

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO GREGÓRIO DE BEM JÚNIOR  
RENATO GIOVANNI SOLAGNA

**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA E CORROSÃO EM  
COMPONENTE AUTOMOTIVO COM MATERIAL ALTERNATIVO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
(TCC2 – N° de Inscrição – 16)

CURITIBA

2014

JOÃO GREGÓRIO DE BEM JÚNIOR

RENATO GIOVANNI SOLAGNA

**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA E CORROSÃO EM  
COMPONENTE AUTOMOTIVO COM MATERIAL ALTERNATIVO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Cristina Amódio Estorilio

CURITIBA

2014

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa “ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA E CORROSÃO EM COMPONENTE AUTOMOTIVO COM MATERIAL ALTERNATIVO”, realizada pelo aluno(s) JOÃO GREGÓRIO DE BEM JÚNIOR E RENATO GIOVANNI SOLAGNA, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Cristina Amódio Estorilio  
DAMEC, UTFPR  
Orientador

Prof. João Carlos Roso  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Prof. Dr. Walter Luís Mikos  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 26 de fevereiro de 2015

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por manifestar sua presença nos momentos de alegria e principalmente seu amor incondicional nos momentos difíceis.

Aos nossos pais e familiares, companheiros de todas as horas durante a elaboração do trabalho.

À Professora Carla Cristina Amódio Estorilio, pela amizade, orientação, paciência e conhecimento compartilhado durante a realização do trabalho.

Ao Professor João Carlos Roso, pela amizade, participação na banca e pelos valiosos ensinamentos no decorrer do curso.

Ao Professor Walter Luís Mikos, pela amizade, participação na banca e pelos valiosos ensinamentos no decorrer do curso.

*“O verdadeiro ato de descoberta consiste não em encontrar terras novas, mas em ver com novos olhos.”*

*(Marcel Proust)*

## RESUMO

JÚNIOR, João Gregório de Bem; SOLAGNA, Renato Giovanni. **Análise de Resistência Mecânica e Corrosão em Componente Automotivo com Material Alternativo**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Programa de Graduação em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

As indústrias automobilísticas precisam aliar qualidade e competitividade para atender as expectativas dos clientes sem perder a lucratividade. Nesse sentido, uma revisão de projeto pode ser fundamental para manter a competitividade da empresa, se essa representa uma melhoria de qualidade e custo. Nesse sentido, um fabricante de sistemas de levantador de vidros identificou uma oportunidade no inserto metálico de latão (CuZn39Pb3), o qual apresenta problemas de qualidade junto ao seu fornecedor. Um novo fornecedor propôs fabricar esse produto em alumínio (6082-T6), garantindo qualidade e custo reduzido. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é verificar a viabilidade técnica do novo inserto proposto, em comparação com o anteriormente fabricado. Para isso, demandou-se uma revisão bibliográfica sobre os temas relacionados aos componentes do produto, os materiais utilizados e seus respectivos processos de fabricação, especificações técnicas requeridas, as propriedades mecânicas envolvidas e o método para análise dos materiais. Para verificar a viabilidade dessa mudança, foi necessário que o produto passasse por alguns testes, visando garantir sua funcionalidade. Os testes foram realizados de acordo com os requisitos técnicos da empresa e de seus clientes e consistiam em ensaios para verificar a força de extração, o torque e a corrosão por contato nos insertos. Com os resultados obtidos, foi utilizado o método da Eficiência de Desempenho do Material (MPE) para comparar o desempenho dos insertos de latão e alumínio. Por fim, o trabalho apresenta os resultados dos testes e faz uma comparação dos mesmos, concluindo que o inserto de alumínio é o melhor produto, considerando desempenho e custo na análise.

**Palavras-chave:** Insertos Metálicos, Latão, Alumínio, Método de Eficiência de Desempenho de Material.

## ABSTRACT

JÚNIOR, João Gregório de Bem; SOLAGNA, Renato Giovanni. **Analysis of Mechanical Resistance and Corrosion at Automotive Component with Alternative Material.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Programa de Graduação em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

All companies in the automotive industry need to combine quality and competitiveness to survive in order to reach customer's expectation to not lose profitability. In this sense, a design review is essential to maintain the company's competitiveness, if it represents an opportunity to improve quality and costs. Thus, a manufacturer of window regulator system identified an opportunity in the metallic insert of brass (CuZn39Pb3), which has quality problems from your supplier. A new supplier proposed the manufacture of the product in aluminum (6082-T6), providing better quality at a lower cost. Based on this information, the objective of this work is to verify the feasibility of the proposed insert in comparison with the previous insert. For this, a literature review was demanded on issues related to product components, the materials used and their manufacturing processes, technical specifications required, mechanical properties involved and the method for the materials analysis. To verify the feasibility of this change, it was necessary that the product go through some tests, to ensure its functionality. The tests were performed in accordance with the technical requirements of the company and its customers and consisted of tests to check the push out force, torque and contact corrosion in inserts. With the results, it was used the method of Material Performance Efficiency (MPE) to compare the performance of brass and aluminum inserts. Finally, the project presents the test results and a comparison of them, concluding that the aluminum insert is the best product, considering performance and cost in the analysis.

**Keywords:** Metallic Inserts, Brass, Aluminum, Method of Material Performance Efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Levantador de vidro de portas de veículos automotivos .....	13
Figura 2 – Caixa de carretel (peça plástica preta) e insertos metálicos .....	13
Figura 3–Inserto metálico de liga de latão (CuZn39Pb3) .....	14
Figura 4–Inserto metálico de alumínio (6082-T6).....	14
Figura 5 – Levantador de vidro <i>single-arm</i> .....	18
Figura 6 – Levantador de vidro <i>cross-arm</i> .....	18
Figura 7 – Levantador de vidro <i>single-guided</i> .....	19
Figura 8 – Levantador de vidro <i>double-guided</i> .....	20
Figura 9 – Levantador de vidro à cabo de sistema aberto (à esquerda) e de sistema fechado (à direita) .....	21
Figura 10 – Vista traseira do <i>cable drum housing</i> . Detalhe em vermelho indica o alojamento do <i>cable drum</i> . .....	22
Figura 11 – Vista frontal do <i>cable drum housing</i> . Setas azuis indicam as buchas lisas e as setas verdes indicam os insertos roscados. ....	23
Figura 12 – Características dos elementos de fixação mecânicos.....	24
Figura 13 – Desenho do inserto de latão.....	25
Figura 14 – Desenho do inserto de alumínio.....	25
Figura 15 – Cavidade do molde de injeção plástica do CDH .....	30
Figura 16 – Região do desenho do CDH com a especificação para os insertos roscados.....	31
Figura 17 – Tensões de compressão (a), tração (b) e cisalhamento(c). ....	33
Figura 18 – Corrosão em diferentes metais .....	34
Figura 19 – Base de apoio para o CDH no teste de extração .....	39
Figura 20 – Medição da base de apoio .....	39
Figura 21 – Teste de extração sendo realizado .....	40

Figura 22 – Teste de torque com torquímetro manual .....	41
Figura 23 – Teste de torque com dispositivo.....	42
Figura 24 – Teste de corrosão por contato.....	43
Figura 25 – Numeração de cada inserto nas caixas de carretel.....	44
Figura 26 – Resultados do teste de extração .....	50
Figura 27 – Gráfico com o resultado dos insertos no teste de extração.....	50
Figura 28 – Resultados do teste de torque.....	52
Figura 29 – Gráfico com o resultado dos insertos no teste de torque .....	52
Figura 31 – Potencial eletrostático entre porta, parafuso e insertos de latão e alumínio.....	53
Figura 32 – Densidade de corrente entre porta, parafuso e insertos de latão e alumínio.....	54
Figura 33 – Taxa de corrosão para as diferentes combinações de materiais .....	54
Figura 34 – Teste de corrosão finalizado após 240 horas.....	55
Figura 35 – Resultado do teste de corrosão.....	56
Figura 36 – Cálculo da redução de custos .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química da liga de latão CuZn39Pb3.....	26
Tabela 2 – Propriedades físicas da liga de latão CuZn39Pb3.....	27
Tabela 3– Propriedades mecânicas da liga de latão CuZn39Pb3.....	27
Tabela 4 – Composição química da liga de alumínio 6082-T6.....	28
Tabela 5 – Propriedades físicas da liga de alumínio 6082-T6.....	28
Tabela 6 – Propriedades mecânicas da liga de alumínio 6082-T6.....	28
Tabela 7– Propriedades físicas do PBT com 30% de fibra de vidro longa.....	29
Tabela 8 – Propriedades mecânicas do PBT com 30% de fibra de vidro longa .....	29
Tabela 9 – Resultados obtidos no ensaio piloto para teste de força de extração.....	47
Tabela 10 – Resultados obtidos no ensaio piloto para teste de torque .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CDH = *Cable Drum Housing* (Caixa de Carretel)

GADSL = *Global Automotive Declarable Substance List* (Lista Global Automotiva de Substâncias Declaráveis)

IMDS = *International Material Data System* (Sistema Internacional de Dados de Materiais)

MPE = *Materials Performance Efficiency* (Eficiência de Desempenho do Material)

MPI = *Material Performance Index* (Índice de Desempenho de um Material)

PBT = *Polybutylene Terephthalate* (Tereftalato de Polibutileno)

PR = *Property Ratio* (Razão da Propriedade)

SI = *Satisfaction Index* (Índice de Satisfação)

W = *Weight* (Peso Ponderado)

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	Contexto do Tema	12
1.2	Caracterização do Problema	12
1.3	Objetivos	15
1.4	Justificativa	16
<b>2</b>	<b>ASPECTOS RELACIONADOS AOS INSERTOS METÁLICOS</b>	<b>17</b>
2.1	Levantadores de vidros	17
2.2	Caixas de carretel	21
2.3	Insertos metálicos	23
2.4	Materiais	26
2.4.1	Latão (CuZn39Pb3)	26
2.4.2	Alumínio (6082-T6)	27
2.4.3	PBT com 30% de fibra de vidro longa	28
2.5	Processo de fabricação	30
2.6	Especificações	31
2.7	Propriedades Mecânicas	32
2.7.1	Resistência Mecânica	32
2.7.2	Corrosão	33
2.8	Método para análise dos materiais	35
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1	Determinação do tamanho da amostra	37
3.2	Fabricação dos insertos e das caixas de carretel	38
3.3	Testes de Extração	39
3.4	Testes de Torque	40
3.5	Teste de Corrosão	42
3.6	Metodologia para realização dos testes	44
<b>4</b>	<b>VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA DO INSERTO METÁLICO</b>	<b>46</b>
4.1	Determinação do tamanho da amostra	46
4.2	Teste de extração	49
4.3	Resultados do teste de torque	51
4.4	Resultados do teste de corrosão	53
4.5	Cálculo da redução de custo	56
4.6	Aplicação do método para análise dos materiais	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>63</b>
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	64
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXO A</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO B</b>	<b>69</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

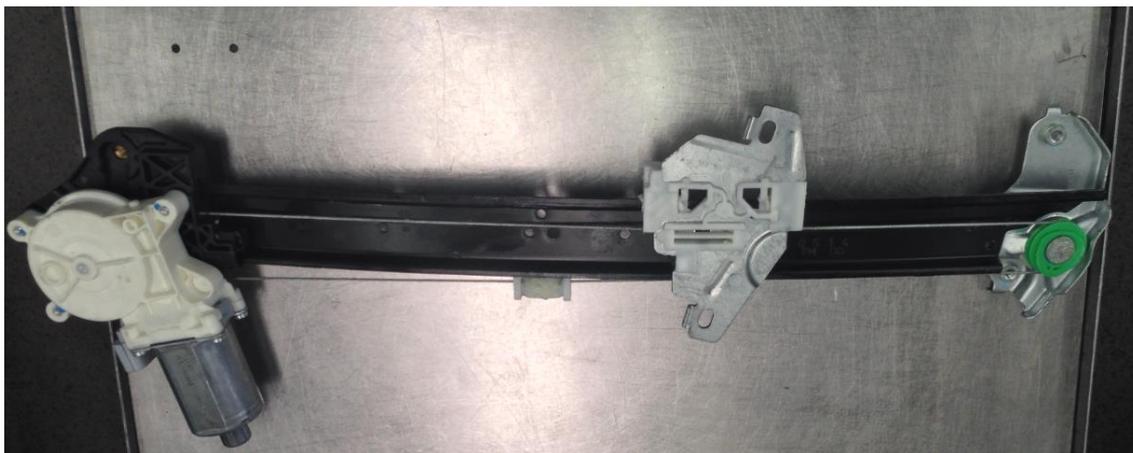
## **1.1 Contexto do Tema**

A indústria automobilística vem crescendo nas últimas décadas e consequentemente tornando o mercado cada vez mais acirrado. Todas as empresas que atuam direta e indiretamente nessa cadeia precisam aliar qualidade e competitividade para sobreviver. Uma companhia atuante no segmento de levantadores de vidro de portas, de motores elétricos e de sistemas de bancos automotivos, a nível nacional e mundial, vem sentindo esse impacto gradativamente. As empresas vêm sofrendo com a alta concorrência de mercado. Elas sabem que se a qualidade e os preços de seus produtos não forem de encontro com a expectativa de seus clientes, podem perder para um concorrente, comprometendo o negócio ou a sua lucratividade.

Segundo Senhoras e Dias (2004, p.10), a busca excessiva por maior competitividade na economia global tem levado as grandes empresas a estabelecerem alianças estratégicas para produzirem com mais tecnologia, menos custos e entrarem em novos mercados. Dessa forma, a companhia vem buscando inovações junto aos seus clientes, visando à melhoria de qualidade e desempenho de seus produtos, respeitando os requisitos técnicos. A tentativa é aliar essas soluções com redução de custos, tornando os projetos mais rentáveis.

## **1.2 Caracterização do Problema**

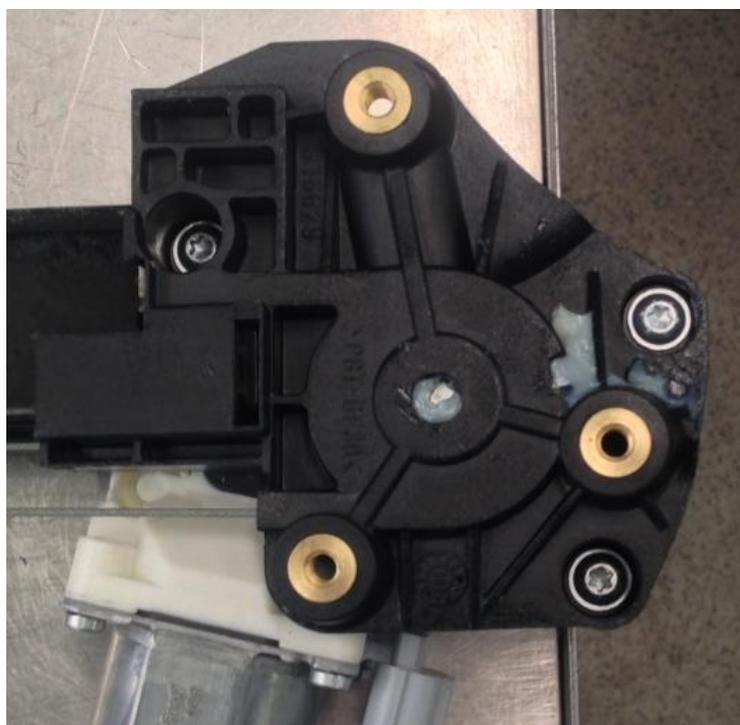
A empresa, objeto desse estudo, possui grande fatia de mercado no segmento de levantadores de vidro, responsáveis pelo movimento de subir e abaixar o vidro das portas dos veículos. Um exemplo de levantador de vidro pode ser visto na Figura 1:



**Figura 1 – Levantador de vidro de portas de veículos automotivos**

Fonte: Autoria Própria<sup>1</sup>

Um dos principais componentes de um levantador de vidro é a caixa de carretel, que é fabricada de material plástico injetado e tem duas importantes interfaces: uma com o motor do levantador e a outra com a porta do carro. Essa interface da caixa de carretel com a porta do veículo acontece através de insertos metálicos roscados (ver Figura 2).



**Figura 2 – Caixa de carretel (peça plástica preta) e insertos metálicos**

---

<sup>1</sup> As ilustrações e tabelas sem indicação de fonte foram compiladas pelo próprio aluno ou equipe.

Os insertos metálicos (figuras 3 e 4) são elementos de fixação que possuem a função de garantir a fixação da caixa de carretel na porta do carro durante toda a vida útil do veículo. A união entre a caixa de carretel e o inserto acontece através de um parafuso que passa pela extremidade da porta até o outro lado do inserto. Historicamente, para o caso das caixas de carretel, o material dos insertos metálicos é o latão em forma de ligas (CuZn39Pb3). Esse material tem a seu favor a facilidade de ser usinado, porém pesa contra o fato de gerar resíduos de chumbo, material nocivo à saúde e proibido pela Diretiva Europeia 2000/EC/53. O *International Material Data System* (IMDS) estendeu essa diretiva europeia a nível mundial e todas as listas criadas pelas signatárias do IMDS com as substâncias proibidas estão unificadas na *Global Automotive Declarable Substance List* (GADSL) (GADSL, p.24).



**Figura 3 – Inserto metálico de liga de latão (CuZn39Pb3)**



**Figura 4 – Inserto metálico de alumínio (6082-T6)**

A situação problema do proposto trabalho ocorre nos insertos metálicos. Com certa frequência, eram encontrados problemas de qualidade nesse componente, sendo que o mais recorrente era a falta de rosca dos insertos. Avaliando o fornecedor que fabricava os insertos, foi visto que a sua empresa era pequena, com poucos tornos mecânicos, com baixa produtividade e com inspeção visual feita por amostragem. O processo fabril para gerar os insertos acontecia em etapas

separadas, sendo que a rosca interna era realizada por último. Esse fato gerava o problema recorrente do fornecedor enviar insertos sem rosca.

A partir daí, buscou-se um novo fornecedor de insertos que fosse capaz de produzir lotes nas especificações técnicas exigidas, mantendo o padrão de qualidade demandado. Assim, novos insertos foram orçados em fornecedores que tivessem características como alta produtividade, máquinas automáticas e com inspeção ótica 100% controlada, fator que evitaria a ausência de rosca no componente.

Um potencial fornecedor propôs uma mudança de *design* do componente, que impactaria em melhor desempenho nos testes de extração, em função de possuir uma maior área de contato com a peça plástica, além de ter um custo de fabricação menor, por ter um perfil mais simples que o inserto original. A partir daí, foi proposto que ocorresse a mudança de matéria prima de latão para alumínio, pois o fornecedor trabalhava com grandes quantidades deste metal, o que impactaria também em menor custo. Entretanto, essas alterações demandariam testes para verificar a sua viabilidade técnica.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral do trabalho é verificar a viabilidade de mudança do inserto metálico fabricado em latão para o inserto metálico de alumínio.

Para isso, os seguintes objetivos específicos serão desenvolvidos:

- Compreender as exigências das automotivas, relacionadas ao sistema “levantador de vidro” e componentes envolvidos;
- Dominar o nível de qualidade que o componente estudado deve atingir;
- Identificar os testes necessários para atender as especificações técnicas exigidas e garantir a qualidade demandada;
- Coletar os resultados dos testes da peça original, fabricada em latão e da peça proposta, fabricada em alumínio;
- Comparar os resultados dos testes e avaliar o comportamento do componente com os dois materiais;

- Comparar o custo do componente com os dois materiais, o original e o proposto pelo novo fornecedor.

#### **1.4 Justificativa**

Quando o indivíduo, um grupo ou uma companhia se vê diante de um conflito, a melhor forma de se resolver é analisando cada detalhe do problema. Para alunos que estão se graduando em Engenharia, uma oportunidade como essa é uma experiência muito relevante, pois pode-se solucionar um problema real encontrado em uma empresa automotiva, podendo conciliar isso com os conhecimentos e valores adquiridos na universidade.

Outro fator relevante para a realização do projeto é de poder gerar lucratividade para a empresa ao mesmo tempo em que se traz melhoria de qualidade. O fato de adequar o produto da empresa e contribuir com o meio ambiente e a sociedade, deixando-o conforme as diretrizes ao não utilizar material que contém chumbo é outra boa justificativa.

Além disso, será possível desenvolver um método eficiente para avaliar a melhor escolha de um material para determinada aplicação. É claro que o método que será apresentado não é perfeito, pois também depende do bom senso de quem está aplicando-o. Mas de qualquer forma, é uma análise que pode ser feita para diversos meios e o seu resultado pode ser considerado como uma boa aproximação. No futuro, o método também pode ser utilizado para novos desenvolvimentos, além de poder ser aprimorado.

## 2 ASPECTOS RELACIONADOS AOS INSERTOS METÁLICOS

Esse capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que começa explicando sobre os componentes do produto a ser estudado: o inserto metálico. Para entender melhor o contexto geral, se faz necessário explicar o sistema de levantador de vidro e a caixa de carretel, que é o local onde se encontra o inserto metálico. Depois, será mostrada uma revisão sobre os materiais utilizados nesses componentes assim como seus respectivos processos de fabricação. Então são apresentadas as especificações técnicas requeridas nos insertos e as propriedades mecânicas que estão envolvidas: resistência mecânica e corrosão. Por fim, o método utilizado para análise e comparação dos materiais será mostrado.

### 2.1 Levantadores de vidros

A função básica de um levantador de vidro é de subir e abaixar o vidro da porta do veículo e o seu princípio é de prover a maior integração possível, juntando as principais funções em um sistema completo e único. Quanto mais padronizado for o conjunto, mais fácil será para adaptar o *design* para outros projetos ou clientes. Com a utilização de materiais inovadores também é possível obter redução de peso (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.14).

Existem alguns tipos de levantador de vidro e eles são divididos em duas categorias, de acordo com a maneira com que eles transmitem a força: por braços ou por cabos. O tipo escolhido depende das especificações de projeto e das características da porta do veículo, particularmente no espaço existente dentro da porta para instalação e da maneira de como o vidro é guiado (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.15).

O levantador de vidro com sistema de braços é o primeiro modelo que foi desenvolvido e descreve um sistema em que a força é transmitida pelo braço diretamente para o vidro. Atualmente, esse tipo de levantador representa 30% do mercado de levantadores de vidro. Existe levantador com somente um braço, conhecido por *single-arm* ou com dois braços, denominado por *cross-arm* (ver figuras 5 e 6). A aplicação típica de um levantador de vidro *single-arm* é para vidros pequenos, sendo comumente utilizados em portas traseiras, onde os vidros são

menores. Já o levantador *cross-arm* é mais utilizado em vidros maiores, pois a força para o levantamento é distribuída nos dois braços, garantindo maior estabilidade e evitando o tombamento do vidro (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.15).



**Figura 5 – Levantador de vidro *single-arm***

Fonte: BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.16



**Figura 6 – Levantador de vidro *cross-arm***

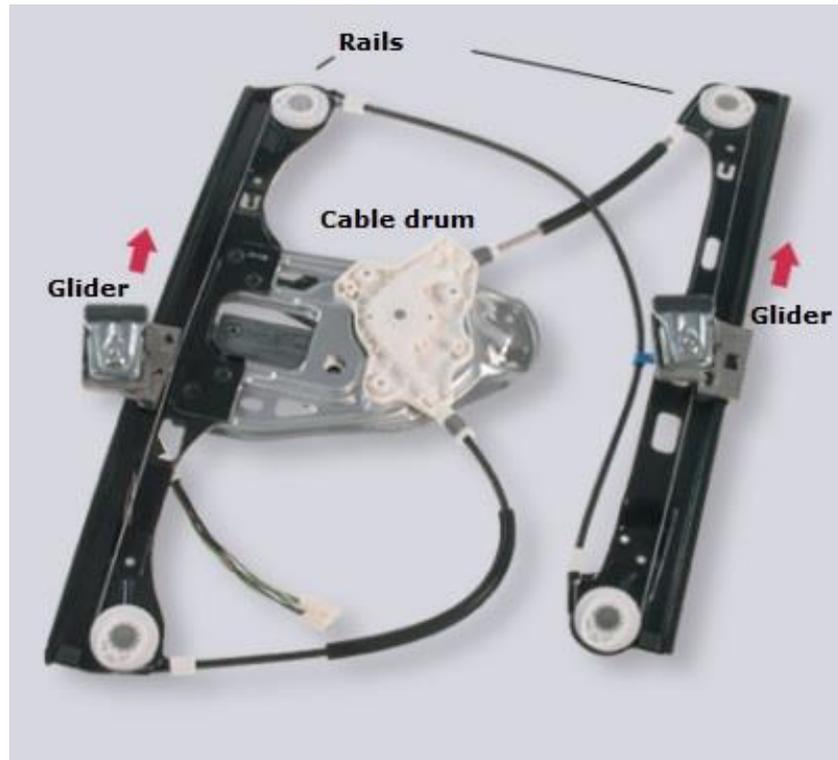
Fonte: BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.16

O levantador de vidro com sistema de cabos é o modelo mais utilizado no momento, representando 70% do segmento de levantadores de vidro. Nesse sistema, a força é transmitida para o vidro através de cabos. A vantagem desse sistema por cabos quando comparado com os levantadores com sistemas de

braços, é no espaço requerido para instalação, que é bem menor, pois os componentes dentro da porta são mais flexíveis. Também são divididos em dois tipos: com somente um cabo, conhecido por *single-guided*, ou com dois cabos, denominado como *double-guided* (ver figuras 7 e 8). O sistema *single-guided* utiliza somente um trilho, ou seja, só existe um ponto de contato que transmite a força para o vidro. Já o levantador *double-guided* tem um trilho adicional, resultando em dois pontos de contato para transmissão da força de levantamento para o vidro (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.17).

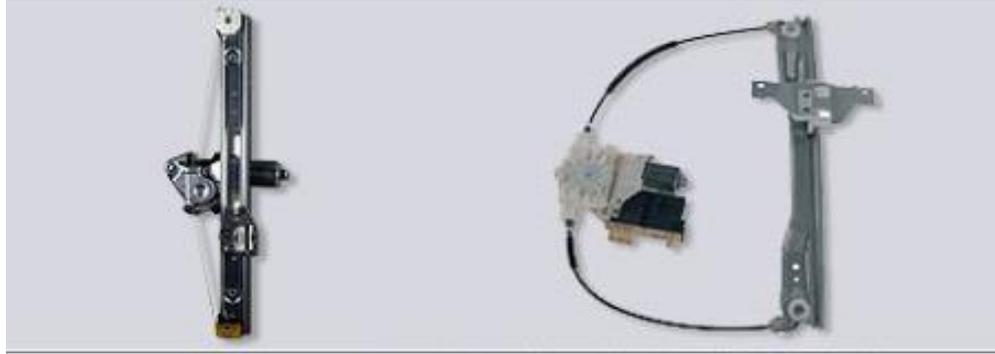


**Figura 7 – Levantador de vidro *single-guided***  
Fonte: BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.18



**Figura 8 – Levantador de vidro *double-guided***  
Fonte: BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.18

Os levantadores de vidro com sistema de cabos ilustrados nas figuras 7 e 8 acima são classificados como sistemas fechados, pois além dos cabos de aço que possibilitam o movimento do componente que serve de apoio ao vidro, possuem cabos de borracha que se conectam ao motor do levantador, tornando o sistema fechado. Quando um levantador não possui esses cabos de borracha, ele pode ser classificado como um levantador de vidro de sistema aberto. A figura 9 mostra a diferença entre um levantador de vidro de sistema aberto e fechado (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.17).



**Figura 9 – Levantador de vidro à cabo de sistema aberto (à esquerda) e de sistema fechado (à direita)**

Fonte: BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.18

Como pode ser visto na figura 1, os insertos metálicos da caixa de carretel que serão estudados nesse trabalho, são componentes de um levantador de vidro à cabo com sistema aberto. Um dos principais componentes de um levantador de vidro é a caixa de carretel, que é feita de material plástico injetado. As particularidades da caixa de carretel serão apresentadas a seguir.

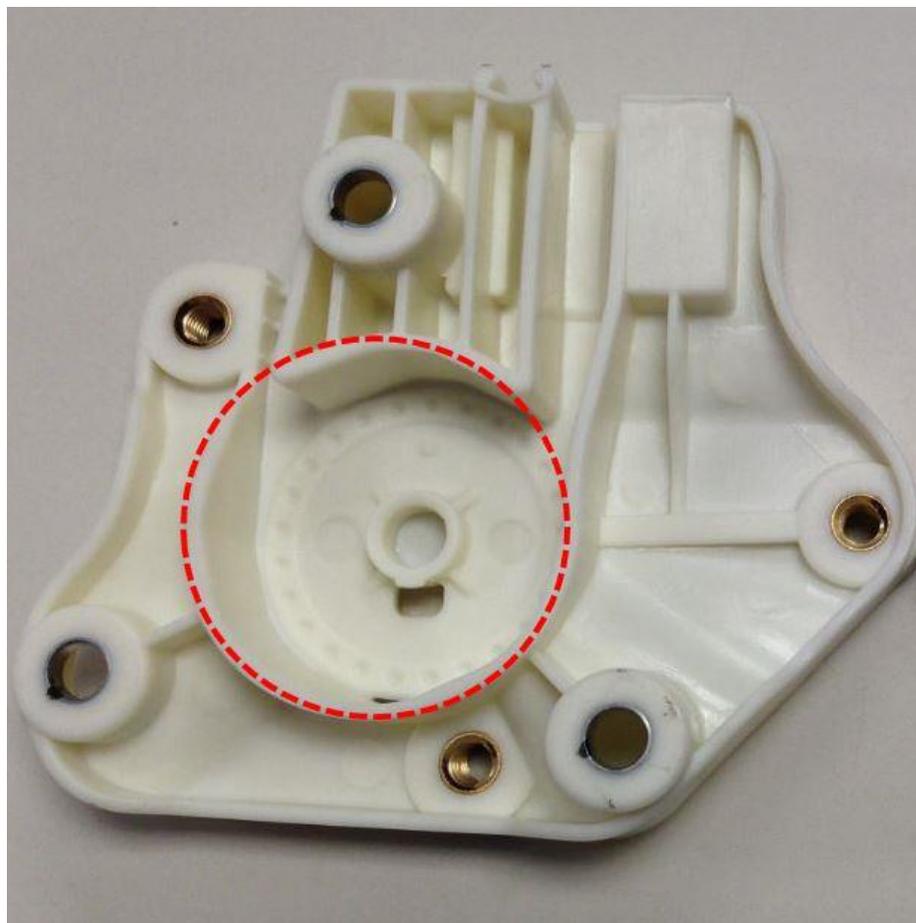
## 2.2 Caixas de carretel

Caixa de carretel, ou em inglês, *cable drum housing* (CDH), tem a função de alojar e proteger outro componente: o carretel, em inglês, *cable drum*. A figura 10 mostra a vista traseira do CDH, indicando o alojamento do *cable drum*.

Historicamente, o CDH é fabricado de material plástico injetado, mais precisamente de PBT (Tereftalato de Polibutileno) com 30% de fibra de vidro longa. O motivo de se utilizar esse material é por causa de suas características de alta rigidez e de alta resistência ao impacto, pois esse componente precisa proteger o carretel durante toda sua vida útil, mesmo em caso de batidas e colisões na porta do veículo (TICONA, p.12).

A cor do PBT, ou seja, sem pigmentação, é natural (cor branca amarelada) como pode ser visto na figura 12. Alguns clientes fazem algumas exigências de coloração dos componentes para determinados veículos, por isso, durante o trabalho será possível ver o CDH na cor preta (figura 2), o que significa que o PBT foi processado com um pigmento preto. De qualquer forma, a pigmentação não altera as características do material (TICONA, p.12). Na fundamentação teórica de

materiais que será feita mais a frente, as características do material PBT serão explicadas com maiores detalhes.



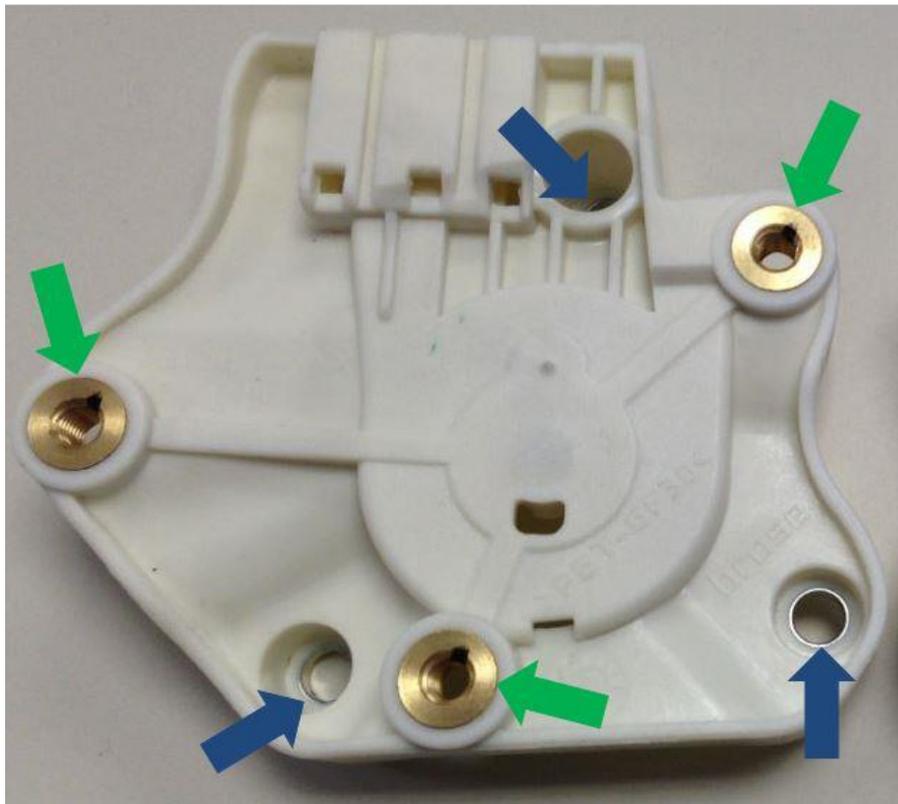
**Figura 10 – Vista traseira do *cable drum housing*. Detalhe em vermelho indica o alojamento do *cable drum*.**

A caixa de carretel possui duas interfaces em um levantador de vidro. A primeira é com o motor elétrico. A união entre o motor e o CDH acontece através de parafusos, que passam pela extremidade do CDH até o motor. Para não ocorrer desgaste do material plástico do CDH, o parafusamento é feito através de buchas lisas de aço (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.19). As setas azuis na figura 11 indicam as buchas.

A outra interface é com a porta do veículo. Essa interface da caixa de carretel com a porta do veículo acontece através de insertos metálicos roscados. A união

entre caixa de carretel e inserto acontece através de um parafuso que passa pela extremidade da porta até o outro lado do inserto (BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO, 2013, p.19). As setas verdes na figura 11 indicam os insertos.

O motivo de utilizar um inserto roscado e não uma bucha lisa, como é feito na união do CDH com o motor, é de garantir maior segurança na fixação, uma vez que nessa interface do *cable drum housing* com a porta acontece uma vibração muito maior.



**Figura 11 – Vista frontal do *cable drum housing*. Setas azuis indicam as buchas lisas e as setas verdes indicam os insertos roscados.**

### 2.3 Insertos metálicos

Os insertos metálicos são elementos de fixação que na maioria dos casos são fabricados por usinagem. A função dos insertos é garantir a fixação da caixa de carretel na porta do carro durante toda a vida útil do veículo.

No presente projeto, será visto o inserto metálico fabricado tanto em liga de latão (CuZn39Pb3) quanto em alumínio (6082-T6). Tem-se o histórico da companhia de que para o componente caixa de carretel, somente foi utilizado inserto fabricado

em latão ou em aço. Portanto, o inserto de alumínio é uma alternativa que nunca foi testada, fato que justifica um trabalho como esse, fazendo um aprofundamento maior no assunto.

Segundo Tavares (2003, p. 2 e 3), os elementos de fixação mecânicos oferecem características ideais para que se tornem importantes componentes dos materiais compósitos, que é o caso do PBT com 30% de fibra de vidro longa. Porém, os insertos também possuem desvantagens. Na figura 12 abaixo, é possível visualizar o comparativo:

Vantagens	Desvantagens
Tolerância a efeitos ambientais	Os furos causam concentrações de tensões
Fácil montagem e desmontagem	Elevado aumento de peso
Permite substituição de peças	Baixa eficiência de ligação
Não necessita de preparação superficial	Pode ocorrer corrosão galvânica
Elevada fiabilidade	São necessários vedantes especiais para criar estanqueidade de líquidos

**Figura 12 – Características dos elementos de fixação mecânicos**

Fonte: Tavares, 2003, p.3

Com base nessas características apresentadas acima, a empresa se comprometeu a realizar o teste de corrosão tanto no inserto atual de latão quando na alternativa proposta em alumínio, com o intuito de garantir aos clientes que não ocorreria corrosão nos insertos durante a vida útil do levantador de vidro, até mesmo porque a liga de latão é notavelmente mais resistente à corrosão do que a liga de alumínio. Esse teste será explicado com mais detalhes na sequência do trabalho.

Como já foi citado anteriormente, além da mudança de matéria prima do inserto, também foi proposto uma mudança de *design* do inserto. Essa proposta partiu do potencial fornecedor, que afirmou que o perfil do inserto poderia ser simplificado, retirando alguns ressaltos e deixando maior a área de contato do inserto com a peça plástica. Nas figuras 13 e 14 respectivamente, é possível visualizar o desenho do inserto de latão e de alumínio.

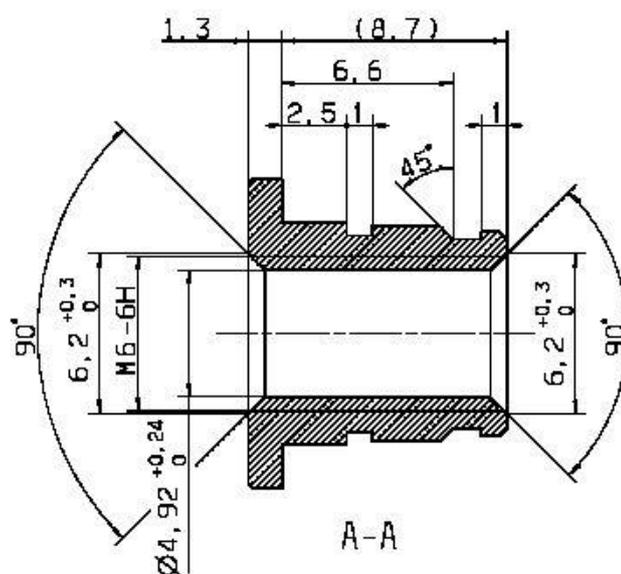


Figura 13 – Desenho do inserto de latão

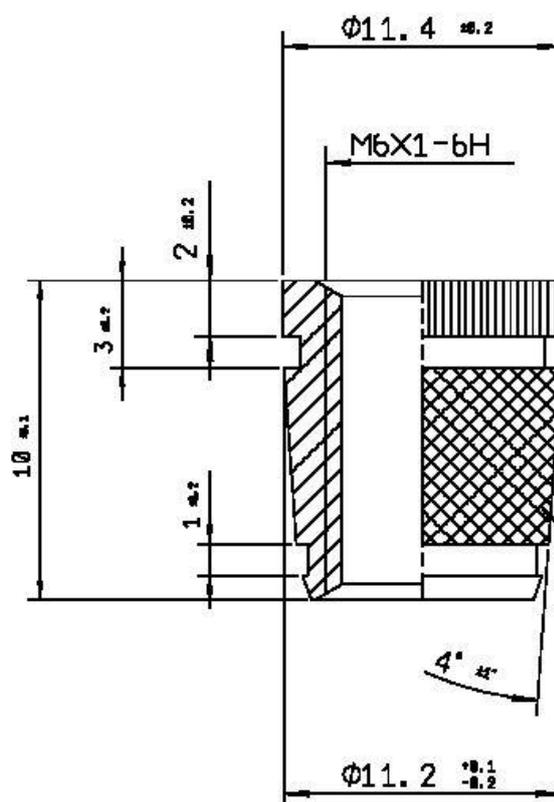


Figura 14 – Desenho do inserto de alumínio

Considerando a troca de material, especificada nos desenhos acima, uma revisão sobre os materiais envolvidos será apresentada.

## 2.4 Materiais

Compreender as propriedades e as características dos materiais que vimos até agora é de fundamental importância para o prosseguimento do projeto. Na sequência, cada material será abordado separadamente, para a compreensão ficar mais clara.

### 2.4.1 Latão (CuZn39Pb3)

O latão é uma liga metálica de cobre, na qual o zinco, na forma de uma impureza substitucional, é o elemento de liga predominante. Sua fase  $\alpha$  é estável para concentrações de até 35% de zinco. Durante essa fase  $\alpha$ , o latão é pouco resistente, dúctil e facilmente submetido a trabalho a frio. Certas ligas de latão que possuem maior teor de zinco (pode ser encontrado até 45%) contém fase  $\alpha$  e  $\beta'$  na temperatura ambiente, deixando a estrutura mais dura e resistente, e no geral, são trabalhadas a quente (Callister, 2006, p.270).

Segundo Callister (2006, p.270), os latões mais comuns são o latão amarelo, o latão naval, o latão para cartuchos, o metal muntz e o metal de douradura. As principais aplicações dessas ligas de latão citadas incluem bijuterias, cápsulas para cartuchos de munição, radiadores automotivos, instrumentos musicais, placas de componentes eletrônicos e moedas.

O latão que é utilizado no inserto metálico é a liga CuZn39Pb3. A característica dessa liga é a de ter uma excelente propriedade de trabalho a quente e a principal aplicação é para usinagem ou conformação (AURUBIS-STOLBERG). Além disso, essa liga possui alta resistência à corrosão. A seguir serão apresentadas a composição química, as propriedades físicas e mecânicas dessa liga, nas tabelas 1, 2 e 3 respectivamente.

**Tabela 1 – Composição química da liga de latão CuZn39Pb3**

Liga	UNS	Composição (%)							
		Cu	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn	Outros
CuZn39Pb3	C38500	57,0-59,0	max. 0,05	max. 0,30	max 0,30	2,50-3,50	max. 0,30	restante	max. 0,20

Fonte: AURUBIS-STOLBERG

**Tabela 2 – Propriedades físicas da liga de latão CuZn39Pb3**

<b>Propriedades Físicas</b>			
<b>Ponto de Fusão (°C)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	<b>Condutividade Térmica (W/m.K)</b>
888	8,47	96	113

Fonte: AURUBIS-STOLBERG

**Tabela 3– Propriedades mecânicas da liga de latão CuZn39Pb3**

<b>Propriedades Mecânicas</b>			
<b>Limite de Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Limite de Escoamento (MPa)</b>	<b>Alongamento (% min em 50mm)</b>	<b>Dureza (HV)</b>
410-570	200-520	6-8	120-185

Fonte: AURUBIS-STOLBERG

#### 2.4.2 Alumínio (6082-T6)

O alumínio e suas ligas são caracterizados por massa específica baixa, condutividade elétrica e térmica altas e ductilidade elevada. A estrutura cristalina do alumínio é CFC, fator que faz com que sua ductilidade se mantenha alta mesmo em temperaturas muito baixas. Entretanto, a baixa temperatura de fusão do material restringe a temperatura máxima na qual o alumínio pode ser utilizado (Callister, 2006, p.272).

Os principais elementos de liga incluem o cobre, magnésio, silício, manganês e o zinco. As aplicações mais comuns das ligas de alumínio incluem peças estruturais de aeronaves, latas de bebidas, carcaças de ônibus e peças automotivas, como blocos dos motores, pistões e distribuidores (Callister, 2006, p.272).

O alumínio que será utilizado no inserto metálico é a liga 6082-T6. Em geral, as composições são designadas por meio de um número com quatro dígitos, o qual indica as principais impurezas presentes, e em alguns casos, o nível de pureza. Após esses dígitos, existe um hífen e a designação do revenido básica, geralmente uma letra seguida de um número de um a três dígitos (Callister, 2006, p.272). No caso do presente trabalho, o revenido é o T6, que significa um tratamento térmico

por solubilização seguido por um envelhecimento artificial. É possível verificar a composição química dessa liga na tabela 4 a seguir:

**Tabela 4 – Composição química da liga de alumínio 6082-T6**

Liga	Composição (%)									
	Mn	Mg	Fe	Si	Cu	Ti	Zn	Cr	Al	Outros
6082-T6	0,4-1,0	0,6-1,20	max. 0,50	0,7-1,30	max. 0,10	max. 0,10	max. 0,20	max. 0,25	restant e	max. 0,20

Fonte: ALCOA

A liga 6082 apresenta de média para alta resistência, e é empregada em aplicações estruturais, incluindo vergalhões, barras, tubos e perfis. O alumínio 6082 também oferece boa soldabilidade, brasabilidade, certa resistência à corrosão, conformabilidade e usinabilidade. Para aplicações de usinagem, a liga 6082 oferece melhores características em condições de têmperas T5 ou T6, que é o nosso material de estudo (ALCOA). A seguir serão apresentadas as propriedades físicas e mecânicas dessa liga, nas tabelas 5 e 6 respectivamente.

**Tabela 5 – Propriedades físicas da liga de alumínio 6082-T6**

Propriedades Físicas			
Ponto de Fusão (°C)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidade (GPa)	Condutividade Térmica (W/m.K)
555	2,70	70	180

Fonte: ALCOA

**Tabela 6 – Propriedades mecânicas da liga de alumínio 6082-T6**

Propriedades Mecânicas			
Limite de Resistência à Tração (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento (% min em 50mm)	Dureza (HV)
270-310	200-260	6-10	95

Fonte: ALCOA

### 2.4.3 PBT com 30% de fibra de vidro longa

O material PBT (Tereftalato de Polibutileno) com 30% de fibra de vidro longa é um plástico de engenharia que é amplamente utilizado para injeção de peças da indústria automobilística.

As principais características do PBT são a elevada rigidez, a alta resistência ao impacto, resistência à abrasão e elevada estabilidade dimensional. A cor do PBT é natural, mas é comumente processado com pigmento da cor preta (TICONA, p.12).

A grande vantagem de misturar um material plástico com a fibra de vidro longa está na melhoria das propriedades mecânicas do material. A dureza do componente injetado se mantém alta mesmo a elevadas temperaturas, e da mesma maneira, a resistência ao impacto se mantém alta a baixas temperaturas, fato que reduz as quebras nas peças. Além disso, acontece uma melhoria na estabilidade dimensional, pois a fibra de vidro longa reduz o empenamento das peças (TICONA, p.5). Outro fator que torna a fibra de vidro muito utilizada como aditivo dos materiais plásticos é o seu preço. A fibra de vidro é barata quando comparada à resina, portanto, diminuem-se os custos da peça quando a resina é diluída com a fibra de vidro.

Na sequência serão apresentadas as propriedades físicas e mecânicas do PBT com 30% de fibra de vidro longa, nas tabelas 7 e 8 respectivamente.

**Tabela 7– Propriedades físicas do PBT com 30% de fibra de vidro longa**

Propriedades Físicas			
Temperatura de Fusão dos Cristais (°C)	Densidade (g/cm³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Teor de Absorção de Água (23°C / 50%)
225	1,53	10	0,15

Fonte: SABIC

**Tabela 8 – Propriedades mecânicas do PBT com 30% de fibra de vidro longa**

Propriedades Mecânicas			
Limite de Resistência à Tração - Ruptura (MPa)	Limite de Resistência à Tração - Flexão (MPa)	Alongamento – Ruptura (%)	Dureza (Rockwell R)
135	195	2,5	190

Fonte: SABIC

Agora que já foi visto sobre as características das caixas de carretel e insertos metálicos e revisado sobre os materiais de fabricação desses componentes, será apresentada na sequência uma explicação sobre o processo de fabricação da caixa de carretel com os insertos metálicos.

## 2.5 Processo de fabricação

A caixa de carretel com os insertos metálicos é fabricada através do processo de sobreinjeção em um fornecedor da empresa. A cavidade do molde do CDH possui ressaltos que possibilitam o encaixe dos três insertos, como é possível ver na figura 15 a seguir (destacados em vermelho). A cada ciclo de injeção, o molde permanece aberto e a tampa da máquina se abre e então são colocados os insertos. É importante lembrar que esses ressaltos garantem que a injeção de plástico aconteça normalmente sem que ocorra o deslocamento de posição dos insertos. Esse controle é feito através do diâmetro do inserto, portanto ao manter o inserto novo com o mesmo diâmetro externo e interno do inserto antigo, a empresa tem a garantia de que essa mudança não afetará o processo de injeção da caixa de carretel.



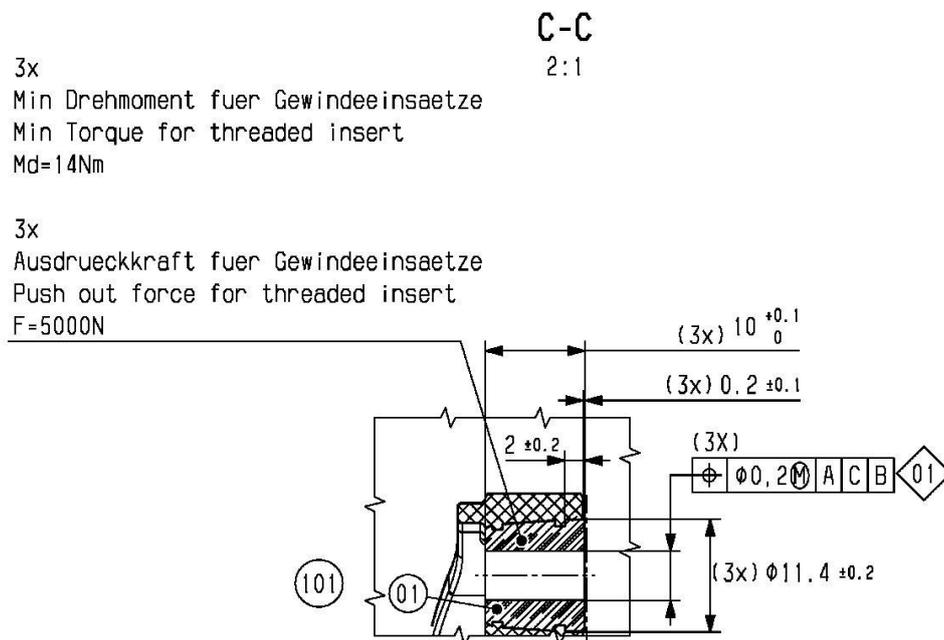
Figura 15 – Cavidade do molde de injeção plástica do CDH

O molde é de apenas uma cavidade nesse caso, porém para outras versões de CDH normalmente é utilizado molde de duas cavidades. Essa escolha depende do volume de produção da peça. O ciclo de injeção é de aproximadamente 40 segundos em uma máquina injetora horizontal hidráulica. Para esse material, é obrigatório o uso de câmara quente, para conseguir processar a fibra de vidro longa (TICONA, p.12).

## 2.6 Especificações

O novo inserto em alumínio precisa atender a todas as especificações de projeto, só assim tanto a empresa quanto os clientes terão a garantia de que o componente alternativo realmente funciona.

Para o caso do inserto metálico da caixa de carretel, não existe nenhuma norma da companhia que especifica os requisitos que devem ser atendidos. O único documento que regulamenta os insertos é o desenho do componente caixa de carretel. A figura 16 mostra a região do desenho do CDH em que consta a especificação requerida.



**Figura 16 – Região do desenho do CDH com a especificação para os insertos roscados**

Analisando e traduzindo as notas do desenho, pode-se concluir que cada um dos insertos, no caso são três, necessitam atender a duas especificações:

- **Torque mínimo de 14 N.m;**
- **Força de arrancamento (extração) de 5000 N.**

Para dar segurança a companhia e ao cliente, foi solicitado adicionalmente para que fosse feito teste de corrosão, uma vez que o latão é um material mais nobre que o alumínio e provavelmente teria maior resistência a corrosão. Seguindo a norma DIN EN ISO 9227 e de acordo instrução de trabalho do laboratório da empresa, ficou determinado que o inserto deveria atender a seguinte especificação:

- **240 horas de teste sem apresentar corrosão.**

Os testes de torque, extração e corrosão que serão realizados nos insertos serão explicados com detalhes na parte de materiais e métodos.

## **2.7 Propriedades Mecânicas**

A seguir será apresentado sobre as propriedades mecânicas que estão envolvidas no projeto e que precisam ser explicadas para melhor entendimento dos testes que serão realizados posteriormente.

### **2.7.1 Resistência Mecânica**

No estudo dos materiais, a resistência mecânica é definida como a habilidade de um material resistir à determinada carga sem falhar. Esse campo da resistência mecânica abrange o estudo das forças e deformações que atuam no material. A aplicação de forças em um componente mecânico induz ao surgimento de forças internas chamadas tensões. Essas tensões causam as deformações no material (Beer e Johnston, 2006, p. 5).

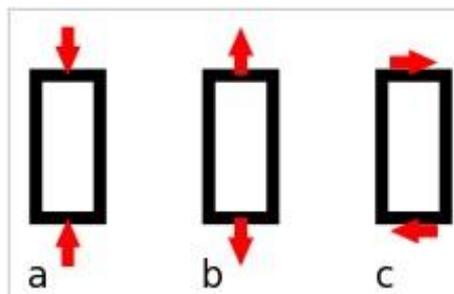
Tipos de carregamentos que podem ser encontrados em uma área seccionada (Beer e Johnston, 2006, p. 5):

- Força Normal: essa força atua perpendicularmente à área;
- Força de Cisalhamento: A força de cisalhamento localiza-se no plano da área e é criada quando as cargas externas tendem a provocar o deslizamento das duas partes do corpo, uma sobre a outra.

- Torque: Esse efeito é criado quando as cargas quando as cargas externas tendem a torcer uma parte do corpo em relação à outra.
- Momento Fletor: É provocado pelas cargas externas que tendem a fletir o corpo em relação ao eixo localizado no plano da área.

Já os tipos de tensões que podem ser encontradas são as seguintes e estão representadas pela figura 17 (Beer e Johnston, 2006, p. 17):

- Tensão de compressão: Causada pela aplicação de uma força que atua no sentido de encurtar o comprimento do componente.
- Tensão de tração: Causada pela aplicação de uma força que atua no sentido de alongar o comprimento do componente.
- Tensão de cisalhamento: Causada pela combinação de forças opostas, nas faces do componente.



**Figura 17 – Tensões de compressão (a), tração (b) e cisalhamento(c).**

Fonte: Beer e Johnston, 2006, p. 17

### 2.7.2 Corrosão

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente em conjunto ou não a esforços mecânicos. Esta deterioração representa alterações prejudiciais ao material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, transformando-o inadequado ao uso (Gentil, 1996, p. 10).

Segundo Gentil (1996, p.77) quando dois materiais metálicos, com diferentes potenciais estão em contato em presença de um eletrólito, ocorre uma diferença de potencial e conseqüente transferência de elétrons. Esse tipo de corrosão é chamada

de corrosão galvânica, que causa uma transferência de carga elétrica de um metal para o outro. A característica principal desse tipo de corrosão é a corrosão localizada, próxima à região da junção, ocasionando profundas perfurações no material metálico que funciona como anodo.

Quando materiais metálicos de potenciais elétricos diversos estão em contato, a corrosão do material metálico que funciona como anodo é muito mais acentuada que a corrosão isolada desse material sob ação do mesmo meio corrosivo. De forma inversa, a corrosão do material que funciona como catodo é muito baixa e acentuadamente menor que a que ocorre quando o material está isolado. A figura 18 exemplifica a corrosão de diferentes metais em contato (Gentil, 1996, p.77).

CORROSÃO DE FERRO ACOPLADO A OUTROS METAIS		
Segundo Metal	Corrosão em Miligramas	
	Ferro	Segundo Metal
Magnésio	0,0	3104,3
Zinco	0,4	688,0
Cádmio	0,4	307,9
Alumínio	9,8	105,9
Antimônio	153,1	13,8
Tungstênio	176,0	5,2
Chumbo	183,2	3,6
Estanho	171,1	2,5
Níquel	181,1	0,2
Cobre	183,1	0,0

**Figura 18 – Corrosão em diferentes metais**

Fonte: Gentil, 1996, p.77

A seguir será descrito um método que servirá como base para a análise de desempenho proposta no presente projeto.

## 2.8 Método para análise dos materiais

Segundo Raman (2007, p. 685), a eficiência da *performance* de um material, ou MPE, pode ser determinada a partir de índices ponderados para cada propriedade requerida ou desejada no componente.

O MPE é definido como o produto do peso da propriedade ( $W$ ) dentre todos os outros requerimentos e o índice de satisfação ( $SI$ ). O peso da propriedade  $W$  varia de 0 a 100, sendo que 100 é o valor total para todas as propriedades que serão consideradas (Raman, 2007, p. 685). Por exemplo, se serão avaliadas cinco propriedades de um determinado material e se todas são igualmente importantes, cada um dos cinco pesos valeria 20 e o total deles resultaria no valor de 100. Já o índice de satisfação  $SI$  varia de 0 a 1, sendo que 1 significa que o material satisfaz o requerimento em 100% e 0 significando 0% de satisfação (Raman, 2007, p. 685). Ou seja, o MPE resultará em um valor de 0% a 100%.

Raman (2007, p. 685), estabelece critérios de classificação dos materiais de acordo com o MPE:

- $MPE > 95\%$  = Excelente
- $95\% \geq MPE > 90\%$  = Muito Bom
- $90\% \geq MPE > 80\%$  = Razoavelmente Bom
- $80\% \geq MPE \geq 70\%$  = Admissível
- $MPE < 70\%$  = Inadequado
- $MPE < 50\%$  = Totalmente Inadequado

O método segue nove passos para determinar o MPE (Raman, 2007, p. 685 e 686):

1. Determinar os requisitos que serão avaliados no componente, produto ou material. Essas propriedades precisam ser relacionadas ao *design*, tempo ou expectativa de vida, desempenho ou manutenção.
2. Os requisitos devem ser classificados de acordo com a importância.

3. As propriedades devem receber pesos ( $W$ ), sendo que a soma de todos os pesos é de 100. Quanto mais importante é o requisito, maior é o valor do seu peso.
4. É calculado o índice de satisfação  $SI$  para cada propriedade. O  $SI$  pode ser calculado através da razão de propriedade ( $PR$ ).  $PR$  é designada como a razão entre a propriedade oferecida ou medida pela propriedade requerida. Se  $PR = 1$ , quer dizer que a satisfação é 100%, ou seja,  $SI = 1$ .
5. O índice de desempenho de cada propriedade ( $MPI$ ) é calculado:  
$$MPI = W \text{ (peso da propriedade)} \times SI \text{ (satisfação da propriedade)}$$
6. Todos os  $MPI$  devem ser calculados.
7. A eficiência de desempenho do material ( $MPE$ ) é calculada através do somatório do  $MPI$  de todas as propriedades:  
$$MPE = \sum (W \times SI)$$
8. Todos os  $MPE$  devem ser calculados.
9. Fazer a comparação de todos os  $MPE$  encontrados.

Na sequência do projeto será utilizado este método para analisar e comparar os insertos de latão e de alumínio de acordo com as propriedades escolhidas.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Visando concluir os objetivos específicos propostos nesse trabalho, para atender o objetivo geral, primeiramente houve a necessidade de revisar conceitos relacionados aos temas: levantadores de vidros, caixas de carretel, insertos metálicos, materiais utilizados, processo de fabricação, propriedades mecânicas e especificações requeridas. Em seguida, constatando que os testes demandados para garantir a qualidade e a funcionalidade dos insertos estariam relacionados ao método que seria aplicado, uma breve revisão sobre ele foi detalhada.

Ficou estabelecido que os insertos de alumínio deveriam passar por testes de extração (força de arrancamento), testes de torque e de corrosão e posterior análise comparativa com os atuais insertos de latão. Mas antes disso, foi necessário determinar quantas amostras seriam necessárias para a realização de cada teste e como aconteceria a fabricação das mesmas.

Seguindo os requisitos técnicos do cliente e especificações da empresa estudada, testes foram realizados conforme as normas da empresa e instruções do laboratório. Nesse caso, os insertos deveriam suportar um torque mínimo de 14 N.m, uma força de extração (arrancamento) de 5000 N e suportar 240h no teste de corrosão, sem apresentar corrosão.

Os próximos itens detalham os procedimentos envolvidos nos testes que serão executados nesse trabalho, visando apresentar as suas particularidades para o leitor.

#### **3.1 Determinação do tamanho da amostra**

Com o intuito de verificar quantas amostras precisariam ser fabricadas para a realização dos testes de extração e torque, foi realizada uma análise estatística para estimar o tamanho da amostra. Para o teste de corrosão não é necessário fazer essa análise, pois o teste só é realizado uma única vez.

Inicialmente, para o cálculo do tamanho da amostra, foi realizado um estudo piloto no qual foram feitos seis ensaios, três para cada teste, sendo obtidos os valores médios das forças de extração e de torque máximas atingidas em cada inserto. Posteriormente, foi calculado o desvio-padrão e o erro máximo. Em seguida,

foi utilizada a seguinte fórmula estatística, mostrada na equação 1 abaixo (Montgomery, p.190):

$$n \geq \frac{Zc^2 \times s^2}{\varepsilon^2} \quad (1)$$

onde:  $n$  = número da amostra,  $Zc$  = valor crítico correspondente ao nível de confiança desejado,  $s^2$  = estimador para a variância,  $\varepsilon$  = erro máximo admitido para a estimativa da média.

No próximo capítulo poderão ser vistos os resultados obtidos nos ensaios pilotos para determinação do tamanho da amostra.

### **3.2 Fabricação dos insertos e das caixas de carretel**

Com o tamanho da amostra definido, a próxima etapa foi a solicitação de insertos para os dois fornecedores, o de latão e o de alumínio. Com o intuito de utilizar um lote de insertos com as mesmas características foi pedido aos dois fabricantes que produzissem uma grande quantidade de insertos de uma só vez e tomando o devido cuidado para garantir repetibilidade do processo. Essa quantidade de insertos de cada material, também já seria utilizada para os testes de corrosão.

Após a análise visual e dimensional não foi constatado nenhum problema ou desvio, portanto, os insertos foram enviados para o fornecedor do CDH sobre injetado. Foi explicado ao fornecedor que a intenção era testar os insertos metálicos e avaliar a alternativa em alumínio. Alertado, o fornecedor programou a sobre injeção das peças plásticas com os insertos em uma mesma máquina injetora e ficou definido que primeiro seriam sobre injetados os CDH com os insertos de latão e depois os outros CDH com os insertos de alumínio. A fabricação das caixas de carretel no fornecedor ocorreu com o acompanhamento do setor da qualidade da empresa, que garantiu que o processo foi normal e que a mudança de geometria do inserto de latão para o de alumínio não afetou o encaixe do inserto no molde. Após inspeção visual e dimensional, as peças foram enviadas para a empresa e então os testes de extração e torque puderam ser realizados. A metodologia para os testes

será apresentada na sequência e os resultados obtidos serão apresentados no próximo capítulo.

### 3.3 Testes de Extração

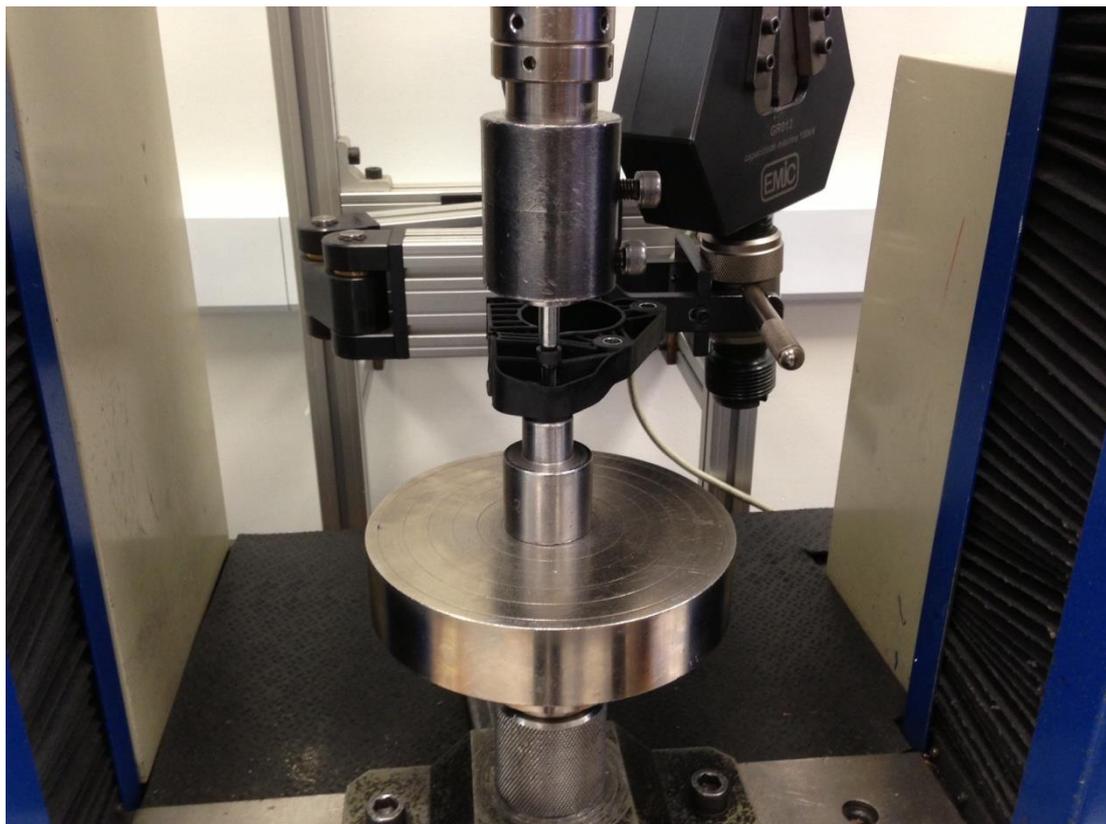
O teste de extração utiliza uma célula de carga de 100kN e velocidade de avanço da máquina de 10mm/min. A caixa de carretel é apoiada em uma base de 12mm de diâmetro, fazendo com que a região onde o inserto é alojada fique apoiada quase sem folga (ver figuras 19 e 20). No inserto, é roscado um parafuso de classe 8.8, mesma classe do parafuso que é utilizado na porta do veículo, simulando assim uma condição real. A ponteira da máquina é colocada em contato com o parafuso (figura 21). Quando a máquina é acionada, a ponteira força o parafuso na direção de extração do inserto, fazendo com que o inserto se desloque de posição. Sabe-se que o pico de força medido pelo gráfico do programa da máquina é o valor da força de extração do inserto.



**Figura 19 – Base de apoio para o CDH no teste de extração**



**Figura 20 – Medição da base de apoio**



**Figura 21 – Teste de extração sendo realizado**

### **3.4 Testes de Torque**

O teste de torque pode ser realizado de duas maneiras. A primeira é através de um torquímetro manual. Também utiliza-se o parafuso classe 8.8 roscado no inserto. A ponta do torquímetro é encaixada no parafuso e manualmente aplica-se o torque, como pode ser visto na figura 22. Este equipamento possui duas grandes limitações. O torque máximo medido é 27,12 N.m e por se tratar um torquímetro manual, o teste é subjetivo, pois os resultados variam muito dependendo de quem está aplicando o torque.



**Figura 22 – Teste de torque com torquímetro manual**

A segunda maneira de realizar o teste de torque é através de um dispositivo, que é capaz de medir o torque dinâmico (figura 23). O principal motivo de se realizar um teste de torque diferente do primeiro foi para justamente verificar se o torquímetro manual não apresentava alterações significativas nos resultados. O dispositivo se adapta a diferentes formatos de CDH, pois as hastes que prendem a peça podem ser movimentadas. O torque acontece através de um braço mecânico, resultando em um valor mais confiável.



**Figura 23 – Teste de torque com dispositivo**

Fonte: Anexo B

### **3.5 Teste de Corrosão**

O teste de corrosão foi realizado por um especialista da empresa, em um laboratório da companhia na Alemanha. Para isso, insertos precisavam ser enviados para lá. Através de conversa com o especialista, ficou definido que seriam necessários: 3 insertos de latão, 3 insertos de alumínio, 3 parafusos e um pedaço do interior do painel da porta do veículo. O material do parafuso é um aço galvanizado e com selante preto e o material do interior do painel da porta é um aço galvanizado revestido com zinco. Com essas amostras, já era possível realizar o teste comparativo de corrosão. Assim, uma embalagem foi preparada e enviada por Fedex para a Alemanha. Em semanas, o especialista do laboratório confirmou a chegada dos itens e confirmou a programação para os testes. Foi feito um comparativo, entre insertos de latão e alumínio, que foram submetidos a 240 horas de teste.

O teste avalia o risco de acontecer corrosão por contato através da combinação do material dos insertos, latão e alumínio, com o material do parafuso e o metal do interior do painel da porta. Esse risco é visualizado através da medição do potencial eletrostático entre os materiais. Também será feita uma análise somente dos insertos de latão e alumínio, mas a que deve ser considerada é a do conjunto completo (figura 24).



**Figura 24 – Teste de corrosão por contato**

Fonte: Anexo A

Para avaliar o risco da corrosão por contato, três condições devem ser consideradas (Anexo A):

- existe diferença de potencial de corrosão entre os metais utilizados no conjunto?
- existe condutividade elétrica entre os metais?

- existe um líquido eletrolítico que esteja em contato entre os metais?

Para o teste proposto, o potencial eletrostático será medido usando um potenciômetro. Como líquido eletrolítico será utilizada uma solução de 5% de NaCl (Anexo A). Os resultados obtidos nesse teste serão apresentados no próximo capítulo.

### 3.6 Metodologia para realização dos testes

Para a realização dos testes tentou-se reproduzir com a maior exatidão o que foi descrito neste capítulo. O único fator que foi incluído foi de que forma e em qual ordem os insertos seriam testados. Ficou definido que primeiro seria feito o teste de extração, começando com os CDH com insertos de latão e depois testando os outros CDH com insertos de alumínio. Na sequência, a realização do teste de torque, usando a mesma lógica. Também foi adotada uma numeração de cada inserto, para ser mais fácil o entendimento de cada resultado.

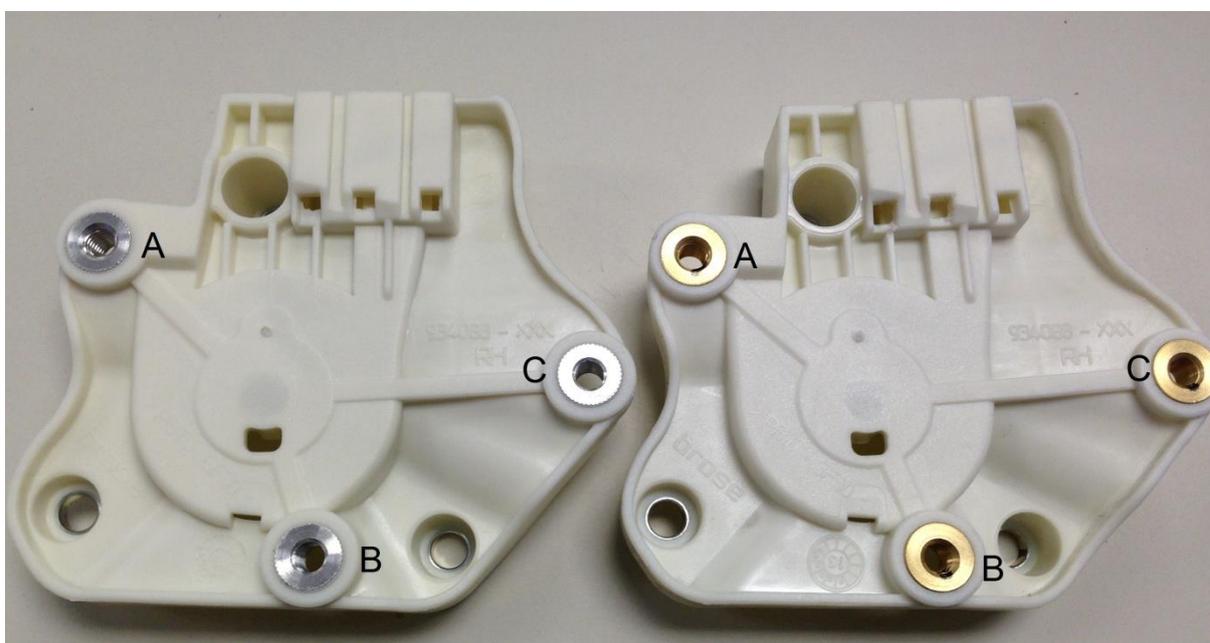


Figura 25 – Numeração de cada inserto nas caixas de carretel

Assim, na apresentação dos resultados encontrados em cada teste, cada inserto será representado por um número e uma letra, que representam qual caixa de carretel foi testada e qual a posição do inserto, respectivamente. Por exemplo, 3A significa que foi o terceiro CDH e o inserto testado foi o da posição A, conforme mostrado na figura 25.

## **4 VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA DO INSERTO METÁLICO**

Os resultados encontrados em cada teste serão mostrados de forma separada. Inicialmente será mostrado como foi determinado o tamanho necessário das amostras para realização de cada teste. Então, serão apresentados os resultados dos testes de extração, depois os de torque e por último os resultados do teste de corrosão. Nos resultados de cada teste será feita uma análise comparativa entre os insertos de latão e de alumínio. Também será mostrada uma análise da redução de custo atingida levando em consideração a alteração de matéria prima do inserto de latão para alumínio.

### **4.1 Determinação do tamanho da amostra**

No capítulo anterior, foi mostrada a metodologia para a determinação do tamanho da amostra necessária para os testes de extração e torque, uma vez que não é necessário fazer esse cálculo para o teste de corrosão, pois ele só é realizado uma única vez. Os resultados do estudo piloto no qual foram feitos seis ensaios, três para cada teste, serão mostrados a seguir.

No ensaio piloto para o teste de extração foram obtidos os resultados mostrados na tabela 9 a seguir:

**Tabela 9 – Resultados obtidos no ensaio piloto para teste de força de extração**

<b>Ensaio piloto para teste de força de extração</b>	
<b>Amostras</b>	<b>Força de extração (N)</b>
A	5831,22
B	5104,94
C	5591,45
<b>Média</b>	<b>5509,20</b>
<b>Variância</b>	<b>136944,05</b>
<b>Erro máximo</b>	<b>404,26</b>

E no ensaio piloto para o teste de torque foram obtidos os resultados mostrados na tabela 10 abaixo:

**Tabela 10 – Resultados obtidos no ensaio piloto para teste de torque**

<b>Ensaio piloto para teste de torque</b>	
<b>Amostras</b>	<b>Torque (N.m)</b>
A	12,39
B	14,17
C	14,55
<b>Média</b>	<b>13,70</b>
<b>Variância</b>	<b>1,33</b>
<b>Erro máximo</b>	<b>1,31</b>

O erro máximo obtido acontece através da maior diferença encontrada entre a média e os valores medidos.

Para um intervalo de confiança de 95% o valor de  $Z_c = 1,96$ . Dessa forma foi possível retornar à equação 1 e calcular o número de amostra ( $n$ ) para cada um dos testes:

$$n \geq \frac{Z_c^2 \times s^2}{\varepsilon^2} \cong \frac{1,96^2 \times 136944,05}{404,26^2} \cong 3,22 \quad (2)$$

$$n \geq \frac{Z_c^2 \times s^2}{\varepsilon^2} \cong \frac{1,96^2 \times 1,33}{1,31^2} \cong 2,96 \quad (3)$$

onde o valor da equação 2 representa o número da amostra para o teste de extração e o resultado da equação 3 representa o tamanho da amostra para o teste de torque. Lembrando que esses valores encontrados são considerados como tamanho mínimo da amostra (Montgomery, p.190).

Como esse ensaio piloto foi realizado em insertos de latão e pelo motivo dos resultados encontrados terem sido perto dos limites das especificações, decidiu-se adotar um tamanho de amostra maior, por segurança e para garantir maior confiabilidade nos testes. Dessa forma, o tamanho da amostra adotado foi de  $n = 21$ , que é um múltiplo de 3 e facilita a fabricação dos CDH, pois cada um contém 3 insertos. Portanto, definiu-se que seriam necessários 21 insertos para o teste de extração e 21 insertos para o teste de torque, para cada material, totalizando um número de 84 insertos, sendo 42 de latão e 42 de alumínio.

## 4.2 Teste de extração

Os resultados obtidos no teste de extração mostram que o inserto de alumínio encontrou valores de força de extração muito superiores aos do inserto de latão, como pode ser visto na figura 26. O gráfico mostrado na figura 27 evidencia bem essa diferença entre os dois materiais. Se levarmos em conta somente os resultados com o inserto de latão, verifica-se que de 21 amostras, 2 foram descartadas pois houve erro na forma como a peça foi medida. Conforme a colocação da peça na máquina a mesma alcançou a força de extração sem ter completado o teste corretamente. Assim, a média encontrada foi de 5304,16 N nas 19 medições restantes, sendo que 4 delas foram insatisfatórias, ficando abaixo do especificado. Além disso, 2 amostras ficaram dentro da faixa aceitável, porém muito próximas do limite inferior, o que causa preocupação. Resumindo os números dos resultados do teste de extração para os insertos de latão, tem-se que 13 de 21 insertos estão com valores aceitáveis, o que representa apenas 62%.

Já para o inserto de alumínio, os resultados são muito bons. Não ocorreu nenhum erro de medição e todos os 21 insertos ficaram bem acima do especificado. A média foi de 8737,34 N e o menor valor encontrado foi de 8241,83 N, o que representa uma boa margem de segurança.

Força de extração - Comparativo inserto latão (antigo) e alumínio (novo)					
Latão			Alumínio		
Peça	Valor encontrado	Valor mínimo	Peça	Valor encontrado	Valor mínimo
1A	5066,98	5000,00	8A	8815,26	5000,00
1B	4816,23	5000,00	8B	8646,42	5000,00
1C	5412,63	5000,00	8C	8711,36	5000,00
2A	1217,22	5000,00	9A	8865,21	5000,00
2B	5439,61	5000,00	9B	8813,26	5000,00
2C	4526,52	5000,00	9C	8666,41	5000,00
3A	5706,34	5000,00	10A	8934,14	5000,00
3B	5553,49	5000,00	10B	8973,1	5000,00
3C	5863,19	5000,00	10C	9319,76	5000,00
4A	5475,57	5000,00	11A	8920,15	5000,00
4B	5908,14	5000,00	11B	8684,39	5000,00
4C	4227,82	5000,00	11C	8727,34	5000,00
5A	5479,57	5000,00	12A	8616,46	5000,00
5B	5580,47	5000,00	12B	8876,2	5000,00
5C	5377,67	5000,00	12C	8450,62	5000,00
6A	5442,60	5000,00	13A	8479,59	5000,00
6B	5463,58	5000,00	13B	8241,83	5000,00
6C	980,03	5000,00	13C	8729,34	5000,00
7A	5004,05	5000,00	14A	8900,17	5000,00
7B	5615,43	5000,00	14B	8482,59	5000,00
7C	4819,23	5000,00	14C	8630,44	5000,00

<b>Média Latão</b>	<b>5304,16</b>   N
<b>Desvio Padrão</b>	<b>447,06</b>
<b>Intervalo de Confiança = 95%</b>	<b>201,02</b>

<b>Média Alumínio</b>	<b>8737,34</b>   N
<b>Desvio Padrão</b>	<b>228,36</b>
<b>Intervalo de Confiança = 95%</b>	<b>97,67</b>

Figura 26 – Resultados do teste de extração

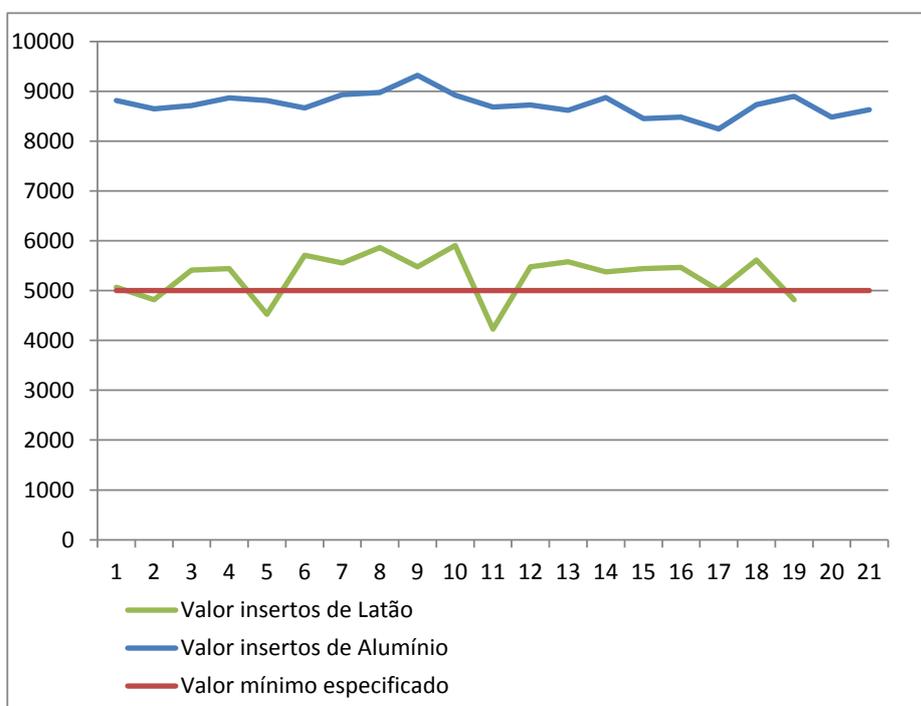


Figura 27 – Gráfico com o resultado dos insertos no teste de extração

### 4.3 Resultados do teste de torque

Assim como no teste de extração, o inserto de alumínio também se mostrou superior ao inserto de latão nos testes de torque (ver figura 28). Esse fato fica bem evidenciado no gráfico mostrado na figura 29. Dessa vez, não ocorreu nenhum erro de medição e nenhum inserto foi descartado. Analisando separadamente cada inserto, é possível visualizar que a média dos resultados para o inserto de latão ficou em 14,30 N.m, um número muito próximo da especificação de 14 N.m. Dos 21 insertos testados, 5 tiveram resultado insatisfatório e 3 ficaram no limite da especificação. Coincidentemente, assim como no teste de extração, 13 resultados de 21 foram bons, sendo que o valor mais alto encontrado foi de 15,39 N.m, somente 10% acima do especificado.

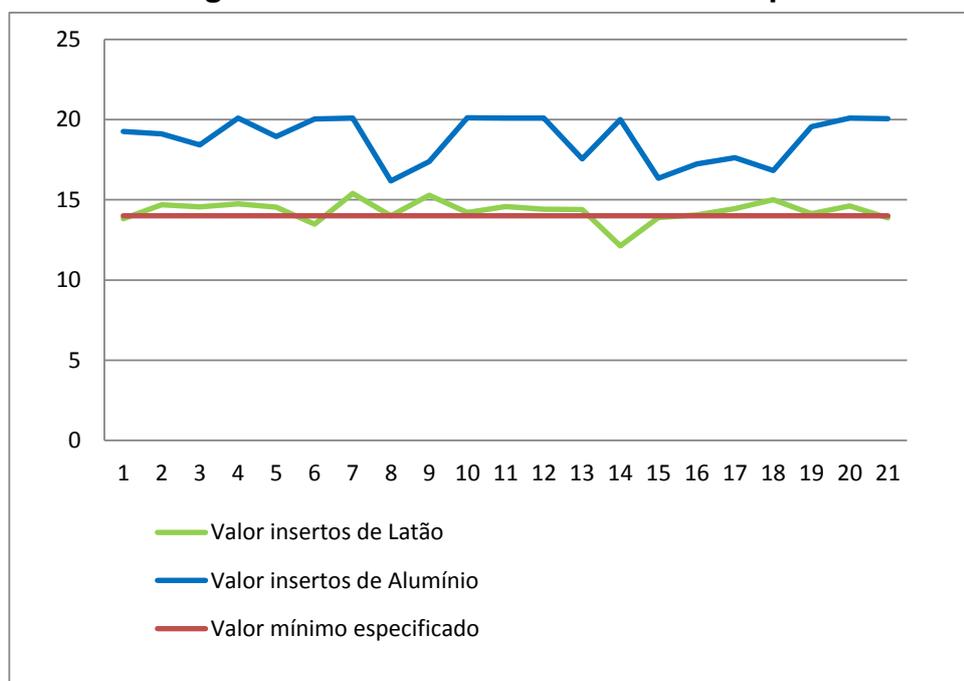
O inserto de alumínio foi mais uma vez superior ao de latão e os resultados mostram uma média de 18,82 N.m. Todos os 21 insertos testados, ficaram acima da especificação. O menor resultado encontrado foi de 16,18N.m e o maior foi de 20,10 N.m.

Torque - Comparativo inserto latão (antigo) e alumínio (novo)					
Latão			Alumínio		
Peça	Valor encontrado	Valor mínimo	Peça	Valor encontrado	Valor mínimo
15A	13,82	14,00	22A	19,26	14,00
15B	14,69	14,00	22B	19,11	14,00
15C	14,56	14,00	22C	18,43	14,00
16A	14,74	14,00	23A	20,10	14,00
16B	14,55	14,00	23B	18,95	14,00
16C	13,49	14,00	23C	20,04	14,00
17A	15,39	14,00	24A	20,09	14,00
17B	14,00	14,00	24B	16,18	14,00
17C	15,29	14,00	24C	17,38	14,00
18A	14,21	14,00	25A	20,12	14,00
18B	14,58	14,00	25B	20,09	14,00
18C	14,42	14,00	25C	20,09	14,00
19A	14,39	14,00	26A	17,55	14,00
19B	12,13	14,00	26B	20,01	14,00
19C	13,89	14,00	26C	16,35	14,00
20A	14,06	14,00	27A	17,24	14,00
20B	14,46	14,00	27B	17,62	14,00
20C	15,01	14,00	27C	16,82	14,00
21A	14,14	14,00	28A	19,55	14,00
21B	14,62	14,00	28B	20,09	14,00
21C	13,88	14,00	28C	20,06	14,00

<b>Média Latão</b>	<b>14,30</b>	<b>N.m</b>	<b>Média Alumínio</b>	<b>18,82</b>	<b>N.m</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,69</b>		<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,41</b>	
<b>Intervalo de Confiança = 95%</b>	<b>0,29</b>		<b>Intervalo de Confiança = 95%</b>	<b>0,60</b>	

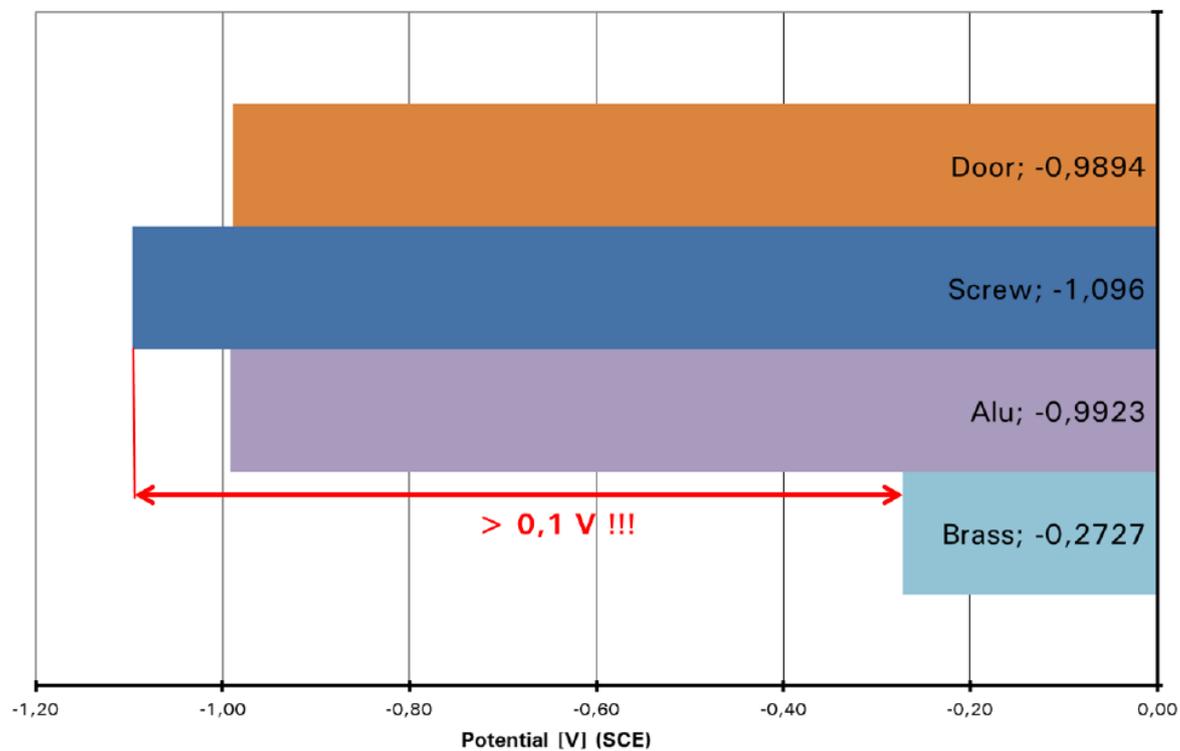
**Figura 28 – Resultados do teste de torque**



**Figura 29 – Gráfico com o resultado dos insertos no teste de torque**

#### 4.4 Resultados do teste de corrosão

Os resultados que serão mostrados a seguir são provenientes do relatório preparado pelo especialista da empresa na Alemanha.



**Figura 30 – Potencial eletrostático entre porta, parafuso e insertos de latão e alumínio**

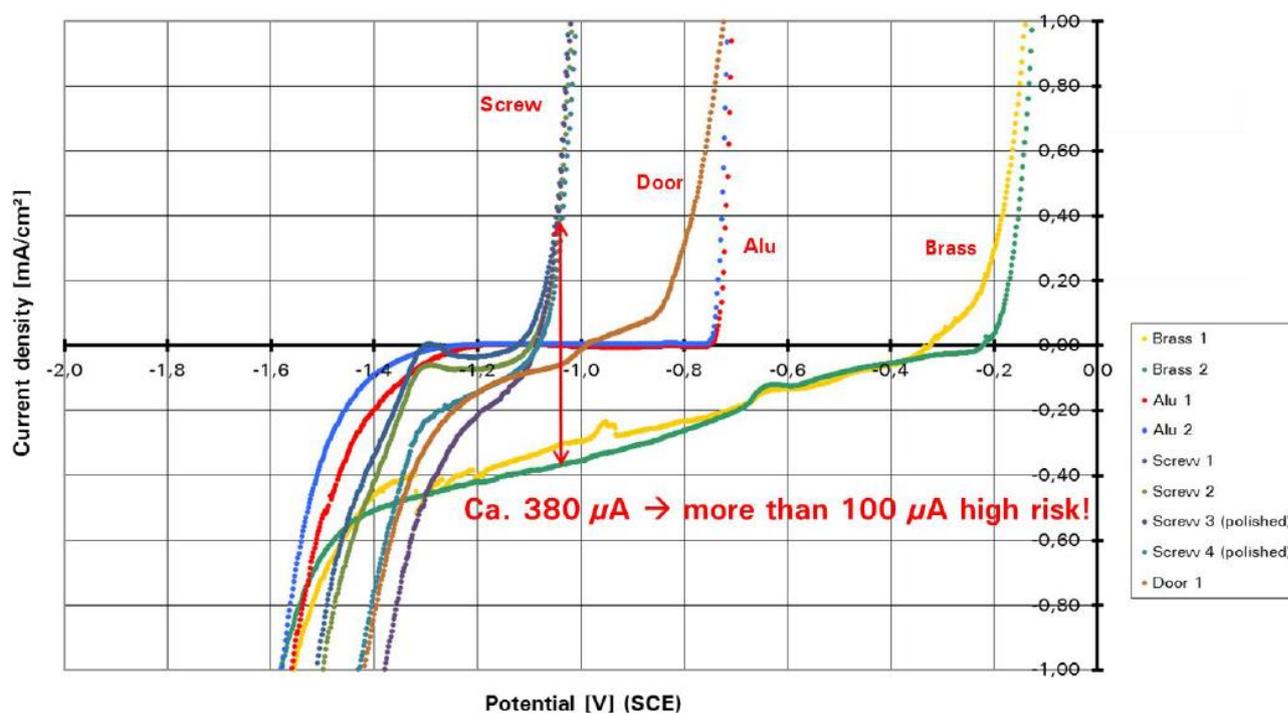


Figura 31 – Densidade de corrente entre porta, parafuso e insertos de latão e alumínio

**Result:**

For the connection between brass and screw there is a potential difference of about 0.8 V. the absolute value of the current density for this two materials is about  $380 \mu\text{A}$  which is way more than tolerable. The combination of the new considered material aluminium and screw shows a potential difference of about 0.1 V but the current density is less than  $10 \mu\text{A}$  which means this is a better material combination.

The corrosion rate can be calculated

combination (less noble/nobler)	Corrosion rate [mm/a] of the less noble (in case of same part-area)	
Screw A3KT2/Alu insert	0,075	
Screw A3KT2/Brass insert	5,71	
Screw A3KT2/Door hot galvanized with paint	1,17	but: One side from door panel is passivated with paint
Alu insert/Door hot galvanized with paint	0,055	

Figura 32 – Taxa de corrosão para as diferentes combinações de materiais

A figura 30 mostra o potencial eletrostático entre a porta, parafuso e os insertos. É possível verificar que a maior diferença de potencial ocorre entre o parafuso e o inserto de latão, ficando próxima de 0,8 V. Considerando que o limite para não ocorrer qualquer tipo de corrosão por contato é de até 0,1 V, o valor encontrado para o inserto de latão é bastante alto. O valor encontrado para o inserto de alumínio é de aproximadamente 0,1 V, que estaria dentro do aceitável.

Na figura 31 temos a mesma comparação de materiais, mas agora do ponto de vista da densidade de corrente. Até 100  $\mu\text{A}$  o valor é aceitável e acima disso já é considerado como alto risco de corrosão por contato. Analisando os resultados, o inserto de alumínio apresenta um valor de aproximadamente 380  $\mu\text{A}$ , que seria extremamente fora do limite. No inserto de alumínio, o valor da densidade de corrente é menor do que 10  $\mu\text{A}$ , o que deixa o material sem nenhum risco de corrosão.

A figura 32 mostra o resultado do teste através da opinião do especialista da empresa, que diz que a combinação parafuso e inserto de alumínio é superior em relação à combinação parafuso e latão, considerando os valores encontrados nas medições do potencial eletrostático e da densidade de corrente. Também é possível ver os valores calculados para a taxa de corrosão de cada combinação, que também evidencia um pior desempenho do inserto de latão.

Report No.: A0548b-13

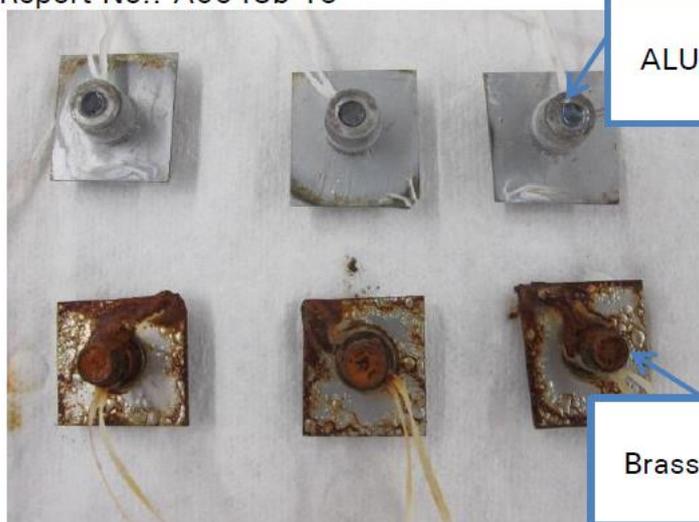


Fig.: 14

Image No.: A0548b-13\_0016

Image Source:

Image Comment:  
nach 240h Salzsprühstest  
After 240h salt spray test

**Figura 33 – Teste de corrosão finalizado após 240 horas**

## ANALYSIS RESULTS

	no decision	ok	not ok	<b>Summary of the results</b>  In the first results of the potentiostatic measurements (see A0548a-13) we found a high risc of contact corrosion regarding the assembly with brass. In the current investigation (A0548b-13) we tested the different material combinations and the single parts in the salt spray test (acc. DIN EN ISO 9227, 240h). The results from the salt spray test are confirm with the potentiostatic measurements (see following sheets and pictures).
<b>Entire decision</b>				
Contact corrosion Assembly with brass - Bush			X	
Contact corrosion Assembly with ALU - Bush		X		

**Figura 34 – Resultado do teste de corrosão**

A figura 33 mostra na parte superior, o conjunto metal da porta, parafuso e inserto de alumínio e na parte inferior o conjunto metal da porta, parafuso e inserto de latão. Visualmente é possível ver que o conjunto com inserto de latão sofreu corrosão intensa enquanto o inserto de alumínio não apresentou sinais de corrosão após 240 horas.

A figura 34 mostra a decisão final do especialista do teste de corrosão, reprovando o inserto de latão.

### 4.5 Cálculo da redução de custo

A metodologia utilizada para verificar a redução de custos, foi realizar um cálculo para verificar o potencial ganho com a troca de matéria prima. Esse cálculo considerou o tempo de vida do projeto (5 anos). Foi considerado 4 caixas de carretel por carro (4 levantadores de vidro), com 3 insertos por caixa de carretel, totalizando 12 insertos metálicos por carro.

Para proteger os números da empresa e de seus fornecedores, o dado que será fornecido é de que o inserto de alumínio é R\$0,09 (nove centavos) mais barato. A figura 35 mostra o cálculo realizado no qual verifica-se o seguinte potencial de

redução de custo ao trocar a matéria prima dos insertos metálicos de latão para alumínio:

<i>Insertos por carro</i>	12	<i>valor médio</i>
<i>Carros por ano</i>	130.000	
<i>Duração do projeto (anos)</i>	5	

<b>Comparação de preço</b>	
<b>Inserto</b>	<b>Preço (R\$)</b>
<b>Inserto Atual - Latão</b>	x
<b>Inserto Novo - Alumínio</b>	x-0,09

*inserto de alumínio é R\$0,09 (9 centavos) mais barato que o de latão*

<b>Potencial Redução de Custo</b>	
<b>Preço (R\$)</b>	
1 peça	0,09
x8 (1 Carro)	1,08
x100	9,00
<hr/>	
1 ano	140.400
<b>Duração do projeto</b>	<b>702.000</b>

**Figura 35 – Cálculo da redução de custos**

A mudança de fornecimento dos insertos para uma empresa de grande porte e produtividade, a mudança do desenho do perfil dos insertos para algo mais simples e o fato utilizar alumínio que é mais barato do que o latão foram os principais fatores para o inserto novo custar 9 centavos a menos do que o antigo, contribuindo para essa redução de cerca de R\$700.000,00 durante os cinco anos do projeto.

#### **4.6 Aplicação do método para análise dos materiais**

O método utilizado para analisar os insertos de latão e de alumínio é o utilizado por Raman, que foi descrito anteriormente. Os nove passos do método serão mostrados a seguir:

**1. Determinar os requisitos que serão avaliados no componente, produto ou material. Essas propriedades precisam ser relacionadas a *design*, tempo ou expectativa de vida, desempenho ou manutenção (Raman, 2007, p. 685).**

Os requisitos que serão avaliados serão a força de extração, o torque e a resistência à corrosão.

**2. Os requisitos devem ser classificados de acordo com a importância (Raman, 2007, p. 685).**

A força de extração e o torque tem a mesma importância, pois as duas precisam ser atendidas para que o inserto seja aprovado. A resistência à corrosão tem menor importância, pois não consta em norma ou especificação tanto da empresa quanto do cliente, e está sendo realizada como garantia.

**3. As propriedades devem receber pesos (W), sendo que a soma de todos os pesos é de 100. Quanto mais importante é o requisito, maior é o valor do seu peso (Raman, 2007, p. 685).**

- Força de extração:  $W = 40$
- Torque:  $W = 40$
- Resistência à corrosão:  $W = 20$

**4. É calculado o índice de satisfação SI para cada propriedade. O SI pode ser calculado através da razão de propriedade (PR). PR é designada como a razão entre a propriedade oferecida ou medida pela propriedade requerida. Se  $PR = 1$ , quer dizer que a satisfação é 100%, ou seja,  $SI = 1$  (Raman, 2007, p. 685).**

- Cálculo do PR da força de extração para o latão (equação 4) e para o alumínio (equação 5):

$$PR^1 = \frac{\text{Valor adquirido}}{\text{Valor requerido}} = \frac{5304,16}{5000} \geq 1,06 \quad (4)$$

$$PR^1 = \frac{\text{Valor adquirido}}{\text{Valor requerido}} = \frac{8737,34}{5000} \geq 1,75 \quad (5)$$

Adotando o maior valor de PR encontrado como valor de SI = 1,0 (equação 6) e utilizando regra de 3, encontra-se o valor de SI para PR = 1,06 (equação 7).

$$PR = 1,75 \rightarrow SI^1 = 1,0 \quad (6)$$

$$\frac{1,75 \rightarrow 1,0}{1,06 \rightarrow X} \rightarrow X = 0,61 = SI^1 \quad (7)$$

Portanto, tem-se para a força de extração:

- SI do latão = 0,61

- SI do alumínio = 1,0

- Cálculo do PR do torque para o latão (equação 8) e para o alumínio (equação 9):

$$PR^2 = \frac{\text{Valor adquirido}}{\text{Valor requerido}} = \frac{14,30}{14} \geq 1,02 \quad (8)$$

$$PR^2 = \frac{\text{Valor adquirido}}{\text{Valor requerido}} = \frac{18,82}{14} \geq 1,34 \quad (9)$$

Adotando o maior valor de PR encontrado como valor de SI = 1,0 (equação 10) e utilizando regra de 3, encontra-se o valor de SI para PR = 1,02 (equação 11).

$$PR = 1,34 \rightarrow SI^2 = 1,0 \quad (10)$$

$$\frac{1,34 \rightarrow 1,0}{1,02 \rightarrow X} \rightarrow X = 0,76 = SI^2 \quad (11)$$

Portanto, tem-se para o torque:

- SI do latão = 0,76

- SI do alumínio = 1,0

- Cálculo do PR da resistência à corrosão para o latão (equação 12) e para o alumínio (equação 13):

$$PR^3 = \frac{\text{Valor adquirido}}{\text{Valor requerido}} = \frac{\text{apresentou corrosão}}{\text{não apresentar corrosão}} = 0 \quad (12)$$

$$PR^3 = \frac{\text{Valor adquirido}}{\text{Valor requerido}} = \frac{\text{não apresentou corrosão}}{\text{não apresentar corrosão}} = 1 \quad (13)$$

Portanto, tem-se para a resistência à corrosão:

- SI do latão = 0,0

- SI do alumínio = 1,0

**5. O índice de desempenho de cada propriedade (MPI) é calculado (Raman, 2007, p. 686):**

$$\text{MPI} = W \text{ (peso da propriedade)} \times \text{SI (satisfação da propriedade)}$$

**6. Todos os MPI devem ser calculados (Raman, 2007, p. 686).**

- Cálculo do MPI da força de extração para o latão (equação 14) e para o alumínio (equação 15):

$$MPI^1 = W \times SI = 40 \times 0,61 = 24,4 \quad (14)$$

$$MPI^1 = W \times SI = 40 \times 1,0 = 40 \quad (15)$$

- Cálculo do MPI do torque para o latão (equação 16) e para o alumínio (equação 17):

$$MPI^2 = W \times SI = 40 \times 0,76 = 30,4 \quad (16)$$

$$MPI^2 = W \times SI = 40 \times 1,0 = 40 \quad (17)$$

- Cálculo do MPI da resistência à corrosão para o latão (equação 18) e para o alumínio (equação 19):

$$MPI^3 = W \times SI = 20 \times 0,0 = 0 \quad (18)$$

$$MPI^3 = W \times SI = 20 \times 1,0 = 20 \quad (19)$$

**7. A eficiência de desempenho do material (MPE) é calculada através do somatório do MPI de todas as propriedades (Raman, 2007, p. 686):**

$$MPE = \sum (W \times SI)$$

**8. Todos os MPE devem ser calculados (Raman, 2007, p. 686).**

- Cálculo do MPE do latão:

$$MPE = MPI^1 + MPI^2 + MPI^3 = 24,4 + 30,4 + 0 = 54,8 \quad (20)$$

- Cálculo do MPE do alumínio:

$$MPE = MPI^1 + MPI^2 + MPI^3 = 40 + 40 + 20 = 100 \quad (21)$$

### **9. Fazer a comparação de todos os MPE encontrados.**

De acordo com o que foi descrito anteriormente, pode-se classificar os materiais da seguinte forma:

- Latão:  $MPE = 54,8 < 70 =$  Material inadequado

- Alumínio:  $MPE = 100 > 95 =$  Material excelente

Fazendo uma análise geral do MPE é possível perceber que o fato do inserto de latão ter sido reprovado no teste de corrosão contribuiu bastante para o material ter sido classificado como inadequado. Se o resultado do teste de corrosão tivesse sido satisfatório, o latão teria ficado na faixa de material admissível. De qualquer forma, o método de Raman traduz em níveis de classificação o resultado dos testes. Ao olhar a média dos testes utilizando os dois materiais, rapidamente é possível perceber a superioridade de desempenho do alumínio.

## 5 CONCLUSÕES

Após a realização de todas as etapas do projeto, conclui-se que os objetivos propostos foram plenamente atingidos. A maior dúvida quando foi apresentada a proposta era de que se o inserto de alumínio realmente atenderia as expectativas da empresa. E agora com a obtenção dos resultados é possível afirmar sem dúvidas, que o inserto alternativo de alumínio é melhor do ponto de vista de desempenho do que o inserto atual de latão, pois em todos os testes ele se mostrou superior.

O método da Eficiência de Desempenho do Material (MPE) teve a função de traduzir em uma classificação o resultado de cada propriedade avaliada nos materiais. A comparação deixou o desempenho de cada material em dois patamares bem distintos: o inserto de alumínio foi considerado excelente e o de latão inadequado. Se o resultado do teste de corrosão tivesse apontado que o latão estava aprovado, a classificação do inserto de latão seria admissível, o que representaria uma verdade um tanto preocupante para a empresa, pois só 62% dos insertos testados ficam acima da especificação.

A redução de custo apresentada, descrita em aproximadamente R\$ 700.000,00, é uma estimativa. No cálculo só foi considerado qual era a diferença de valor bruto entre os insertos. Com a quantidade de insertos metálicos que precisarão ser utilizados até o fim da vida do projeto foi feita a estimativa. É uma conta simples, que desconsidera outros fatores, como por exemplo, utilização do estoque de insertos de latão e rompimento de contrato com o atual fornecedor. De qualquer forma fica evidenciado que o inserto de alumínio custa menos para a empresa mesmo possuindo melhor qualidade, e que passar a utilizá-los trará economia.

Como conclusão final, a realização do trabalho se mostrou proveitosa para a equipe, que pode aplicar diversos conceitos de engenharia em um estudo de caso real em uma empresa automobilística, e também foi importante para a empresa, que agora possui uma alternativa melhor e mais barata para seus insertos metálicos.

## 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

As principais sugestões são no sentido do processo de fabricação das caixas de carretel. A primeira sugestão seria de pensar em um processo mais automatizado e centralizado em um só fornecedor. Faria mais sentido a fabricação dos insertos ocorrer no mesmo lugar em que se faz a sobre injeção da peça. Custos logísticos seriam evitados, o processo seria mais eficiente e a gestão de somente um fornecedor é mais fácil.

Também pode ser realizado um estudo para verificar a viabilidade de eliminação dos insertos metálicos. A caixa de carretel precisaria ser redesenhada com um novo conceito, que traria a rosca para fixação dos parafusos na própria peça plástica. É um projeto complexo, mas que se fosse planejado e executado com sucesso eliminaria um dos processos de produção da caixa de carretel, além de trazer outras melhorias, como a utilização de somente um componente e a redução de peso na peça, que é fator importantíssimo para o setor automotivo.

## REFERÊNCIAS

ALCOA. **Perfis Extrudados de Alumínio: Ligas e Têmperas de Extrusão**. Disponível em: <https://www.alcoa.com/brasil/>. Acesso em: 03 de julho, 2014.

AURUBIS-STOLBERG. **Technical Datasheet: CuZn39Pb3**. Disponível em: [www.aurubis-stolberg.com](http://www.aurubis-stolberg.com). Acesso em: 03 de julho, 2014.

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. Russel, Jr. **Resistência dos Materiais**. 5 ed. São Paulo, SP, McGraw Hill, 2006.

BROSE FAHRZEUGTEILE GMBH & CO. **Brose Product Brochure 2013**. Disponível em: <http://www.brose.com/>. Acesso em: 01 de julho, 2014.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2008.

GADSL. **Global Automotive Declarable Substance List**. Disponível em: [www.gadsl.org](http://www.gadsl.org). Acesso em: 18 de agosto, 2014.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ, LTC, 1996.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments**. 6<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, 1991.

RAMAN, Aravamudhan. Analysis of Materials Performance Efficiency. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 16, n.6, p. 685-693, Dezembro 2007.

TAVARES, Cassilda M. L. **Efeito da Utilização de Insetos Metálicos nas Características de Juntas Aparafusadas em Compósitos**. Porto: Universidade do Porto, FEUP, 2003.

TICONA. **Celstran Long Fiber Reinforced Thermoplastics: ProductGuide**. Disponível em: [http://www.hipolymers.com.ar/pr\\_pbt.htm](http://www.hipolymers.com.ar/pr_pbt.htm). Acesso em: 03 de julho, 2014.

SABIC. **Technical Datasheet: Valox™ Resin420**. Disponível em: [www.sabic-ip.com](http://www.sabic-ip.com). Acesso em: 03 de julho, 2014.

SENHORAS, Eloi M.; DIAS, Josimara M. **Tendências da Indústria Automotiva Brasileira: Um Estudo do Caso FIAT**. Campinas: Unicamp, 2004.

## ANEXO A – INSTRUÇÃO PARA TESTE DE CORROSÃO POR CONTATO FORNECIDO PELA EMPRESA

report-no.: A0548-13A0548-13

### INDIVIDUAL RESULTS

Parts:	Ident-no.:	Material/surface	surface area	density
Screw fixation	C04728-101	A3K + T2	7,58 cm <sup>2</sup>	7,78 g/cm <sup>3</sup>
Brass Insert	969284-100	CuZn39Pb3	6,20 cm <sup>2</sup>	8,35 g/cm <sup>3</sup>
Alu Insert	alternative	AlMgSi1	7,58 cm <sup>2</sup>	2,69 g/cm <sup>3</sup>
Door panel	customer p.	one side hot dip galvanized (25 $\mu$ m) One side " and coated (45 $\mu$ m)	unknown	6,93 g/cm <sup>3</sup>

### Contact corrosion:

Contact corrosion is an electrochemical Process. To give an estimate of the risk of contact corrosion, three conditions have to be considered:

- Is there a different corrosion potential of the used materials (metals) in the system? To find out, there is a datasheet of the standard electrode potential or it can be measured in a potentiostat.
- Is there an electron-conducting connection between the metals?
- Is there a conductive liquid film (electrolyte) like water, steam or even a low conducting lubricant which connects two materials?

### Used Analytical method:

For this Problem, the standard electrode potential was measured with a Potentiostat using a potentiodynamic measurement-method. The current density over the potential was measured against a reference electrode (saturated calomel electrode; SCE). As an electrolyte there was a 5 % NaCl solution (w/w) used – the same as used in the salt spray test.

### Appraisal:

At a difference of up to ca. 0.1 V (vs. SCE) of the potential there is no danger of contact corrosion. For larger differences the measured current density must be observed. Therefore the potential where the absolute values of the two materials are the same must be found. This value could give a hint whether there is a risk of contact corrosion or not. If the current density at this point is in the range of < 10  $\mu$ A there is no risk. From 10  $\mu$ A till 100  $\mu$ A there is a slight risk only if the less noble material is much smaller than the nobler one, or the less noble is a very thin panel. Above 100  $\mu$ A there is a high risk of contact corrosion and it should be considered to use other material.

Report No.: A0548b-13

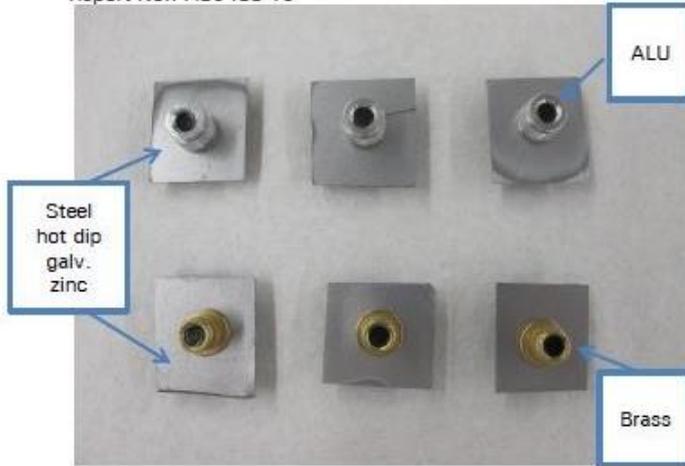


Fig.: 1

Image No.: A0548b-13\_0002

Image Source:

Image Comment:  
Neuzustand/ New condition

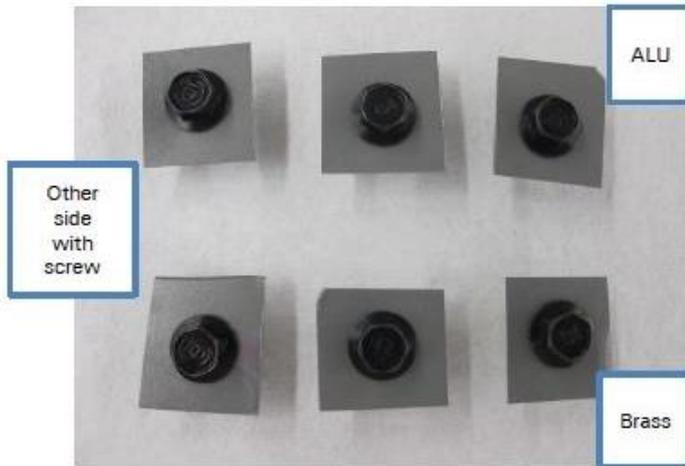


Fig.: 2

Image No.: A0548b-13\_0003

Image Source:

Image Comment:  
Neuzustand/ New condition



Fig.: 4

Image No.: A0548b-13\_0005

Image Source:

Image Comment:  
nach 72h Salzsprühstest  
After 72h salt spray test

# ANEXO B – INSTRUÇÃO PARA TESTE DE EXTRAÇÃO E PARA TESTE DE TORQUE FORNECIDO PELA EMPRESA

## Photo sheet 1

Test sample order number: TVG-K-935-13  
Project number: K-1754

Assy / Part number: \_\_\_\_\_  
Assembly-description: \_\_\_\_\_

SAG 934087-xxx

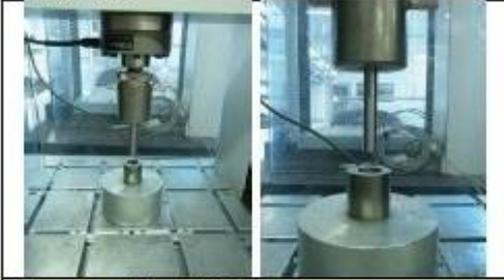


Zwei verschiedene Buchsen

SAG C92933-xxx



Versuchsaufbau



Buchse: 18mm / Stempel: 10mm

Ausdrücken SAG 934087-xxx



Ausfallbild goldene Buchse



Ausfallbild silberne Buchse



Ausdrücken SAG C92933-xxx



Ausfallbild silberne Buchse



### Photo sheet 2

Test sample order number: TVG-K-335-13  
Project number: K-1754

Assy / Part number:  
Assembly-description:

Versuchsaufbau SAG 934087



Versuchsaufbau SAG C92933



Überdrehen

