperatura;
- A dureza das escovas interfere na remoção do AAL, uma dureza maior favorece a remoção total;
- As faixas de aplicação, decorrentes de um processo de aplicação não uniforme não interferem no processo de serigrafia, não apresentando manchas;
- A idade da aplicação de AAL interfere na remoção do mesmo, quanto mais antiga a aplicação, mais difícil é a remoção;
- A qualidade da aplicação interfere na remoção de AAL, quanto mais uniforme é a aplicação, mais fácil é a remoção;
- O AAL é mais eficiente contra irisação do que o ácido adípico em pó; até o momento, foram monitorados vidros com aplicação de 1 ano e 3 meses, que não apresentaram indícios visíveis de irisação;

4.6 Fase Controlar

Para controlar os resultados alcançados após a implementação das melhorias, serão realizadas lavagens quinzenais das chapas de vidro com AAL para verificar a variabilidade do processo de lavagem.

Além disso, o processo de fabricação de para-brisas será monitorado e as possíveis reclamações relacionadas à utilização do AAL serão contabilizadas.

Após a implementação e obtenção de todos os parâmetros necessários, será realizado o GDD, gestão do dia-a-dia, liderada pela equipe envolvida no projeto e com a participação de todos os envolvidos nos processos de aplicação de AAL, lavagem e inspeção das chapas.

5. Conclusão

As condições de lavagem antes da implementação do projeto eram:

- Temperatura da água: ambiente, com aquecimento em apenas um tanque;
- Diâmetro das cerdas: 0,30 mm;
- Distância entre as escovas: não havia controle sobre este parâmetro;
- Vida útil do vidro: 3 meses em estoque com temperatura e umidade controlados.

Com base nos testes realizados, pôde-se chegar a algumas conclusões:

- A temperatura da água de lavagem ideal é de 45°C;
- O diâmetro das cerdas das escovas ideal é de 0,50mm;
- A distância ideal entre as escovas de um mesmo par é de 1cm de sobreposição;
- O aumento da vida útil do vidro com aplicação de AAL é até o momento desta pesquisa de: de 3 meses para 15 meses (sem apresentar irisação), porém, estes vidros continuam sendo monitorados e não representam o ganho final.

Analisando os dados apresentados acima, conclui-se que o aumento de vida útil até o momento foi de 400%.

6. Referências Bibliográficas

ABRAVIDRO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS. Revista O Vidro Plano. **Ameaça à Aparência Perfeita**. Disponível em: <http://abraavidro.org.br/ameaca-a-aparencia-perfeita/>. Acessado em 08/01/2017.

ABRAVIDRO, Panorama. **O Mercado Vidreiro em Números: A Industrial de Vidro Float Atual e Perspectivas** – Abraavidro, 2016.

AKERMAN, Mauro. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. Saint Gobain - Vidros Brasil: CETEV - Centro Técnico de Eaboração do Vidro, 2000. 3,4 p.

ANAVIDRO, Redação. **Saiba mais sobre a laminação com PVB**. ANAVIDRO – Associação Nacional de Vidraçarias – SP. Disponível em: <http://www.anavidro.com.br/saiba-mais-sobre-a-laminacao-com-pvb/>. Acessado em 27/12/2016.

ANDRIETTA, João Marcos; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Aplicação do Programa Seis Sigma no Brasil: Resultados de um Levantamento Tipo Survey Exploratório-descritivo e Perspectivas Para Pesquisas Futuras**. 2007. 203,206 p. Publicação (Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BEZERRA, Filipe. **Diagrama de Ishikawa – Causa e Efeito**. Portal Administração – Tudo sobre Administração. 2014. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/08/diagrama-de-ishikawa-causa-e-efeito.html>. Acessado em 12/02/2017.

BEZERRA, Filipe. **Diagrama de Pareto: Guia Geral (passo a passo)**. Portal Administração – Tudo sobre Administração. 2014. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/04/diagrama-de-pareto-passo-a-passo.html>. Acessado em 12/02/2017.

BLINDEX; HISTÓRIA do Vidro: O Que é Vidro Float? Disponível em: <http://www.blindex.com.br/sobre-a-blindex/historia-do-vidro/o-que-e-vidro-float>.

Acessado em: 13/12/2016.

CAMARGO, Wellington. **Controle de Qualidade Total**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Paraná: E-Tec Brasil, 2011.15,18 p

CLETO, Marcelo Gechele; QUINTEIRO, Leandro. **Gestão de Projetos Atravé do DMAIC**: Um Estudo de Caso na Indústria Automotiva. 2011. 212,217 p. Publicação (Profissional da Indústria Automotiva) - ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2011.

DE CARVALHO, Marly Monteiro; HO, Linda Lee; PINTO, Silvia Helena Boarin. **Implementação e Difusão do Programa Seis Sigma no Brasil**. 2007. 486,488 p. Publicação (Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DIAS, Jéssica. **A Metodologia Six Sigma e a Ferramenta DMAIC**. Disponível em: <http://blogdaengenharia.com/metodologia-six-sigma-e-ferramenta-dmaic/>. Acessado em 04/01/2017.

ESC. **Como é Feito o Vidro Temperado?** Portal Eu Sou Curioso. Disponível em: <http://www.eusoucurioso.com/como-e-feito-vidro-temperado/>. Acessado em 27/12/2016.

FAU, 2017; **HISTÓRIA do Vidro – FAU USP**. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/deptecnologia/docs/bancovidros/vidro.htm>. Acessado em 09/01/2017.

FERNANDES, Waldir Algarte. **O Movimento da Qualidade no Brasil**. [S.l.]: Essencial Idea, 2011. 15,89 p.

FILHO, Hayrton R. P.; **Dicas de qualidade: Matriz de Priorização e Diagrama PDPC**. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2009/12/17/dicas-de-qualidade-matriz-de-priorizacao-e-diagrama-pdpc/>. Acessado em: 12/02/2017.

FURTADO, Juliana. **Projetos de Melhoria – Aula 1: Padronização e Melhoria de Processos**. Material didático utilizado no curso de pós graduação de Engenharia da Qualidade - Lean Seis Sigma. UNITAU. Taubaté – SP. 2015

GOMM, Kristi. **Brainstorming to Implementation!** In Place Recruitment. Disponível em: <http://www.inplacerecruitment.com.au/blog/brainstorming-to-implementation>. Acessado em 12/02/2017.

MAIA, Laura Costa; ALVES, Anabela C.; LEÃO, Celina P. **Metodologias para Implementar Lean Production**: Uma Revisão Crítica de Literatura. 2011. 1,3 p. Publicação (Departamento de Produção e Sistemas) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, [S.l.], 2011.

MONTANO, Paulo Fernandes; BASTOS, Hugo Bertha. **A Indústria de Vidro Plano**: Conjuntura Atual e Perspectivas. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: BNDS - Biblioteca Digital, 2016. 265,290 p.

NAVARRO, Jose Maria Fernandez. **El Vidro**. Segunda. ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Fundación Centro Nacional de Vidro - Madrid: Real Fabrica de Cristales de La Granja, 1991. 3-5; 36-44; 127-135; 590-591 p.

PILKINGTON; REVOLUCAO do Float. Disponível em: <https://www.pilkington.com/pt-br/br/about-us/historia/revolucao-do-float>. Acessado em: 12/12/2016.

PINTO, João Paulo. **Lean thinking**: Introdução ao Pensamento Magro. Comunidade Lean Thinking: [s.n.], 2008. 1,5 p.

REYES, Andrés E. L.; VICINO, Silvana R. **Qualidade Total – Diagrama de Ishikawa**. CIAGRI/USP – DME - ESALQ/USP. Disponível em:

<http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>. Acessado em: 12/02/2017.

SAINT Gobain Glass no Brasil: Saint-Gobain Glass: construindo a história do vidro. Disponível em: <http://br.saint-gobain-glass.com/node/100>. Acessado em 09/01/2017.

SANTO, Rui. **Brainstorming – Tempestade de ideias (BS – TI) ou Como tirar seu time do “cercadinho mental”**. 2015, 1, 5 p. Disponível em:

[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/741A876FE828908203256E7C00614A23/\\$File/NT00002206.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/741A876FE828908203256E7C00614A23/$File/NT00002206.pdf). Acessado em 12/02/2017.

SANTOS, José Carlos da Silva. **Integração da Técnica Seis Sigma (DMAIC) com Métricas Ambientais para a Busca de Melhorias na Ecoeficiência de um Processo Industrial**. 2013.22,34 p. Dissertação (Mestrado - Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2013.

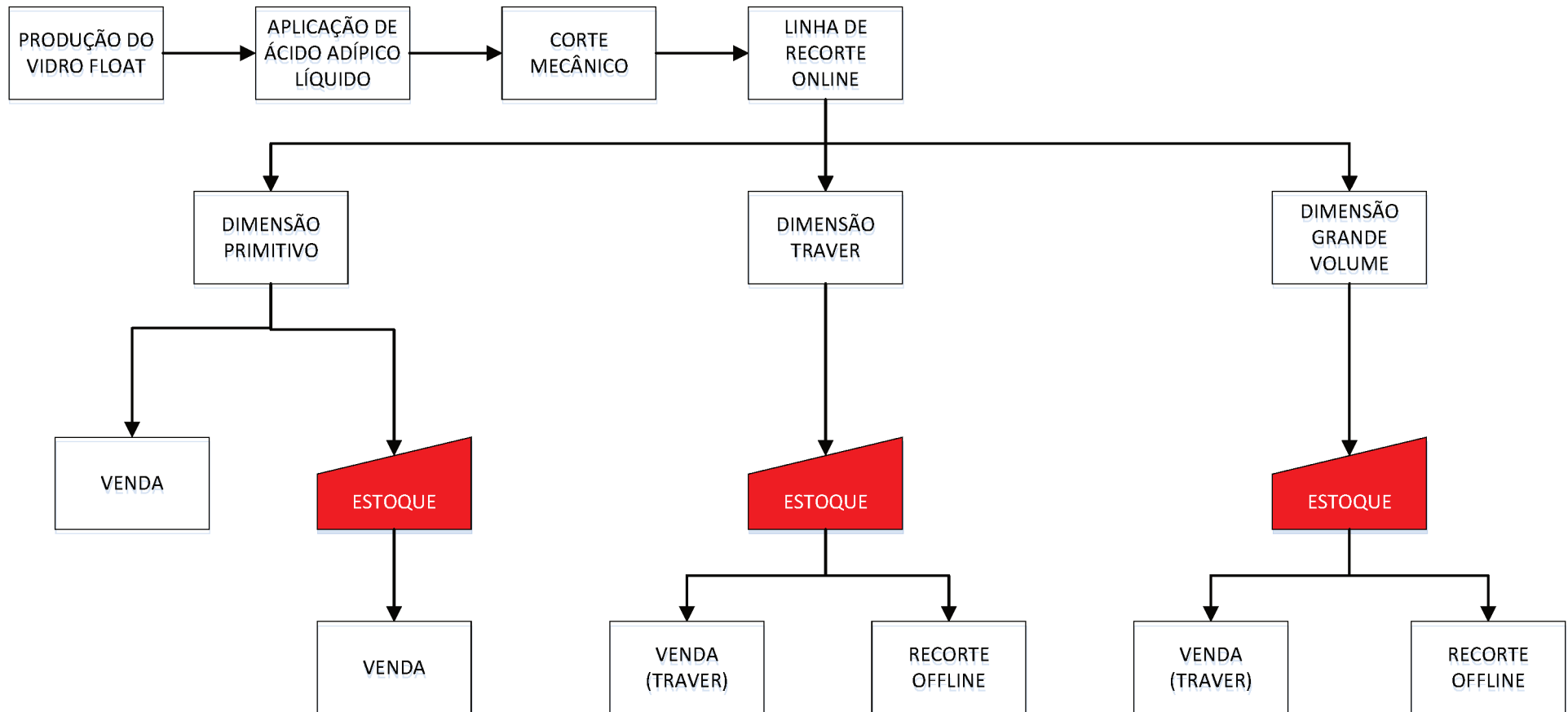
SINGH, Vikram. **DMAIC – Checkpoint Approach**. 2015. Disponível em: <http://www.linkedin.com/pulse/recap-107-dmaic-checkpoint-approach-vikram-singh>. Acessado em 11/02/2017.

VENKI. **Como mapear processos passo a passo em 1 etapas simples**. Disponível em: <http://www.venki.com.br/blog/como-mapear-processos-passo-a-passo/>. Acessado em 12/02/2017.

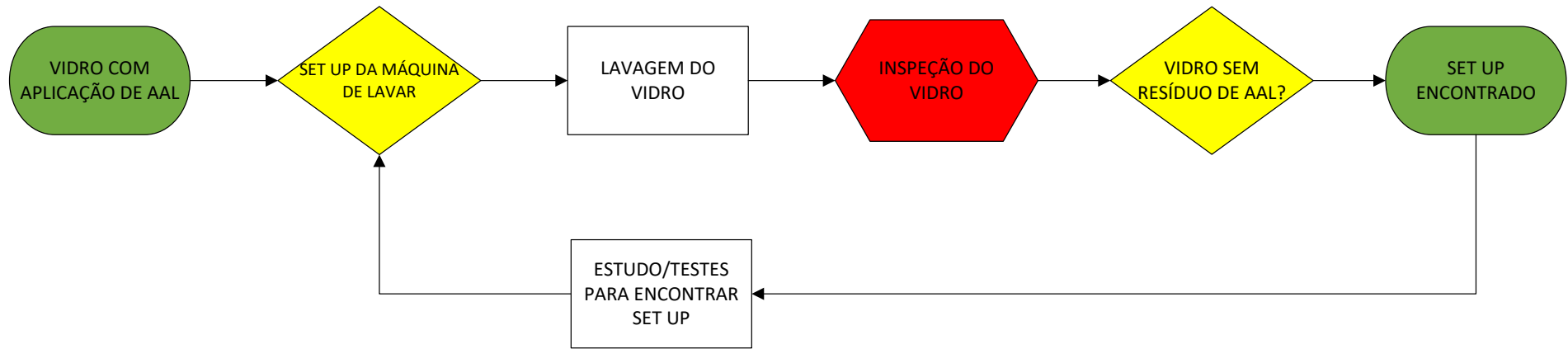
VIDRO IMPRESSO; Seção Fique por Dentro. **Transparência sem Fronteiras**: Impulsionado por avanços tecnológicos, vidro plano conquista crescente protagonismo mundo a fora. Disponível em: <http://www.vidroimpresso.com.br/fique-por-dentro/edicao18/Transpar%C3%A2ncia-sem-fronteiras>. Acessado em: 11/12/2016.

ZANOTTO, Edgar Dutra. **Pesquisa FAPESP**: Mistério desvendado. Disponível em <http://revistapesquisa.fapesp.br/2002/09/01/a-santa-das-vidracas-mais-um-mito-do-vidro/>. Acessado em 30/11/2016.

Anexo 1 Mapeamento do processo - etapas macros



Anexo 2 Mapeamento do processo de lavagem



Anexo 3 Master Plan

		Master Plan: Ácido Adípico Líquido				Início do Projeto 01/08/2016					
						Data atual 22/10/2016					
						Duração do Projeto 224 days		Agosto			
						% Completo 24%		31	32	33	34
						% Planejado 37%		1/8	8/8	15/8	22/8
		Task Name	%	Duração	Início	Fim					
1	Entender a situação atual	1 Identificar objetivos e escopo a ser atingido no projeto	100%	5 days	15/08/2016	22/08/2016					
		2 Coletar dados de experimentos anteriores de aplicação e lavagem de Acido adipico	100%	5 days	15/08/2016	22/08/2016					
		3 Avaliar os resultados destes experimentos e relacionar fatores de sucesso	100%	10 days	15/08/2016	29/08/2016					
		4 Padronizar materiais e LUP (ou IT) para os fatores de sucesso já identificados	50%	5 days	29/08/2016	05/09/2016					
		5 Elaborar um plano de testes e ensaios controlados cobrindo aplicação e lavagem	100%	10 days	22/08/2016	05/09/2016					
2	Realizar testes industriais	1 Definir as condições otimas de cada teste (maquina , material, metodo e mao de obr	100%	5 days	05/09/2016	13/09/2016					
		2 Realizar testes em amostras com significancia estatistica (ex.: n = 30) - IT XXXX	50%	52 days	29/08/2016	14/11/2016					
		3 Avaliar os resultados da aplicação de acido adipico (Teste de uniformidade de aplicaã	40%	47 days	05/09/2016	14/11/2016					
		4 Avaliar os resultados da lavagem (IT XXX)	33%	43 days	12/09/2016	14/11/2016					
		5 Escolher o melhor experimento em termos de aplicação e lavagem.	0%	4 days	14/11/2016	21/11/2016					
3	estabelecer processo industrial de aplicação acido adipico	1 Fluxo de processo padronizado + IT de produção	0%	5 days	21/11/2016	28/11/2016					
		2 sequenciamento (ramp -up / ramp-down)	0%	5 days	21/11/2016	28/11/2016					
		3 atividades de 5S e limpeza	0%	5 days	21/11/2016	28/11/2016					
		4 produção de lote piloto	0%	10 days	02/01/2017	16/01/2017					
		5 acompanhamento do lote piloto no cliente e sua validação	0%	40 days	05/12/2016	30/01/2017					
		6 analise de resultados	0%	35 days	19/12/2016	06/02/2017					
		7 Erros e acertos	0%	10 days	09/01/2017	23/01/2017					
4	analise das anomalias	1 identificar causa das anomalias no cliente (no campo)	0%	10 days	23/01/2017	06/02/2017					
		2 elaborar analise 5 porques	0%	5 days	06/02/2017	13/02/2017					
		3 estabelecer novos padroes / LUP / IT	0%	10 days	06/02/2017	20/02/2017					
		4 Realizar as ações corretivas (preventivas recomendadas)	0%	5 days	20/02/2017	27/02/2017					
5	Padronização e treinamento	1 restabelecer especificação de processo e revalidar documentação	0%	5 days	27/02/2017	06/03/2017					
		2 Identificar as competencias necessárias do processo (RAC)	0%	5 days	06/03/2017	13/03/2017					
		3 Avaliar gap de competencias dos envolvidos	0%	5 days	06/03/2017	13/03/2017					
		4 realizar treinamento teorico nas IT 's e práticas	0%	10 days	13/03/2017	27/03/2017					
		5 atualizar matriz RAC (novos scores de competencia)	0%	5 days	20/02/2017	27/02/2017					
		6 finalizar o processo do projeto	0%	5 days	20/02/2017	27/02/2017					
6	Finalização Sistêmica	1 Preparação da apresentação final	0%	10 days	02/01/2017	16/01/2017					
		2 Realização da Apresentação Final	0%	1 days	16/01/2017	17/01/2017					
		3 Análise crítica com os líderes	0%	10 days	17/01/2017	31/01/2017					
		4 Consolidação do plano de ação no SGI	0%	15 days	31/01/2017	21/02/2017					

Anexo 4 Resultados do Teste de Lavagem 1 – 14_04_2016

Amostra	Teste	Temperatura da água (°C)	Resultado após lavagem na máquina			
			Resíduo	Faixa	Irisação	Lápis
1	T1_Mar_2016	25	3	2	Não	Não
2	T1_Mar_2016	25	3	2	Não	Não
3	T3_Mar_2016	25	3	1	Não	Não
4	T3_Mar_2016	25	3	1	Não	Não
5	Ago_2015	25	3	3	Não	Não
6	Ago_2015	25	3	3	Não	Não
7	T1_Mar_2016	45	3	2	Não	Não
8	T1_Mar_2016	45	3	2	Não	Não
10	T3_Mar_2016	45	2	1	Não	Não
11	T3_Mar_2016	45	2	1	Não	Não
13	Ago_2015	45	2	3	Não	Não
14	Ago_2015	45	2	3	Não	Não
17	T1_Mar_2016	60	2	2	Não	Não
18	T1_Mar_2016	60	2	2	Não	Não
20	T3_Mar_2016	60	1	1	Não	Não
21	T3_Mar_2016	60	1,5	1	Não	Não
22	Ago_2015	60	1,5	3	Não	Não
24	Ago_2015	60	2	3	Não	Não

1	Sem resíduo
2	Pouco resíduo
3	Qtde moderada de resíduo
4	Muito resíduo

1	Sem resíduo
2	Pouco resíduo
3	Qtde moderada de resíduo
4	Muito resíduo

Sim	Presença de irisação
Não	Não-presença de irisação

Sim	Remoção total dos riscos de lápis
Não	Remoção incompleta dos riscos de lápis

Anexo 5 Resultados do Teste de Lavagem 2 – 03_05_2016

Amostra	Teste	Temperatura da água (°C)	Resultado após lavagem na máquina			
			Resíduo	Faixa	Irisação	Lápis
1	T1_Mar_2016	25	3	2	Não	Não
2	T1_Mar_2016	25	3	2	Não	Não
3	T3_Mar_2016	25	3	1	Não	Não
4	T3_Mar_2016	25	3	1	Não	Não
5	Ago_2015	25	3	3	Não	Não
6	Ago_2015	25	3	3	Não	Não
7	T1_Mar_2016	45	2	2	Não	Não
8	T1_Mar_2016	45	2	2	Não	Não
10	T3_Mar_2016	45	2	1	Não	Não
11	T3_Mar_2016	45	2	1	Não	Não
13	Ago_2015	45	2,5	3	Não	Não
14	Ago_2015	45	2,5	3	Não	Não
17	T1_Mar_2016	60	1,5	2	Não	Não
18	T1_Mar_2016	60	1,5	2	Não	Não
20	T3_Mar_2016	60	1,5	1	Não	Não
21	T3_Mar_2016	60	1,5	1	Não	Não
22	Ago_2015	60	2	3	Não	Não
24	Ago_2015	60	2	3	Não	Não

1	Sem resíduo
2	Pouco resíduo
3	Qtde moderada de resíduo
4	Muito resíduo

1	Sem resíduo
2	Pouco resíduo
3	Qtde moderada de resíduo
4	Muito resíduo

Sim	Presença de irisação
Não	Não-presença de irisação

Sim	Remoção total dos riscos de lápis
Não	Remoção incompleta dos riscos de lápis

Anexo 6 Resultados do Teste de Lavagem 3 – 20_05_2016

Amostra	Teste	Temperatura da água (°C)	Resultado após lavagem na máquina			
			Resíduo	Faixa	Irisação	Lápis
1	T1_Mar_2016	25	3	2	Não	Não
2	T1_Mar_2016	25	3	2	Não	Não
3	T3_Mar_2016	25	3	1	Não	Não
4	T3_Mar_2016	25	3	1	Não	Não
5	Ago_2015	25	3	3	Não	Não
6	Ago_2015	25	3	3	Não	Não
7	T1_Mar_2016	45	2,5	2	Não	Não
8	T1_Mar_2016	45	2,5	2	Não	Não
10	T3_Mar_2016	45	2,5	1	Não	Não
11	T3_Mar_2016	45	2,5	1	Não	Não
13	Ago_2015	45	3	3	Não	Não
14	Ago_2015	45	3	3	Não	Não
17	T1_Mar_2016	60	2	2	Não	Não
18	T1_Mar_2016	60	2	2	Não	Não
20	T3_Mar_2016	60	2	1	Não	Não
21	T3_Mar_2016	60	2	1	Não	Não
22	Ago_2015	60	3	3	Não	Não
24	Ago_2015	60	3	3	Não	Não

1	Sem resíduo
2	Pouco resíduo
3	Qtde moderada de resíduo
4	Muito resíduo

1	Sem resíduo
2	Pouco resíduo
3	Qtde moderada de resíduo
4	Muito resíduo

Sim	Presença de irisação
Não	Não-presença de irisação

Sim	Remoção total dos riscos de lápis
Não	Remoção incompleta dos riscos de lápis

Anexo 7 Matriz de Priorização FIRE

FIRE					
Variável	Facilidade	Investimento	Resultado	Execução	Índice Soma
Temperatura da água de lavagem	9	9	3	3	24
Quantidade de escovas	1	3	9	3	16
Material das escova	3	3	3	3	12
Altura da escova	9	9	3	9	30
Velocidade do transportador	9	9	3	3	24
Quantidade de rampas	3	3	3	3	12
Direção da água	3	9	3	3	18
Sentido de giro das escovas	3	9	1	3	16
Condição da água	3	3	9	3	18
Estado de limpeza da maquina de lavar	3	9	9	3	24
Ph e condutividade da água	3	1	3	1	8
Idade da aplicação	9	9	9	9	36
Uniformidade da aplicação;	3	3	9	9	24
Quantidade aplicada;	9	3	9	3	24
Recirculação de água	9	3	3	9	24
Saturação da água com acido	3	3	3	3	12
Tratamento extra da agua de lavagem;	1	3	1	3	8
Lado de lavagem atmosfera ou estanho.	3	1	9	1	14

Anexo 8 Matriz de Resultados

Variável	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Membro 4	Membro 5	Membro 6	Membro 7	Média
Temperatura da água de lavagem	18	18	0	18	24	24	0	26,5
Quantidade de escovas	8	10	0	18	18	16	0	15,0
Material das escova	18	24	0	18	18	12	0	18,9
Altura da escova	30	36	0	36	30	30	0	28,1
Velocidade do transportador	28	6	0	36	30	24	0	17,7
Quantidade de rampas	4	10	0	36	18	12	0	11,4
Direção da água	30	30	0	36	18	18	0	18,9
Sentido de giro das escovas	18	12	0	30	18	16	0	13,4
Condição da água	30	36	0	36	36	18	0	22,1
Estado de limpeza da maquina de lavar	30	30	0	22	30	24	0	20,4
Ph e condutividade da água	12	10	0	36	24	8	0	12,9
Idade da aplicação	18	36	0	18	30	36	0	19,7
Uniformidade da aplicação	18	14	0	24	36	24	0	16,6
Quantidade aplicada	10	24	0	24	36	24	0	16,9
Recirculação de água	6	36	0	18	18	24	0	14,6
Saturação da água com acido	30	30	0	36	36	12	0	18,5
Tratamento extra da agua de lavagem	30	18	0	36	18	8	0	15,7
Lado de lavagem atmosfera ou estanho	12	36	0	36	30	14	0	18,3

AUTORIZAÇÃO PARA REPRODUÇÃO

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Taubaté, 29 de Março de 2017.