

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROCESSO DE INJEÇÃO DE UMA PORÇA PLÁSTICA – ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DOS  
PARÂMETROS.**

por

Dhiego Reichak da Silva

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2010.



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

PROCESSO DE INJEÇÃO DE UMA PORÇA PLÁSTICA – ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS.

por

Dhiego Reichak da Silva

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira

Prof. Dr. Mário Roland Sobczyk Sobrinho

Prof. Dr. Vilson João Batista

Porto Alegre, 18 de Junho de 2010.

Dedico este trabalho a todos que fizeram parte da construção do meu aprendizado ao longo do curso, principalmente meus pais Dirceu Alves da Silva e Irene Reichak da Silva e minha namorada Melina Backes Bitelo.

SILVA, D.R., **Processo de Injeção de uma Porca Plástica – Análise e Otimização dos Parâmetros**. 2010. 37f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo dos fatores controláveis de um processo de injeção de porca plástica, aplicando projeto de experimentos, para avaliar o comportamento da resistência à torção da peça injetada. A porca é injetada com poliamida (PA66) com 30% de fibra de vidro. Esta porca é montada em um sensor de velocidade e é responsável por fixar este sensor em alguns automóveis da FIAT.

A análise contempla o estudo geral do fluxo de produção do item, buscando todos os possíveis fatores controláveis responsáveis pela alteração final da resistência à torção. Foi aplicado Projeto de Experimentos (*Design Of Experiments – DOE*), para verificar de uma forma simples e com base estatística quais são os fatores controláveis significativos do processo de injeção. Para isso, foram injetadas amostras para cada uma das combinações de fatores controláveis. A partir dos resultados foi realizada a análise de variância (ANOVA) para determinar os fatores significativos na resistência à torção da porca plástica injetada. Definido os fatores significativos, foram ajustados os valores dos parâmetros (ótimos) do processo para se produzir uma nova amostra e assim poder validar a nova configuração otimizada.

**PALAVRAS-CHAVE:** porca plástica, injeção, planejamento experimental

SILVA, D.R., “**Injection Process of a Plastic Nut – Analysis and Optimization of the Parameters.**” 2010. 37f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **ABSTRACT**

This paper presents a study of the controllable factors of a process of injecting plastic nut, applying design of experiments to evaluate the behavior of the torsional resistance of the injected part. The nut is injected with polyamide (PA66) with 30% glass fiber. This nut is mounted on a speed sensor and is responsible for fixing this sensor in some vehicles in Fiat.

The analysis includes the general study of the production flow of the item, trying all possible controllable factors responsible for the final change of the torque resistance. It was applied Design of Experiments (DOE), to verify in a simple way and based on statistics which are significant controllable factors of the injection process. For this, samples were injected for each of the combinations of controllable factors. From the results, was performed an analysis of variance (ANOVA) to determine the significant factors in the resistance of the injected plastic nut. Defined the significant factors, were fitted the parameter values (optimal) of the process to produce a new sample and thus able to validate the new optimized configuration.

**KEYWORDS:** plastic nut, injection, Design of Experiments

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
4.1	RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	3
4.2	COMPONENTES PLÁSTICOS .....	4
4.2.1	<i>Principais Características</i> .....	4
4.2.2	<i>Vantagens e Desvantagens</i> .....	5
4.3	POLIAMIDA E FIBRA DE VIDRO .....	5
4.4	PROCESSO DE INJEÇÃO E PARÂMETROS.....	5
4.5	PROJETO DE EXPERIMENTOS (DOE).....	7
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>SITUAÇÃO ATUAL</b> .....	<b>8</b>
6.1	FLUXO DO PROCESSO.....	8
6.2	TESTE DE TORQUE.....	10
<b>7</b>	<b>OTIMIZAÇÃO</b> .....	<b>11</b>
7.1	VARIÁVEIS.....	11
7.2	PRIMEIROS TESTES .....	12
7.3	RESULTADOS .....	13
7.4	ANÁLISE DIMENSIONAL .....	16
<b>8</b>	<b>RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO</b> .....	<b>20</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>21</b>
	<b>ANEXO I – CERTIFICADO DE ANÁLISE</b> .....	<b>22</b>
	<b>ANEXO II – DATASHEET MATÉRIA PRIMA RHODIA</b> .....	<b>23</b>
	<b>APÊNDICE I - RESULTADO TESTE TORQUE ATUAL</b> .....	<b>25</b>
	<b>APÊNDICE II – RESULTADO TESTE TORQUE (Nm)</b> .....	<b>26</b>
	<b>APÊNDICE III – EFEITOS DOS PARÂMETROS X CAVIDADE</b> .....	<b>28</b>
	<b>APÊNDICE IV – DIMENSIONAL DA PORCA</b> .....	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a economia crescente e globalizada é caracterizada por um mercado extremamente agressivo, onde as empresas têm necessidade de assegurar a sua sobrevivência e competitividade através da melhoria contínua da qualidade e produtividade. Para tal, devem procurar processos produtivos mais eficientes e que satisfaçam continuamente as necessidades dos clientes.

Campos, 1992, define a qualidade como sendo um produto ou um serviço que atendam perfeitamente, de forma confiável, às necessidades do cliente. Com isto, verifica-se a importância de se traçar estratégias e buscar soluções para aproximar-se às necessidades requisitadas pelos clientes. Estes, cada vez mais exigentes, procuram produtos com características de qualidade cada vez superiores e que, além de um preço competitivo, demonstrem um diferencial em relação a outros produtos de mesma categoria.

Com esta busca por satisfação, interpreta-se que, independente da quantidade de produtos oferecidos por uma empresa, um simples produto que esteja não conforme as necessidades requeridas podem comprometer a confiança e a credibilidade entre fornecedor e cliente. Baseado na experiência com produtos oferecidos para empresas do ramo automotivo, é necessário buscar zero defeito, mediante inovações e soluções para problemas antes considerados de pequena importância. Isto aumenta a credibilidade da empresa junto ao cliente, intensificando a possibilidade de investimentos, por parte do mesmo, em novos produtos para empresa.

A idéia de proporcionar peças com qualidade assegurada não envolve unicamente a empresa que fabrica o produto. Segundo Isatto e Formoso, 1997, muitas causas fundamentais dos problemas de qualidade encontrados nas empresas têm origem nos seus fornecedores ou até mesmo em estágios anteriores.

## 2 OBJETIVOS

Neste trabalho serão analisados os fatores controláveis do processo de injeção para a fabricação de uma porca plástica. O objetivo deste trabalho é estudar o processo de injeção deste produto, mediante a aplicação de projeto de experimentos. Esta técnica de análise consiste em variar sistematicamente os fatores controláveis de entrada e analisar o efeito desses fatores na característica de qualidade do produto (resistência à torção). Após análise dos resultados, obter a combinação adequada dos parâmetros de processo para maximizar a resistência à torção que deve ser igual ou superior ao especificado pelo cliente.

## 3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A Valeo Sistemas Automotivos, entre seus diversos produtos, produz para a FIAT um sensor de velocidade (Figura 3.1). O sensor possui um eixo interno que, antes de ser montado, é magnetizado com pólos positivos e negativos. O campo magnético entre estes polos é detectado por um sensor hall, que indica qual a taxa de rotação deste eixo e a consequente velocidade do veículo. Este sensor é fixado utilizando uma porca plástica que, mediante o aperto, pressiona um batente metálico em um postigo de metal situado no câmbio do carro, fixando-o.

Desde meados de 2009 a produção do sensor começou a apresentar diversos problemas de qualidade. Atualmente, a principal dificuldade encontrada é a baixa resistência mecânica da porca plástica de fixação do sensor, que chega ao colapso antes de se atingir o limite mínimo de torque especificado (5Nm). No dia 21/09/2009, produziu-se uma grande quantidade de sensores com baixa resistência a torção, onde 799 quebraram ao serem fixados no carro.

Nessa ocasião, foi detectado que a matéria-prima utilizada na produção das porcas não estava conforme o especificado, causando a diminuição da resistência mecânica. Desde então, com o propósito de assegurar a qualidade exigida pelo cliente, foi criada uma ilha de trabalho (Figura 3.2), que tem a responsabilidade única e exclusiva de realizar o ensaio de torção e inspecionar 100% dos sensores já com a porca plástica montada antes do envio para o cliente. A implementação da ilha tem efeito direto sobre a produtividade e os custos de produção deste sensor de velocidade.



Porca  
plástica de fixação

Figura 3.1 – Sensor de Velocidade FIAT.

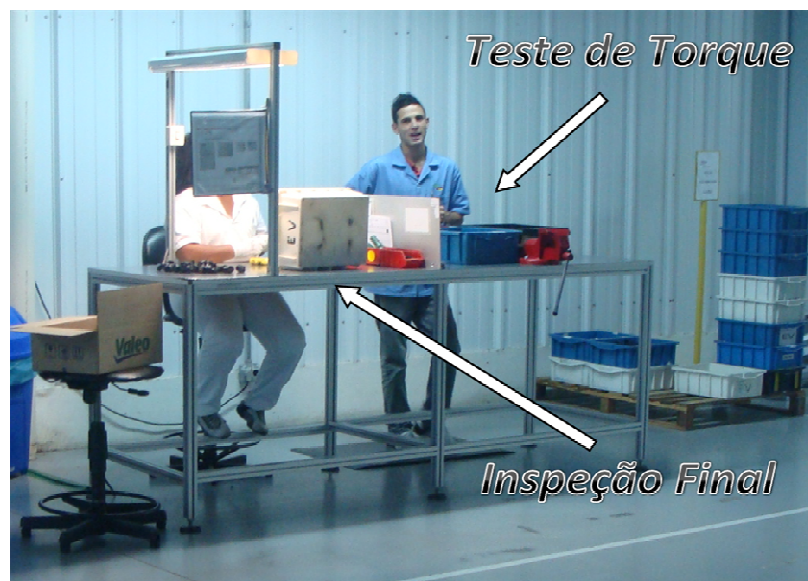


Figura 3.2 - Bancada Utilizada para Realização de Teste Final.

Após serem montados, os sensores são levados para a referida bancada de teste, onde é aplicado um torque de 6,2Nm na porca plástica mediante um torquímetro de estalo para verificar a resistência mecânica. Se qualquer dano for causado à porca, ou seja, quebra com o torque inferior ao especificado, a peça é segregada evitando o envio ao cliente.

Na Figura 3.3, mostra-se a quantidade de sensores não conformes encontrados na bancada de teste, desde sua implantação. Pode-se verificar que não houve uma solução definitiva a respeito deste problema, já que ainda é verificada a incidência de sensores não conformes. Esta contenção está garantindo até o momento que nenhum sensor não-conforme seja enviado ao cliente, mas está representando um acréscimo no custo de produção do sensor.

Dentre as possibilidades existentes para o aumento da resistência mecânica da porca plástica estão a modificação do projeto do produto, a análise e modificação do molde de injeção e a otimização dos parâmetros do processo de produção. Toda ou qualquer mudança no projeto original de um produto somente é analisada pelas montadoras se há como finalidade a redução de custos. Caso contrário, as empresas alegam que o produto foi aprovado nas condições especificadas e que a garantia de qualidade é inteiramente de responsabilidade do fornecedor.



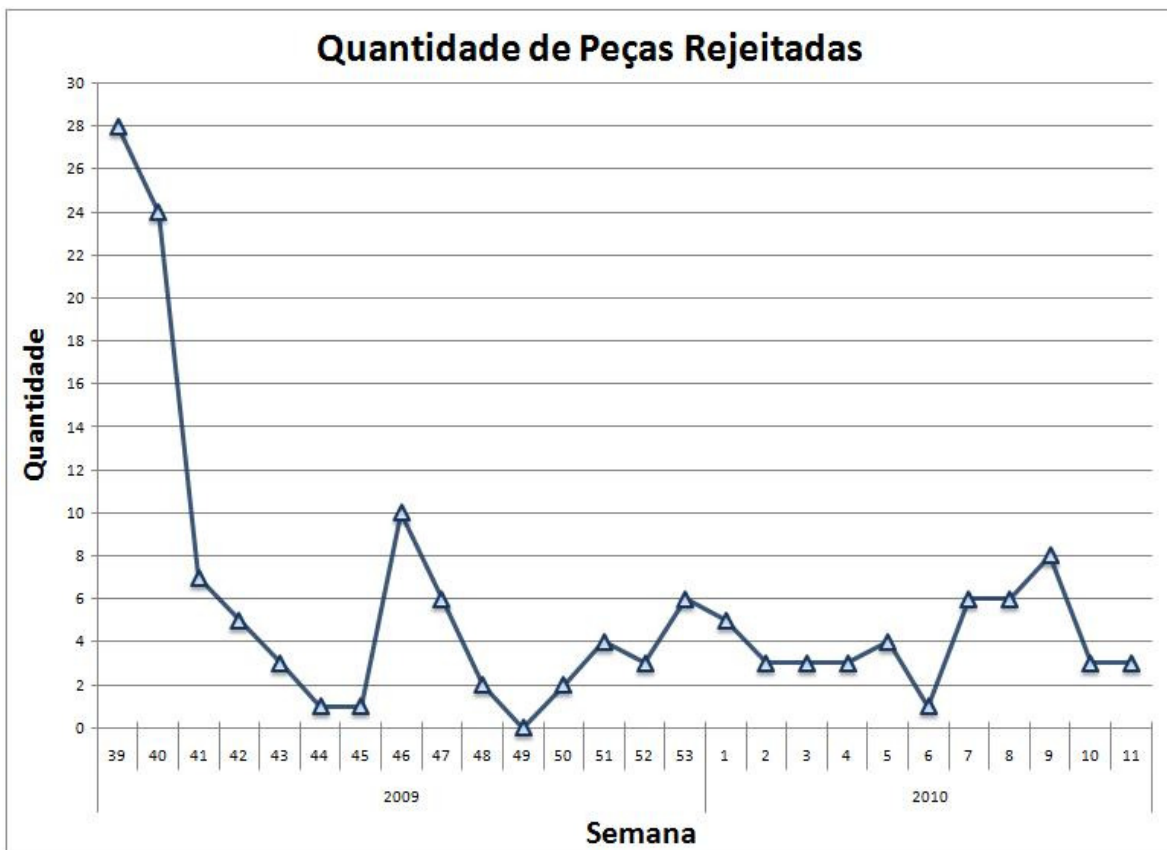


Figura 3.3 – Quantidade de sensores não-conformes em função das semanas.

Com esta visão, o presente trabalho busca aumentar a resistência à torção deste sensor tornando-o mais robusto e confiável sem a alteração de projeto. Como resultado final, pretende-se eliminar “a ilha” onde é realizada a inspeção em 100% das porcas de plásticas produzidas, reduzir o custo de fabricação adicional e manter o relacionamento de confiança e responsabilidade depositada pelo cliente no trabalho realizado pela Valeo.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Resistência Mecânica

Nas construções civis e mecânicas, diversos componentes e estruturas são exigidas de alguma forma por forças externas capazes de mudar e gerar movimentos, modificar estruturas, provocar desgastes, entre outros efeitos. Estas peças e componentes são desenvolvidos especificamente para que atendam as funções para as quais foram projetadas. Para isto, diversos estudos são realizados como, por exemplo, a verificação dos possíveis esforços que o componente sofrerá e o material na qual será construído do produto.

Os materiais possuem diversas características e propriedades que influenciam diretamente na escolha do projetista visando sua fabricação e principalmente onde será aplicado o componente. Uma transmissão mecânica possui engrenagens que devem ser produzidas, por exemplo, com um material que transmita o movimento sem grande deformação e que resista a um número mínimo de ciclos pré-projetados.

No dimensionamento de um componente mecânico é necessário considerar as forças que possivelmente serão aplicadas em seu regime de trabalho. Quando estas forças exercem uma carga em um corpo, o componente distribui estas forças em cargas transversais e axiais. A tração, a compressão e a flexão compõem as forças axiais e o cisalhamento e a torção refere-se às cargas transversais. As relações destas forças em conjunto determinam diversos fatores como as dimensões do produto, o material que será utilizado e a maneira como o mesmo será fabricado.

## 4.2 Componentes Plásticos

Os plásticos são materiais cada vez mais empregados na indústria devido à sua versatilidade, à capacidade de tomar forma e a diversas características que possibilitam aliar seu baixo custo com excelentes propriedades mecânicas. Os plásticos são constituídos por uma macromolécula chamada de polímero constituída basicamente por cadeias de carbono e hidrogênio.

Diversos setores relacionados a utilidades domésticas, brinquedos, informática, construção civil, setor automobilístico, entre outros que precisam de uma confiabilidade alta, estão utilizando este tipo de material. Na rede de automóveis, os plásticos começaram a ser empregados na década de 70. Com a crise do petróleo, as montadoras buscaram alternativas para diminuir o peso dos carros e desta forma reduzir o consumo de combustível, mas sem afetar a qualidade do produto final.

Os plásticos podem ser classificados de diversas maneiras como, por exemplo, sua natureza química, sua morfologia (amorfo e semicristalino), sua aplicação (plásticos de uso geral e plásticos de engenharia), seu comportamento mecânico, etc. Segundo Santos e Martins, 2004, as principais categorias dos polímeros são os termoplásticos, os termoendurecíveis e os elastômeros. Os termoplásticos e os termoendurecíveis são considerados plásticos, já os elastômeros ou borrachas pertencem a outro grupo de polímeros.

### 4.2.1 Principais Características

A procura por produtos mais baratos e com características mais específicas obriga a busca por diferentes tipos de materiais. Uma característica importante dos polímeros é a possibilidade de se combinar materiais poliméricos com características diferentes. Dentre as diversas características dos plásticos, seguem algumas das principais segundo Santos e Martins, 2004:

- **Massa Volúmica:** é uma característica dos materiais poliméricos possuírem uma massa volúmica baixos comparados ao aço e até mesmo ao alumínio.

- **Peso Molecular:** é uma característica muito variável, já que no processo de polimerização, não se obtêm moléculas de mesmo peso. Logo, tem-se somente um valor médio do peso molecular. Esta propriedade está relacionada diretamente com as propriedades dos polímeros, principalmente as mecânicas.

- **Cristalinidade e Amorfismo:** no estado cristalino, há um ordenamento das moléculas. Já no estado amorfo, as cadeias estão entrelaçadas e ordenadas aleatoriamente, diminuindo as propriedades mecânicas do material.

- **Características Mecânicas:** as características mecânicas dos plásticos são inconstantes, visto que diversos fatores podem influenciar esta característica. Segundo Santos e Martins, 2004, a temperatura tem influência direta no comportamento dos materiais plásticos e um mesmo material podem dar origem a valores de resistência diferentes. Esta diversidade dificulta o estudo da resistência mecânica do material, sendo curvas de tensão-deformação de difícil interpretação.

- **Características Térmicas:** é uma característica bastante variável devido a estar muito relacionada com peso e estrutura do material. Em geral, materiais em baixas temperaturas tendem a ser mais quebradiços, ou seja, mais frágeis. Já com o aumento da temperatura, há um aumento da elasticidade do material.

- **Absorção de Água:** os plásticos são sensíveis aos efeitos do ambiente. Devido ao espaço entre as cadeias de moléculas dos polímeros, as moléculas água podem entrar neste intervalo aumentando ainda mais a distância entre as cadeias de polímero. Segundo Roesler, 2007, nestas circunstâncias o comprimento da ligação intermolecular aumenta, enfraquecendo as ligações e diminuindo a resistência e a rigidez do material. Isto ocorre principalmente em poliamidas, que têm suas propriedades mecânicas afetadas devido à alta porcentagem de absorção de água. Por outro lado, a água aumenta a ductibilidade dos materiais que em temperatura ambiente seriam frágeis, como as sacolas plásticas.

#### 4.2.2 Vantagens e Desvantagens

Os materiais poliméricos são cada vez mais importantes na indústria, difundindo-se rapidamente em diversos ramos. Esta ampla difusão dos plásticos ocorre devido a diversas vantagens que os mesmos possuem comparados com materiais mais tradicionais, como aço, alumínio, cobre, etc. Segundo Santos e Martins, 2004, as vantagens e as desvantagens dos polímeros são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Vantagens e Desvantagens dos Polímeros [Santos e Martins, 2004].

<b><i>Vantagens</i></b>	<b><i>Desvantagens</i></b>
→ <i>Baixo Peso</i>	→ <i>Baixa resistência o fogo</i>
→ <i>Aparência Agradável</i>	→ <i>Baixo módulo de elasticidade</i>
→ <i>Fácil utilização</i>	→ <i>Perda de cor devido à deterioração</i>
→ <i>Resistência a Corrosão</i>	→ <i>Fraca Resistência Mecânica (em geral)</i>
→ <i>Isolante Térmico</i>	

#### 4.3 Poliamida e Fibra de Vidro

A poliamida, mais conhecida como nylon, é um termoplástico aromático e possui como principais características elevada resistência ao desgaste, ao choque e tração, resistência à fadiga e à riscagem, baixo coeficiente de atrito e são bastante higroscópicas e resistentes ao ataque químico. A principal aplicação é na fabricação de componentes de engenharia, tais como parafusos, porcas, buchas, acessórios para portas e janelas [Santos e Martins, 2004].

Dentre as desvantagens na utilização de materiais poliméricos, está a baixa resistência mecânica apresentada. A fim de melhorar a resistência mecânica ou a rigidez destes materiais, os mesmos são combinados formando compósitos. Estes compósitos modificam as características do material, melhorando e/ou piorando algumas de suas propriedades. Dentre as combinações mais comuns, a mais utilizada no ramo automotivo é a mistura de fibra de vidro. A poliamida (PA) que pode ser misturada com valores entre 10% até 50% fibra de vidro aumentando seu desempenho mecânico e térmico.

#### 4.4 Processo de Injeção e Parâmetros

Existem diversas formas de processamento de termoplásticos, tais como moldagem por extrusão, moldagem por injeção, termoformação e sopro. A moldagem por injeção consiste basicamente em aquecer o plástico (grânulos) e enquanto quente, inserir em um molde metálico a fim de moldar a peça plástica no formato desejado. Este processo pode ser utilizado para produção de peças de pequeno e grande porte, variando-se somente o tamanho dos moldes e injetoras.

Como principais características, a injeção é um processo intermitente, de alta produção e com custo de mão de obra relativamente baixo. O sistema como um todo pode ser automatizado de forma que somente um operador pode cuidar de mais de uma injetora. As peças injetadas possuem excelente acabamento superficial e o formato das peças pode ser dos mais variados.

O equipamento responsável pela injeção é dividido em unidade de injeção e unidade fixação. A unidade de injeção é responsável por fundir e repassar o polímero fundido para dentro do molde. Já a unidade de fixação é todo o sistema que abre e fecha o molde a cada ciclo de injeção. A Figura 4.1 demonstra esta divisão.

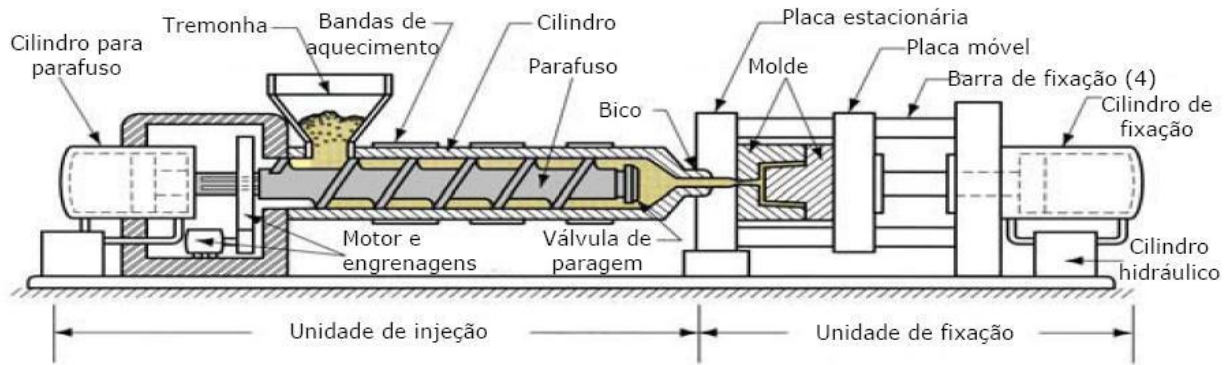


Figura 4.1 – Partes de uma Injetora.

O processo de injeção começa com a disposição do material a ser injetado no funil de alimentação (tremonha). Em seguida, o fuso desloca o polímero na direção do bico de injeção e ao longo deste caminho os aquecedores vão aumentando a temperatura do polímero até sua fusão, atingindo a temperatura adequada para injeção do polímero. O ciclo de injeção é demonstrado conforme Figura 4.2.

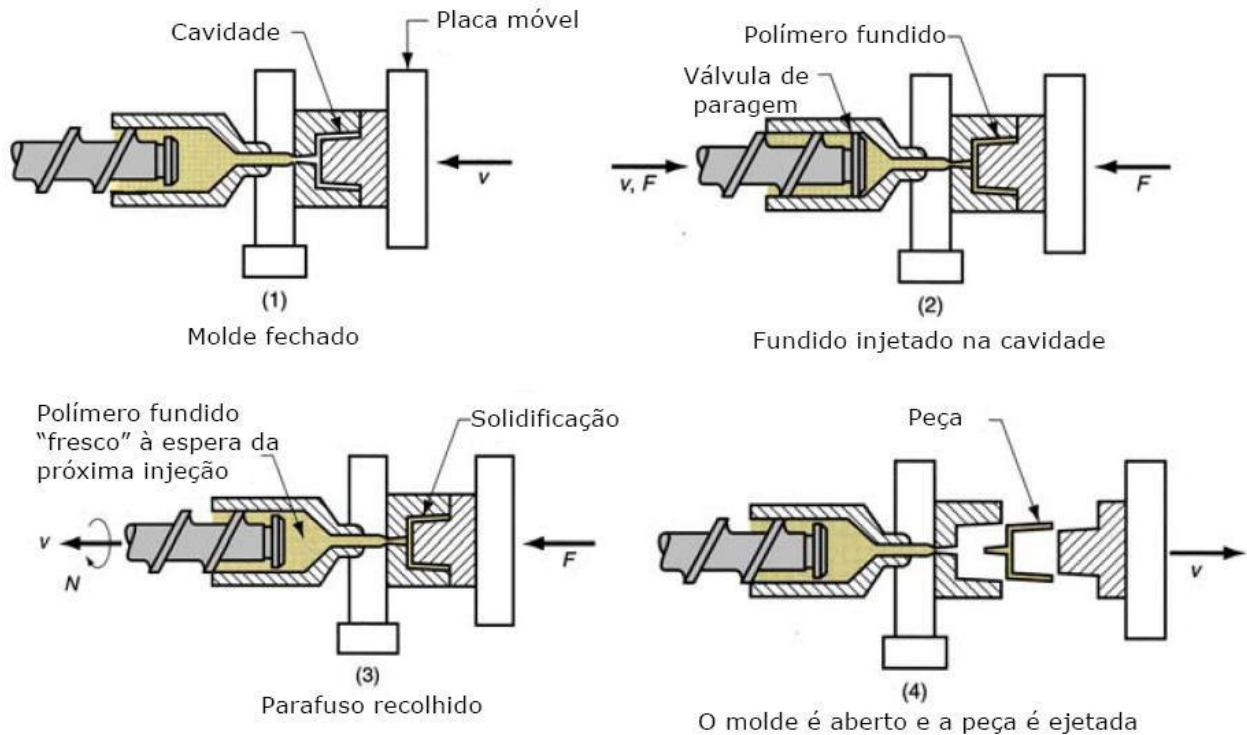


Figura 4.2 – Ciclo do Processo de Injeção.

Onde,  $v$ : avanço;  $N$ : rotação e  $F$ : força.

Na etapa 1, a parte móvel do molde fecha ficando a cavidade interna da mesma completamente vazia. Em seguida (etapa 2) com a movimentação do fuso, o fundido é injetado na cavidade do molde preenchendo-o. Seguido ao preenchimento da cavidade, ocorre a solidificação do material, e uma pressão superior (pressão de recalque) é aplicada. Este procedimento evita uma grande contração da peça e garante uma compactação adequada do material (etapa 3). Com o fuso já recolhido e a peça solidificada, o molde é aberto. Através de um pino de extração, a peça injetada e solidificada é lançada sobre uma esteira ou caixa coletora (etapa 4). Após esta etapa, o ciclo do processo se repete com o fechamento do molde e uma nova injeção.

Os parâmetros de injeção são cuidadosamente ajustados, baseando-se principalmente no tamanho e formato da peça, bem como material que será injetado. Segundo Galdamez e Carpinetti, 2004, os principais fatores do processo de moldagem plástica são:

- **Tempo de ciclo:** tempo necessário para completar o ciclo de injeção;
- **Velocidade de injeção:** é a velocidade de avanço do pistão da máquina injetora;
- **Tempo de injeção:** é o tempo que a máquina utiliza para realizar a injeção;
- **Pressão de recalque:** pressão que atua dentro do tempo de recalque. Essa operação é realizada no processo de moldagem plástica garantindo que todas as cavidades de molde sejam completamente preenchidas;
- **Tempo de recalque:** é o tempo em que a rosca fica fazendo pressão na cavidade do molde (recalque);
- **Tempo de resfriamento:** é o tempo que a máquina permanece parada e, ao mesmo tempo, água industrial ou água normal circula através do molde;
- **Temperatura do molde:** temperatura na qual o molde trabalha. Geralmente, controlado pela água que passa em dutos internos no molde.
- **Temperatura da máquina:** é a temperatura do cilindro da máquina, que determina a temperatura do material;
- **Dosagem:** quantidade de material utilizado para realizar um ciclo de produção;
- **Pressão de injeção:** é a pressão com que o material é injetado no molde.

Dependendo do tipo de peça a ser injetada, existem outros procedimentos fora do processo de injeção que também são muito importantes e devem ser controlados. Por exemplo, quando as peças necessitam passar pelo processo de hidratação, é indispensável dispor de um local com controles adequados do tempo e da temperatura de hidratação.

As poliamidas devem passar por um processo de desumidificação antes de ser injetadas para evitar a degradação. Segundo Paoli, 2008, as poliamidas ou poliésteres sofrem hidrólise na presença de ácido, base ou alta temperatura. A hidrólise consiste na reação de uma molécula de água com um determinado grupo químico ocorrendo uma quebra de ligação da cadeia e a inserção de oxigênio e hidroxila em cada um dos grupos remanescentes. Este processo causa a degradação do material injetado, ocasionando a perda das propriedades físicas do mesmo e o péssimo acabamento superficial da peça injetada.

Diversos problemas podem ser verificados devido ao incorreto ajuste nos parâmetros de máquina e fatores externos ao processo. Os principais problemas são a falha de injeção, rebarbas em regiões de fechamento de molde ou postigos, resistência da peça, dimensional incorreto entre outros.

#### 4.5 Projeto de Experimentos (DOE)

Nos últimos anos, devido a cenários cada vez mais competitivos, os experimentos utilizando a estatística como ferramenta na busca por qualidade começaram a ter uma grande importância na indústria. Em um sistema qualquer, o Projeto de Experimentos permite planejar, realizar e analisar diversos fatores. Esta ferramenta avalia de forma quantitativa a influência dos fatores selecionados sobre uma resposta de interesse, bem como as possíveis interações de uns fatores com os outros.

Segundo Neto et al, 2007, o planejamento de experimentos, ou seja, a especificação detalhada de todas as operações experimentais que devem ser realizadas, depende do objetivo particular que se quer atingir. Por exemplo, um químico com diferentes catalisadores a diferentes níveis de temperatura pode querer saber qual a combinação que lhe o melhor rendimento da solução a ser preparada. Ou ainda, querer descobrir se a troca por um catalisador mais barato não vai diminuir o rendimento da reação. Ou então, verificar até onde se podem variar os fatores sem alterar o rendimento e a qualidade da solução.

O método mais utilizado é o planejamento fatorial, onde são testadas todas as combinações de fatores. Isto permite avaliar a reação de cada fator na resposta final. Quando as variáveis são muitas é utilizado um método mais simplificado do que o fatorial completo. Pelo fato de não conhecermos a relação completa de todas as variáveis que afetam significativamente a resposta, é utilizado o método de frações meias. Este método se utiliza de todas as variáveis mas não são realizados os testes com todas as possíveis combinações.

Nesta metodologia experimental, deve-se estar ciente dos possíveis erros tanto na realização dos testes como nas medições finais. Segundo Montgomery, 2004, a exatidão das medições é um fator muito importante a ser verificado, tanto na medição das variáveis quanto

das medições dos resultados. Verificando-se isto, os instrumentos devem estar devidamente calibrados e com erro estabelecido para diminuir-se ao máximo a divergência dos resultados.

## 5 METODOLOGIA

O trabalho focará principalmente nos parâmetros controláveis do processo de injeção, a fim de analisar seus efeitos na resistência mecânica da porca plástica (característica de qualidade chave do produto). Primeiramente, será estudado todo o processo de fabricação do item, analisando-se os parâmetros controláveis e suas possíveis faixas de variação. Mediante o planejamento de experimento serão definidas as combinações entre os parâmetros, níveis alto e baixo, e a aleatorização da sequência para a realização dos ensaios. Definindo-se os ensaios a serem realizados, serão produzidas uma quantidade amostral de porcas plásticas para cada configuração de parâmetros.

Para se verificar a resposta final de cada combinação, será realizado um teste destrutivo, aplicando um torque para verificar a resistência mecânica. O torque será aplicado com um torquímetro digital e as porcas serão fixadas em um postiço (contra-peça) igual ao encontrado no câmbio dos carros da FIAT.

A partir dos resultados obtidos e avaliados, pretende-se definir a melhor combinação de parâmetros de processo para uma condição de maior resistência ao torque da porca injetada. A validação dos parâmetros otimizados a partir do projeto de experimentos, será verificada com a injeção de novas amostras com os novos valores dos parâmetros de processo. Obtendo-se a melhora, serão alterados instruções de trabalho, relatórios de inspeção e outros documentos relacionados com a produção da porca.

## 6 SITUAÇÃO ATUAL

### 6.1 Fluxo do Processo

A fabricação da porca plástica baseia-se em um processo de injeção com nylon misturado com 30% de fibra de vidro (*Technyl A216 V30*). As principais características do material podem ser vistas em laudo recebido, conforme se mostra no Anexo I, assim como os parâmetros de injeção sugeridos pelo fornecedor da matéria prima (Anexo II). Para melhor compreensão dos parâmetros de processo, na Figura 6.1 é apresentado o fluxo geral do processo de injeção desta porca.

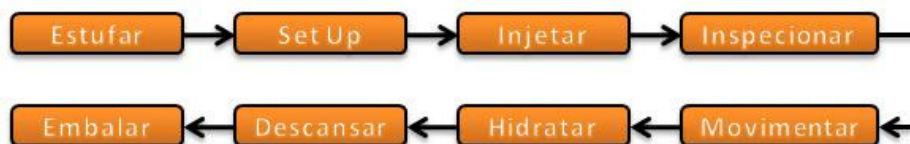


Figura 6.1 – Fluxo de Processo.

A matéria prima é recebida pelo fornecedor na área de recebimento juntamente com um laudo se verificar algumas características do material como viscosidade, teor de carga e teor de umidade. Estando estes valores dentro do especificado, a matéria prima é liberada para o armazenamento no estoque do fornecedor.

O material, antes de entrar na injetora, absorve umidade da atmosfera. Logo, deve passar por um processo de desumidificação em estufa apropriada (durante 3 horas a uma temperatura de 80°C). Na Figura 6.2, ilustra-se o desumidificador utilizado da injeção da porca.

Após desumidificação, a quantidade programada de material vai para o funil de alimentação da injetora a cada ciclo de injeção. Saindo do funil de alimentação, a poliamida é aquecida ao longo do fuso até chegar ao bico injetor. Antes do início da produção, a máquina passa pelo processo de *set up*, onde todos os parâmetros são ajustados, verificados e testados com algumas injeções preliminares. As peças preliminares de *set up* são descartadas e assim que o processo se tornar estável, a máquina é liberada para a produção. O tempo de ciclo de injeção deste item é de 20,1s. Considerando as 4 cavidades trabalhando, 12 porcas são produzidas por minuto. A Figura 6.3 mostra o molde na injetora e as cavidades da porca.



Figura 6.2 – Desumidificador do Processo de Injeção.

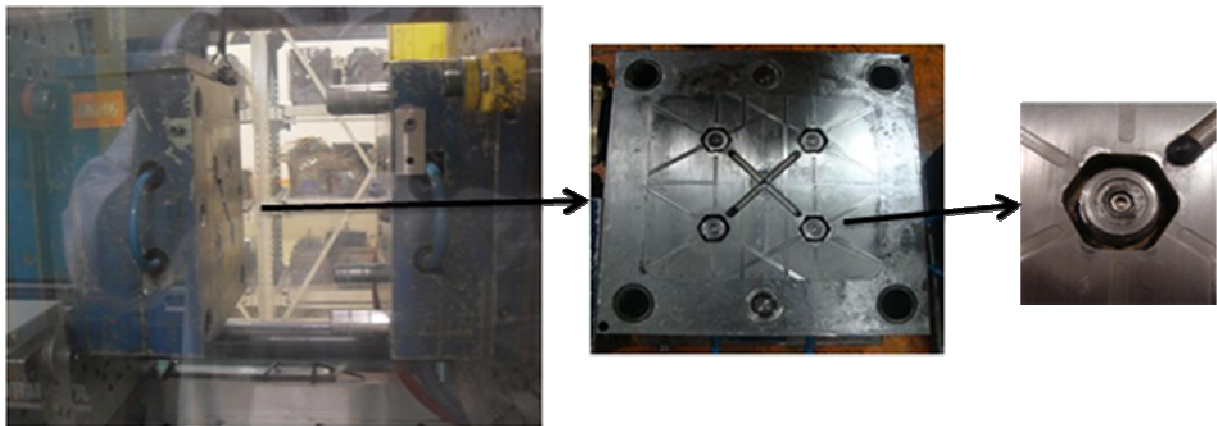


Figura 6.3 – Molde da Porca.

No fluxo do processo, após procedimento de injeção as porcas são direcionadas para a câmara de hidratação (Figura 6.4), onde permanecem durante 12 horas hidratando. Este procedimento de adição de água nos materiais plásticos segundo Roesler, 2007, aumenta sua resistência mecânica.

No processo de hidratação há um grande acúmulo de água entre as peças que é retirada após encerramento das 12h em que as peças ficam na câmara. Depois de retirado o excesso de água, as peças são direcionadas para uma área de descanso. O tempo atual de descanso das peças é de duas horas. Uma vez cumprido esse tempo, as porcas são expedidas para a Valeo de acordo com a programação da logística.



Figura 6.4 - Hidratação

## 6.2 Teste de Torque

Devido à elevada variabilidade nos valores de resistência ao torque das peças recebidas, sempre que um lote chega à empresa (Valeo), uma amostra de 1% é retirada. Nesta amostra é realizado teste destrutivo mediante a aplicação de torque para verificar a integridade e resistência da porca. O requisito para a aprovação do lote é que todos os valores de torque obtido devem ser superiores à 7Nm. Caso contrário, segrega-se o lote por completo. O torquímetro utilizado no teste de torque é um torquímetro digital da *Snap-on* (Figura 6.5), que possui exatidão de  $\pm 3\%$  em relação ao torque medido. Para realizar o teste de torque, adaptou-se uma chave de boca (Figura 6.6) na extremidade do torquímetro exatamente com a dimensão da porca (22 mm).



Figura 6.5 – Torquímetro digital da *Snap-on*.



Figura 6.6 – Dispositivo para Teste.

Devido a este aumento no braço de alavanca, todo o torque encontrado no torquímetro não corresponde ao torque real aplicado. O braço de alavanca aumenta o torque aplicado, ou seja, o valor de quebra real é maior do que o valor indicado no torquímetro. Para correção deste torque, uma empresa externa dimensionou o braço de alavanca. Como resultado, em todos os testes realizados com esta chave de boca, o torque deve ser corrigido em 16%, segundo empresa que realizou a calibração do conjunto.

O torque é realizado em um postigo (Figura 6.7), simulando onde será fixado o sensor no carro. Os postiços são fabricados em aço temperado e são fornecidos por uma empresa situada na Europa. Devido ao transporte da Europa até o Brasil ser realizado via navio, os postiços são enviados banhados em óleo, evitando-se assim a corrosão durante este trajeto. Em testes comparativos, constatou-se que as porcas que eram rosqueadas nestes postiços, comparados com postiços sem óleo, possuem uma resistência ao torque menor. Este fator é de extrema importância e deve ser verificado junto ao teste, logo, em todas as peças testadas, é inserida uma camada de óleo na região da rosca do postigo antes de ser inserida a porca para teste.

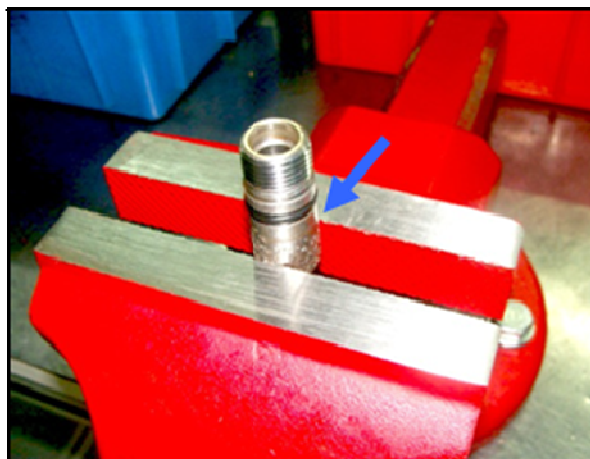


Figura 6.7 – Peça Postiça utilizada para teste.



Na Tabela 6.1, segue a média dos resultados de torque encontrados no lote recebido dia 12/04/2010. Os resultados detalhados seguem no Apêndice I.

Tabela 6.1 – Resultado dos valores do torque (Nm) para cada cavidade.

	<b>Cavidade 1</b>	<b>Cavidade 2</b>	<b>Cavidade 3</b>	<b>Cavidade 4</b>
Média	8,50	9,16	8,69	8,45
Máximo	10,58	11,48	11,17	10,01
Mínimo	7,11	7,51	7,35	6,33
Variância	0,9027	1,4200	0,9898	0,7348

O atual nível de aceitação é de, no mínimo, 7Nm de resistência ao torque. Caso contrário, a cavidade ou o lote por inteiro é segregado, dependendo da necessidade da linha de produção. O valor mínimo obtido nas peças produzidas utilizando a cavidade 4 é inferior a 7Nm como é apresentada na Tabela 6.1. Com isto, o lote não está conforme com o valor mínimo especificado para liberação. Neste caso, devido à alta necessidade da linha de produção e à falta deste item em estoque, as cavidades foram separadas, sendo utilizadas somente porcas das cavidades 1, 2 e 3 protengendo o cliente.

A elevada variabilidade no torque é devida à variação do dimensional entre as cavidades, já que todas são injetadas com os mesmos parâmetros e passam pelo mesmo processo produtivo. Devido estas diferenças, o comparativo entre os valores de torques obtidos será realizado de cavidade para cavidade para assegurar que outros fatores não influenciem no resultado final.

## 7 OTIMIZAÇÃO

### 7.1 Variáveis

Em um sistema, os dados de entrada sofrem um processo de transformação, tendo-se os resultados de saída. Segundo Montgomery, 2004, um sistema possui os seguintes termos:

- **Variáveis de resposta:** aspectos do produto que podem ser medidos e que permitem quantificar as características de qualidade.

- **Parâmetros do processo:** todas as variáveis da linha de produção que podem ser alteradas e que causam um efeito sobre as variáveis de resposta.

- **Fatores controláveis:** é um subconjunto dos parâmetros do processo; são aqueles parâmetros do processo que são escolhidos para serem estudados a vários níveis no experimento. Os parâmetros de injeção são exemplos claros de fatores que podem ser modificados e ajustados conforme necessidade requerida pela peça injetada.

- **Fatores constantes:** são os parâmetros do processo que não entram no experimento e que são mantidos constantes durante o experimento.

- **Fatores não controláveis (Ruído):** são as variáveis que não podem ser controladas pela equipe técnica. São responsáveis pelo erro experimental (variabilidade).

Analisando-se o processo de injeção estudado, têm-se os seguintes fatores não controláveis:

- as condições de umidade e temperatura ambiente;
- a viscosidade da matéria prima;
- o teor de carga;
- o teor de umidade.

Todos eles podem apresentar variabilidade de lote para lote conforme a faixa de aceitação tolerável. Estes fatores não serão levados em consideração ao longo do teste, mas a fim de minimizar a influência dos mesmos, todos os testes serão realizados com o mesmo lote de matéria prima.

A variável de resposta escolhida é a resistência da porca estudada. Esta resistência pode ser influenciada por dezenas de fatores que, ao serem discriminados, podem conduzir a um elevado número de testes, tornando totalmente inviável a realização devido ao alto custo. Com

base na experiência dos supervisores de processo e segundo Galdamez e Carpinetti, 2004, os fatores controláveis que serão variados e estudados ao longo do trabalho são:

- temperatura do molde,
- pressão de injeção,
- tempo de hidratação,
- tempo de descanso,
- tempo de recalque, e
- velocidade de injeção da peça.

Na Tabela 7.1 são apresentados os valores dos parâmetros utilizados atualmente no processo.

Tabela 7.1 – Parâmetros utilizados.

Temperatura do Molde	Pressão de injeção	Tempo de Hidratação	Tempo de Descanso	Tempo de Recalque	Velocidade de Injeção
60°C	600 bar	12 horas	2 horas	1s	50cm <sup>3</sup> /s

Avaliando-se as fichas de processo e com a experiência dos programadores de máquina, foram definidos os níveis alto e baixo para cada fator a ser avaliado, como se apresenta na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Níveis alto e baixo para fator controlável.

Nível	Temperatura do Molde	Pressão de injeção	Tempo de Hidratação	Tempo de Descanso	Tempo de Recalque	Velocidade de Injeção
+	65°C	600 bar	12 horas	3 dias	4s	80cm <sup>3</sup> /s
-	25°C	400 bar	0 hora	0 dia	0,25s	50cm <sup>3</sup> /s

## 7.2 Primeiros Testes

Segundo Neto et al, 2007, para evitar que desvios atípicos sejam obrigatoriamente associados a determinadas combinações de níveis, é necessário realizar os experimentos em ordem aleatória, evitando a ocorrência de distorções estatísticas. Depois da determinação das combinações dos parâmetros para realização dos testes e discussão com os responsáveis pela injeção do produto, foi verificado que a aleatoriedade total dos testes aumentaria muito o tempo de injeção das amostras.

Antes da injeção das peças, os parâmetros foram analisados em conjunto para verificar a melhor distribuição dos testes. Fatores como pressão de injeção, tempo de recalque e velocidade de injeção, são fatores de fácil modificação alterando-se somente a programação da máquina, assim como os fatores relacionados ao tempo de hidratação e tempo de descanso que nada interferem no tempo de máquina.

O maior problema encontrado foi com relação à temperatura do molde. Esta temperatura é regulada com a passagem de água na região interna do molde, sendo totalmente inviável a alteração desta temperatura a cada teste devido ao tempo de estabilização necessário. Devido a isto, os testes foram realizados em dois blocos conforme segue na Tabela 7.3.

Estes blocos foram divididos de acordo com a temperatura do molde, ou seja, nos primeiros testes a temperatura do molde ficou em 25°C. Nos oito últimos testes a temperatura do molde foi estabilizada em 65°C. O tempo de estabilização entre os testes foi de 3 minutos e entre os dois blocos, quando da troca da temperatura do molde, foi de 20 minutos.

Em suma, a produção de amostras decorreu da seguinte forma:

- ajuste dos parâmetros de máquina e estabilização da temperatura do molde em 25°C;
- injetadas 10 amostras de cada uma das 8 combinações apresentadas variando-se somente os parâmetros pressão de injeção, tempo de recalque e velocidade de injeção;
- troca da temperatura do molde para 65°C e aguardo da estabilização;

- injetadas mais 10 amostras de cada uma dos 8 combinações variando-se somente os parâmetros de injeção;
- os testes de torque foram realizados com o mesmo posição e torquímetro utilizados para os testes de liberação na inspeção de recebimento (mesma situação de uso na FIAT), para resguardar a real condição de uso no sensor ao ser montado;
- envio dos testes que necessitavam de hidratação para a câmara de hidratação.

Tabela 7.3 – Tabela da relação dos testes realizados.

Ordem dos Testes	Temperatura do Molde (°C)	Pressão de injeção (bar)	Tempo de Hidratação (horas)	Tempo de Descanso (dias)	Tempo de Recalque (s)	Velocidade de Injeção (cm <sup>3</sup> /s)
1	25	400	12	3	4	50
2	25	600	12	0	0,25	50
3	25	400	12	0	4	80
4	25	600	12	3	0,25	80
5	25	400	0	0	0,25	50
6	25	600	0	3	4	50
7	25	400	0	3	0,25	80
8	25	600	0	0	4	80
9	65	400	12	3	0,25	50
10	65	600	12	0	4	50
11	65	400	12	0	0,25	80
12	65	600	12	3	4	80
13	65	400	0	0	4	50
14	65	600	0	3	0,25	50
15	65	400	0	3	4	80
16	65	600	0	0	0,25	80

Ao longo da realização testes, verificaram-se alguns pontos que poderiam influenciar o resultado final dos testes. Dentre os principais indicativos de erros, têm-se os testes que precisavam de hidratação, já que foram encaminhados todos juntos para a câmara de hidratação. Nestes testes ainda houve algumas diferenças a respeito dos tempos de descanso, ou seja, devido à ordem de injeção conforme Tabela 7.3, algumas peças ficaram mais tempo em descanso do que outras.

### 7.3 Resultados

Uma vez que todas as peças foram injetadas, foi realizado o teste destrutivo para verificar o valor do torque da porca plástica injetada no experimento. Os resultados detalhados encontram-se no Apêndice II, mas a Tabela 7.4 resume esses resultados por meio das médias aritméticas dos valores encontrados.

Tabela 7.4 – Média aritmética das amostras de cada cavidade (Nm).

Teste	Cav. 1	Cav. 2	Cav. 3	Cav. 4	Teste	Cav. 1	Cav. 2	Cav. 3	Cav. 4
1	7.85	8.12	8.02	7.18	9	8.94	8.12	8.02	7.18
2	7.53	7.91	6.73	6.70	10	5.98	7.91	6.73	6.70
3	7.28	7.98	7.53	8.05	11	6.86	7.98	7.53	8.05
4	8.91	9.87	8.99	8.49	12	9.05	9.87	8.99	8.49
5	5.01	4.72	4.07	4.34	13	7.23	4.72	4.07	4.34
6	6.84	7.86	7.33	6.78	14	7.93	7.86	7.33	6.78
7	6.30	7.21	6.81	6.26	15	5.89	7.21	6.81	6.26
8	5.84	7.14	7.07	6.34	16	7.05	7.14	7.07	6.34

Baseado nestes resultados de torque, utilizou-se o software *Minitab@ 15* para auxiliar na realização do DOE e verificar a significância ou não dos fatores controláveis estudados na resistência à torção da porca plástica. Na Figura 7.1 são apresentados os efeitos padronizados obtidos como resultados das análises para cada cavidade.

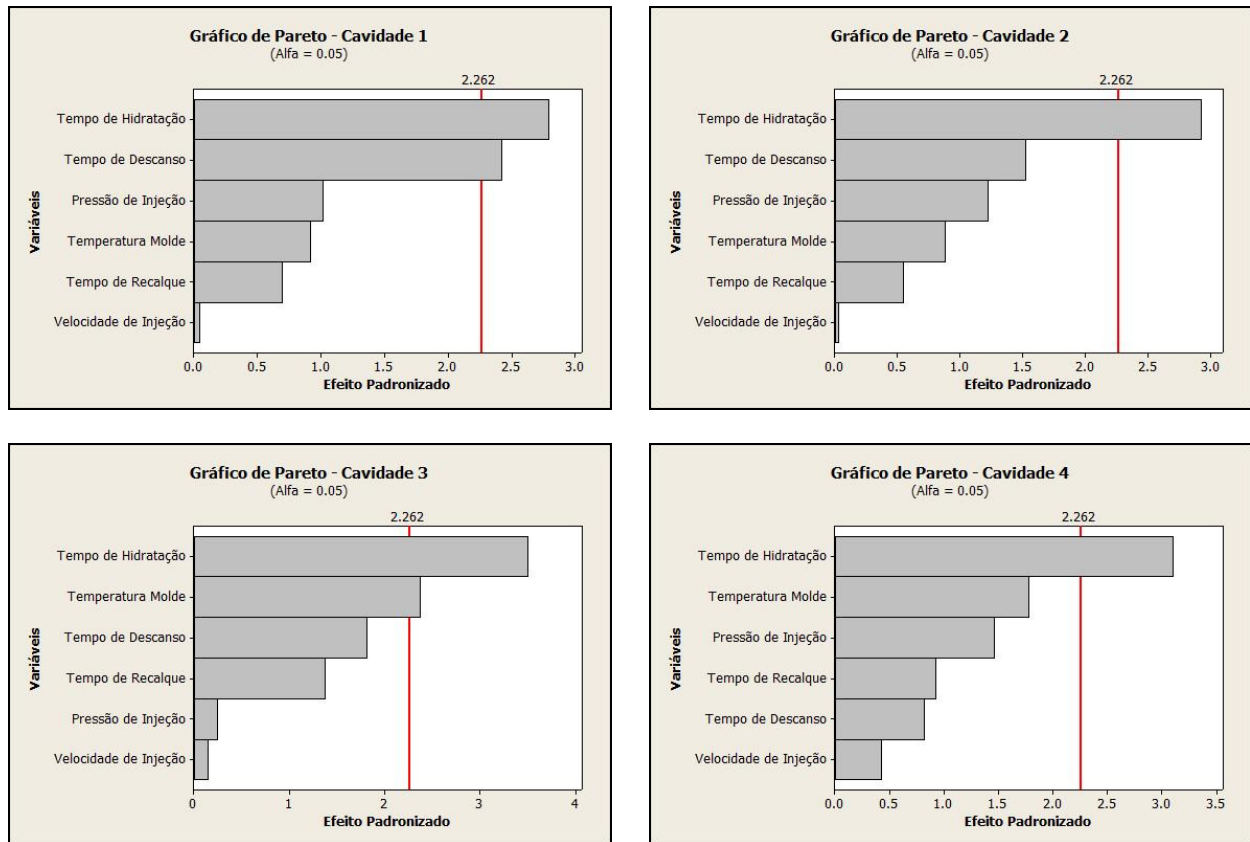


Figura 7.1 – Gráficos de Pareto do Efeito Padronizado em cada cavidade.

A linha vertical vermelha indica o nível de significância (alfa = 0,05), ou seja, qualquer fator que estiver em um nível superior a este é considerado significativo. Analisando-se os gráficos, verificou-se que o tempo de hidratação é significativo para todas as cavidades, o tempo de descanso da peça é significativo para a cavidade 1 e a temperatura do molde é significativa para a cavidade 3. Também, verificou-se que as variações da velocidade de injeção e do tempo de recalque não causam uma grande variação no torque final, ou seja, são fatores que praticamente não afetam a resistência à torção da porca em comparação com os outros fatores estudados.

Os gráficos da Figura 7.1 demonstram os principais efeitos sobre a resistência ao torque da porca. Para confirmar estes dados, realizou-se uma análise da variância (ANOVA) dos fatores controláveis para cada cavidade tendo-se como resultados a Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Análise da Variância (ANOVA) dos fatores controláveis para cada cavidade.

<b>Cavidade 1</b>					
<b>Fonte de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Média dos Quadrados</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Temperatura do Molde	1	0,714	0,714	0,84	0,384
Pressão de Injeção	1	0,881	0,881	1,03	0,336
Tempo de Hidratação	1	6,641	6,641	7,78	<b>0,021</b>
Tempo de Descanso	1	4,999	4,999	5,85	<b>0,039</b>
Tempo de Recalque	1	0,409	0,409	0,48	0,506
Velocidade de Injeção	1	0,001	0,001	0,00	0,970
Erro	9	7,687	0,854		

<b>Cavidade 2</b>					
<b>Fonte de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Média dos Quadrados</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Temperatura do Molde	1	0,808	0,808	0,77	0,403
Pressão de Injeção	1	1,546	1,546	1,48	0,255
Tempo de Hidratação	1	8,941	8,941	8,54	<b>0,017</b>
Tempo de Descanso	1	2,408	2,408	2,30	0,164
Tempo de Recalque	1	0,308	0,308	0,29	0,601
Velocidade de Injeção	1	0,000	0,000	0,00	0,984
Erro	9	9,423	1,047		

<b>Cavidade 3</b>					
<b>Fonte de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Média dos Quadrados</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Temperatura do Molde	1	7,150	7,150	5,60	<b>0,042</b>
Pressão de Injeção	1	0,072	0,072	0,06	0,818
Tempo de Hidratação	1	15,607	15,607	12,22	<b>0,007</b>
Tempo de Descanso	1	4,166	4,166	3,26	0,104
Tempo de Recalque	1	2,405	2,405	1,88	0,203
Velocidade de Injeção	1	0,027	0,027	0,02	0,888
Erro	9	11,493	1,277		

<b>Cavidade 4</b>					
<b>Fonte de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Média dos Quadrados</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Temperatura do Molde	1	3,070	3,070	3,17	0,109
Pressão de Injeção	1	2,054	2,054	2,12	0,179
Tempo de Hidratação	1	9,338	9,338	9,64	<b>0,013</b>
Tempo de Descanso	1	0,643	0,643	0,66	0,436
Tempo de Recalque	1	0,831	0,831	0,86	0,378
Velocidade de Injeção	1	0,169	0,169	0,18	0,685
Erro	9	8,721	0,969		

Na Análise de Variância (ANOVA) dos fatores controláveis, para cada cavidade, obtiveram-se os mesmos resultados que os encontrados no gráfico de pareto. Para um nível de significância de 5%, tem-se que todos os fatores que possuem probabilidade inferior a este valor ( $p < 0,05$ ) são significativos, ou seja, os valores representados na Tabela 7.5 em vermelho.

No Apêndice III, é demonstrada a variação de cada fator positiva como negativamente no resultado final. Os gráficos são lineares porque cada fator controlável foi variado em dois níveis. Com base nestes gráficos, utilizou-se o software *Minitab® 15* para se definir a equação linear para cada cavidade, resultando-se na Equação 7.1.

$$\text{Torque (Nm)} = a + b*TM + c*PI + d*TH + e*TD + f*TR + g*VI \quad (7.1)$$

Onde, *TM*: Temperatura do Molde ( $25 < TM < 65$ ); *PI*: Pressão de Injeção ( $400 < PI < 600$ ); *TH*: Tempo de Hidratação ( $0 < TH < 12$ ); *TD*: Tempo de Descanso ( $0 < TD < 3$ ); *TR*: Tempo de Recalque ( $0,25 < TR < 4$ ); *VI*: Velocidade de Injeção ( $50 < VI < 80$ ) e *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* são coeficientes de acordo com a cavidade avaliada. Para cada cavidade os coeficientes são diferentes conforme pode ser visto na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 – Coeficientes da Equação (7.1) do Torque para cada cavidade.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>g</b>
<b>Cavidade 1</b>	4,521760	0,010569	0,002347	0,107376	0,372663	-0,085271	-0,000592
<b>Cavidade 2</b>	4,448820	0,011235	0,003109	0,124590	0,258627	0,073962	0,000359
<b>Cavidade 3</b>	3,779390	0,033424	0,000673	0,164606	0,340175	0,206757	0,002746
<b>Cavidade 4</b>	3,650180	0,021904	0,003583	0,127328	0,133737	0,121581	-0,006868

Com o auxílio dos gráficos do Apêndice III, para cada fator se obteve os pontos máximos e mínimos de resistência encontrada. Com isto, verificou-se qual dos dois níveis testados a porca obteve a maior resistência à torção, ou seja, identificaram-se os pontos máximos de cada fator. Os fatores colocados nestes níveis maximizam a resistência à torção da porca, otimizando-se o processo. Como resultado desta otimização, a melhor combinação de fatores controláveis seria conforme Tabela 7.7.

Tabela 7.7 – Parâmetros Ótimos Determinados.

Temperatura do Molde	Pressão de injeção	Tempo de Hidratação	Tempo de Descanso	Tempo de Recalque	Velocidade de Injeção
65°C	600 bar	12 horas	3 dias	4s	50cm <sup>3</sup> /s

Utilizando-se os parâmetros da Tabela 7.7 no ajuste do processo de injeção, foram injetadas amostras para verificar e confirmar o comportamento da resistência á torção da porca plástica. Os valores de torque obtidos no teste das porcas injetadas a partir dos parâmetros da Tabela 7.7, são apresentados na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 – Resultados Torque com Parâmetros Otimizados.

<b>Amostra</b>	<b>Cavidade 1</b>	<b>Cavidade 2</b>	<b>Cavidade 3</b>	<b>Cavidade 4</b>
1	10,45	9,52	8,63	8,25
2	9,63	10,47	10,63	8,53
3	8,63	8,63	9,14	9,62
4	9,68	9,53	8,50	9,89
5	8,43	8,54	10,57	7,69
6	9,36	9,42	10,42	8,63
7	8,53	8,67	9,65	9,63
8	9,59	10,34	10,56	8,63
9	9,34	9,64	9,42	9,57
10	10,56	8,69	8,97	9,78
<b>Média</b>	<b>9,42</b>	<b>9,35</b>	<b>9,73</b>	<b>9,02</b>
<b>Máximo</b>	<b>10,56</b>	<b>10,47</b>	<b>10,63</b>	<b>9,89</b>
<b>Mínimo</b>	<b>8,43</b>	<b>8,54</b>	<b>8,50</b>	<b>7,69</b>
<b>Variância</b>	<b>0,5453</b>	<b>0,4952</b>	<b>0,7296</b>	<b>0,5861</b>

#### 7.4 Análise Dimensional

Em todos os testes realizados, foi evidenciada uma diferença na resistência da porca em cada cavidade. Com isso decidiu-se verificar o porquê desta diferença entre cavidades. Para isto, devem ser avaliadas as dimensões internas do molde, principalmente o diâmetro e localização dos canais de injeção. Estes, sendo diferentes, influem na velocidade e consequente compactação do material injetado em cada cavidade. Outro ponto importante a ser analisado para esta diferença no torque é verificar o dimensional das porcas já injetadas, evidenciando possíveis diferenças dimensionais entre posições e cavidades.

Entre estas duas situações, decidiu-se realizar uma avaliação preliminar no dimensional das peças nas 4 cavidades. Foi realizado um controle dimensional completo na peça, sendo as principais dimensões as indicadas na Figura 7.2. O controle dimensional foi realizado utilizando-se um paquímetro digital (resolução de 0,01mm), um calibre passa - não passa e para algumas medidas específicas, foi utilizada uma Máquina de Medição por Coordenadas ou Tridimensional.

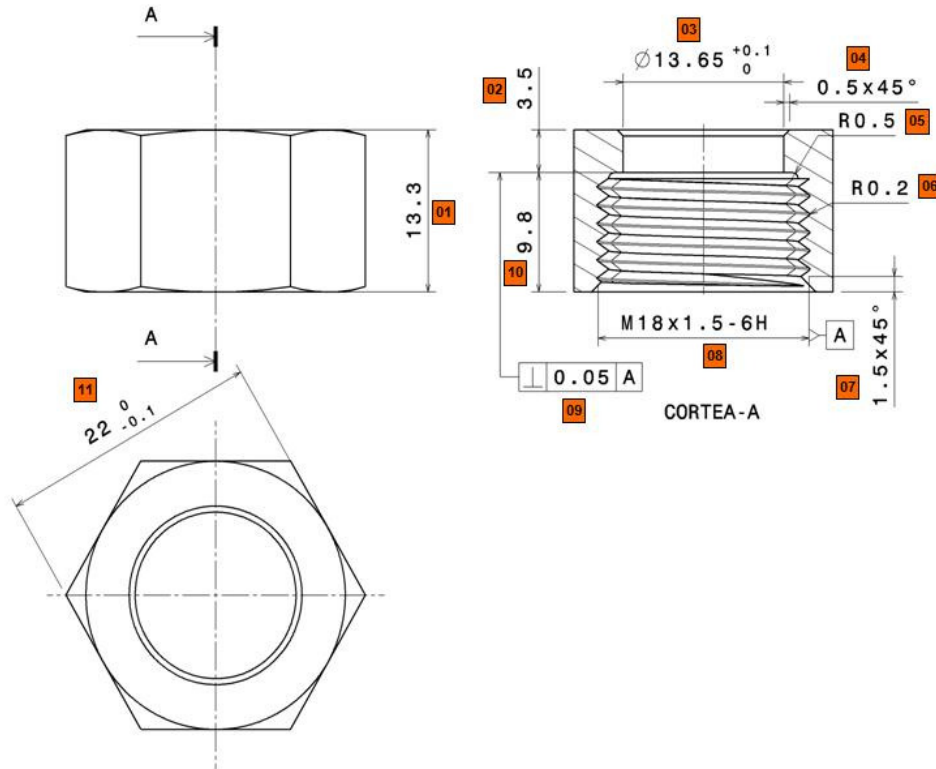


Figura 7.2 – Desenho da Porca.

O resultado do controle dimensional é apresentado no Apêndice IV. Em discussão com os engenheiros responsáveis pelo produto, verificaram-se as cotas capazes de influenciar na resistência da porca. As principais são as cotas **2** (altura da região superior da porca responsável por suportar a força de aperto), **5** (raio a fim de evitar canto vivo e propagação de trincas), **6** (raio do vale da rosca, evitar canto vivo e propagação de trincas) e **8** (dimensão da rosca).

## 8 RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÃO

Nos resultados dos testes de torque, cada fator afetou de uma forma o resultado final e de uma maneira diferente para cada cavidade, uns positivos e outros negativamente de acordo com sua variação. A otimização realizada, mediante a variação sistemática dos fatores controláveis estudados, melhorou sensivelmente os valores de torque obtidos (Tabela 8.1). As cavidades 1 e 3 foram as que obtiveram um melhor resultado, com aproximadamente 10% de aumento na resistência à torção. Na cavidade 2, a melhora foi menos significativa, com aumento de 2,0% na resistência ao torque. A cavidade 4, considerada a pior cavidade, obteve melhora de 6,8%.

Outra questão importante foi verificada que na cavidade 3, a temperatura do molde foi significativa na alteração da resistência à torção. Um motivo para a ocorrência deste fato pode ser uma deficiência na passagem de água para refrigeração do molde. Este fluxo de água, responsável por manter a temperatura do molde, pode não estar transferindo calor de forma uniforme para todas as cavidades, isto devido ao desgaste ou obstrução do canal de refrigeração do molde. Estas situações foram verificadas e não foi constatada nenhuma anormalidade, não confirmando esta hipótese levantada.

Tabela 8.1 – Resultados

	<i>Média do Torque (Nm)</i>			
	<b>Cavidade 1</b>	<b>Cavidade 2</b>	<b>Cavidade 3</b>	<b>Cavidade 4</b>
Antes	8,496	9,159	8,694	8,448
Otimizado	9,420	9,345	9,726	9,022
% Aumento	10,87%	2,03%	11,86%	6,80%

Durante o teste de torção das porcas, verificou-se uma diferença na forma como as peças falhavam. As porcas que passaram pelo processo de hidratação, obtiveram, em sua maioria, a fratura dos filetes da rosca, ou seja, a porca simplesmente espanava. Quando não espanavam, as porcas tinham uma deformação muito grande antes da quebra (Figura 8.1). Já as peças que não passaram pelo processo de hidratação obtiveram uma quebra frágil, praticamente sem deformação, conforme Figura 8.2.

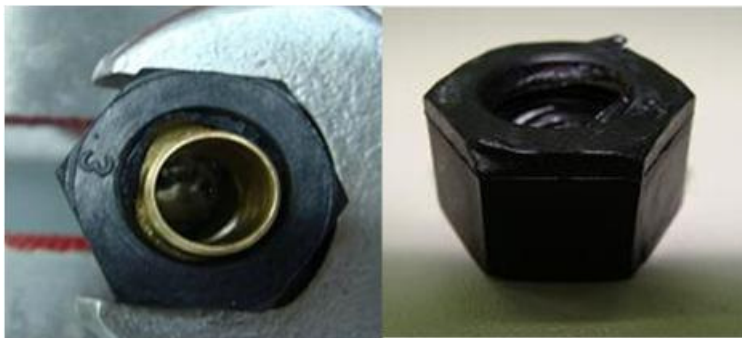


Figura 8.1 - Porca deformada e quebra dúctil.



Figura 8.2 – Quebra Frágil.

Analisando-se a posição da trinca após o teste, exceto para as peças que espanaram a rosca, em aproximadamente 90% das peças, a trinca se propagou exatamente na linha de fechamento do molde. Esta linha coincide com o raio interno da porca (cota 5 da Figura 7.2). Este ponto é exatamente onde o batente metálico exerce força axial na região superior da porca durante o aperto. Isto evidencia a importância do raio no último filete da rosca assim como a linha originada pela posição de fechamento do molde. A Figura 8.3 mostra em detalhe um corte longitudinal da região de contato da porca, do batente metálico e corpo do sensor. Nos outros 10%, a trinca se propagou no centro da peça, tendo como origem o fundo do filete da rosca.

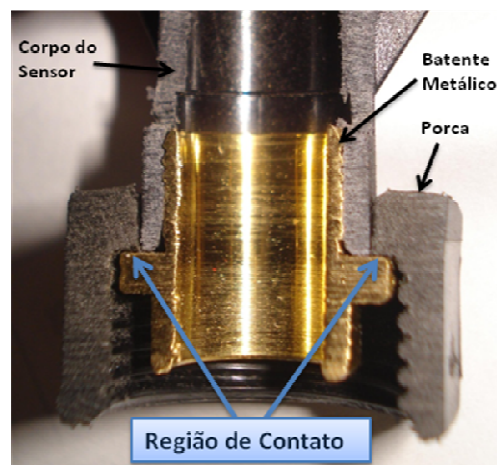


Figura 8.3 – Vista em Corte do Sensor.

No estudo do dimensional das peças, verificaram-se algumas diferenças nas dimensões encontradas em cada cavidade. A espessura da parede (cota número 2), a cavidade 2 possui a



maior espessura. A cavidade 1 possui a menor dimensão e, segundo desenho, fora do especificado. Esta parede, estando com menor espessura, contribui para que a cavidade 1 resista menos que as demais.

O raio no final da rosca (cota número 5) é crítico quanto ao início e propagação de trincas. Comparando-se as cavidades em relação a este raio, a cavidade 3 é a que possui o maior raio e a cavidade 2 que possui o menor raio, mas que a diferença entre elas foi no máximo de 0,06mm. Vale salientar que, no resultado do dimensional, em todas as cavidades esta cota está acima do especificado em desenho (0,5mm).

O raio no fundo da rosca (cota 6) tem a mesma criticidade quanto ao início de trincas. No comparativo, a cavidade 2 possui o maior raio e a cavidade 4 o menor raio, com uma diferença de 15% entre as cavidades. Isto contribui para que a cavidade 4 tenha uma menor resistência quando da aplicação do torque.

A cota 8 é relacionada com a rosca M18 x 1,5 e foi verificada com um calibre passa - não passa. Todas as cavidades foram aprovadas, exceto a cavidade 1. Nesta cavidade, o calibre indicou que os diâmetros da rosca interna estão abaixo do especificado. Isto causa um aumento na resistência da porca, gerada por um aumento no atrito entre a porca e o posticho.

## 9 CONCLUSÃO

O desenvolvimento e resultados deste trabalho contribuem para o aumento do conhecimento do processo de injeção de plásticos em moldes, da metodologia do Projeto de Experimentos bem como a sua aplicação na fase de testes a moldes para injeção de plásticos.

Com os seis fatores controláveis realizou-se uma análise de variância (ANOVA), com o objetivo de verificar qual a importância de cada um para a variação da resposta escolhida (resistência à torção). Apesar da aplicação do Projeto de Experimentos serem iterativa, nesta primeira fase, os resultados obtidos permitiram concluir que o método pode ser aplicado com sucesso para realizar a otimização paramétrica com a finalidade de melhorar a resistência à torção da porca plástica injetada em moldes.

Esperava-se encontrar uma condição que gerasse uma segurança suficiente para a retirada do teste 100% realizado ao final da linha. Com os resultados encontrados, a inspeção final não será retirada e novos fatores devem ser avaliados, buscando-se, além da melhoria contínua neste produto, segurança suficiente para retirar este acréscimo de custo na produção do produto. De qualquer forma, com o trabalho, alguns fatores controláveis foram melhorados, como o tempo de recalque e o tempo de descanso das peças após hidratação, ou seja, fatores que contribuem para resistência da porca, mas que não estavam no seu melhor ajuste.

As melhorias realizadas devem ser respeitadas pelo fornecedor, principalmente relacionadas aos tempos de execução de cada tarefa. Como já evidenciado, a tempo em que a peça fica na câmara de hidratação afeta diretamente a resistência final da porca. Este tempo deve ser devidamente controlado e respeitado, caso contrário, resulta em uma produção com qualidade deficiente não obedecendo ao padrão mínimo de aceitação de qualidade do produto.

A diferença dos resultados entre as cavidades foi verificada no estudo dimensional realizado. Este estudo será levado em consideração quando da produção de novos postichos para o molde. Será verificado com maior precisão, qual posticho deve ser considerado o de referência para se obter uma constância no torque de todas as 4 cavidades. Estes pontos foram discutidos durante o trabalho e evidenciados no resultado de torque e comparação entre os dimensionais, mas devem ser mais detalhados com o aumento na quantidade de testes, principalmente com valores intermediários, verificando-se a possível não linearidade entre os níveis altos e baixos de cada fator.

Em suma, a diversidade de problemas encontrados diariamente na indústria nos encoraja a conhecer e a procurar novas ferramentas que visem facilitar e melhorar a busca por novas soluções. Neste trabalho não se tinha claramente quais fatores realmente influenciavam o resultado final de qualidade do produto. Utilizando-se a ferramenta DOE, pode-se verificar, entre os fatores controláveis estudados, que a hidratação tem efeito significativo sobre a variável do processo estudado: resistência à torção.

Todos os estudos realizados, desde conhecer todo o processo produtivo até a forma como a ferramenta DOE e a estatística utilizam as informações para a solução de problemas foi de grande valia. Todo este conhecimento adquirido no trabalho será difundido dentro da

empresa visando melhorar a qualidade das peças hoje recebidas e principalmente, as enviadas para nosso cliente final.

## 10 PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

No âmbito do projeto e análise de experimento aplicado ao processo de injeção de plástico, pode-se afirmar que há ainda um longo caminho a percorrer e muitas mais conclusões concretas a encontrar, pois cada cavidade é um molde único. Seguem algumas sugestões para próximos trabalhos;

- aplicar de forma iterativa o projeto de experimentos, adicionando-se pontos centrais entre os níveis altos e baixo já testados.

- encontrar uma forma computacional de aplicar no processo de injeção de forma a permitir menos tempo de ocupação da máquina, ou seja, realizar mais testes em diferentes moldes num curto espaço de tempo.

- realizar uma análise mais criteriosa em *Mold Flow* para investigar o correto posicionamento dos canais de resfriamento do molde para que a temperatura fique distribuída de forma uniforme em todas as cavidades do mesmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, S.; **“Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma”**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

Azeredo, M.B.V.; Silva, S.S. **“Análise da Influência das Variáveis do Processo de Injeção de Plásticos na Temperatura do Material Fundido utilizando Planejamento de Experimentos”**. Rio de Janeiro, 2001.

Bom, R.P.; Kalnin, A.F.; **“Determinação da redução da resistência à tração em corpo de prova com *Weld Line*”**. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC – Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, 2007.

Campos, V. F.; **“TQC: Controle de Qualidade Total (No estilo Japonês)”**, Bloch Editora, RJ, 1992.

Cracknell, P.S.; Dyson R.W.; **“Handbook of Thermoplastics Injection Mould Design”**. Blackie Academic & Professional, First Edition 1993.

Galdamez, E.V.C.; Carpinetti, L.C.R.; **“Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica”**. *Gest. Prod.* [online]. Vol.11, n.1, pp. 121-134, ISSN 0104-530X, 2004.

Isatto, E.L.; Formoso, C.T.; **“As relações de Parceria entre Empresas e Fornecedores e a Qualidade Total: Relevância e Viabilidade”**. Núcleo Orientado Para a Inovação da Edificação (NORIE) – CPGEC – UFRGS, Porto Alegre, 1997.

Montgomery, D.C., **“Design and Analysis of Experiments”** (6<sup>th</sup> Ed.), John Wiley & Sons, 2004.

Neto, B.B.; Scarmino, I. S.; Bruns, R.R.; **“Como fazer Experimentos”**. Unicamp, 2007.

Paoli, M.A.D., **“Degradação e Estabilização de Polímeros”**, 2<sup>a</sup> versão on-line, Editora Chemkeys, 2008.

Quickplast, **“O trunfo do plástico no setor automobilístico”**, [http://www.pecasplasticas.com/artigos\\_newsletter\\_otriunfodoplastico.asp](http://www.pecasplasticas.com/artigos_newsletter_otriunfodoplastico.asp). Acessado em 23 de Abril de 2010.

Roesler, J.; Harders, H.; Baeker, M.; **“Mechanical Behavior of Engineering Materials”**. Editora Springer, 2007.

Rodrigues, L. S.; **“Modelo de Aplicação de Ferramentas de Projeto Integradas ao Longo das Faces de Desenvolvimento de Produto”**. Dissertação UFRGS, Porto Alegre 2008.

Salada, M.O.S; **“O Gerenciamento da Rotina através do método de estabilização de Processos”**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Porto Alegre 2002.

Santos, R., Martins, J.G., **“Materiais de Construção - Plásticos”**, 1<sup>a</sup> Edição, 2004.

## ANEXO I – CERTIFICADO DE ANÁLISE



Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda.

ced: 0030

Cliente: 2002451 SIEG PLASTICOS LTDA  
CGC: 08.112.622/0001-13

Recebedor: 2002451 SIEG PLASTICOS LTDA  
CGC: 08.112.622/0001-13

Local de Fabricação ou Expedição  
São Bernardo USBC

**Certificado de Análise**

Data de entrega  
11.08.2009

Pedido Cliente  
orb - 845842

Remessa  
81321025

Pedido  
850142

Material : 46920 TECHNYL A 218 V30 PRETO 34NG 25KG /B

Lote Material : 104998

Quantidade : 1.000 KG

Data Produção : 05.08.2009

Característica	Método	Unidade	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Resultado
Teor de Umidade	DCA3J030	%	-	0,20	0,09
Teor de Carga	DCA3J219	%	28,0	32,0	29,0
Cor	DCA3J213	-	Conforme		Conforme
Granulometria	DCA3J208	-	-	-	Conforme
Índice de Viscosidade	DCA3J220	ml/g	130,00	140,00	133,60

**Observações:**

Desde que a embalagem esteja selada e não danificada, a validade da característica umidade será de meses.



Tamiris  
13.08.09

Departamento : Controle Analítico

Telefone: (11) 4358 - 7710

## ANEXO II – DATASHEET MATÉRIA PRIMA RHODIA

**Description**

Polyamide 66, reinforced with 30% of glass fiber for injection molding.

**Applications**

TECHNYL A 216 V30 GRY is used in all sectors of industry, offering good mechanical strength, low warpage, good surface aspect & heat resistance.

This grade is widely used for

-

This product is available in Natural, Black, Gray & Red color. (Other colors will be discussed)

**Processing**

The material is supplied in airtight bags, ready for use. In the case that the virgin material has absorbed moisture, it must be dried to a final moisture content less than 0.2% with a dehumidified air drying equipment at approx. 80°C

Recommended moulding conditions:

- Barrel temperatures : - feed zone                    275°C
- compression zone        285°C
- front zone                    290°C
- Mould temperatures:                                    80°C

For more detailed information, please refer to the technical sheet "Injection moulding".

**Safety**

Please refer Safety Data Sheet for TECHNYL® A 216 V30. Please contact your sales representative.



Engineering Plastics

CHALLENGING BOUNDARIES 

## ANEXO II – DATASHEET MATÉRIA PRIMA RHODIA

**TECHNYL® A 216 V30**

\* This values of properties for natural grade

Properties	Standards	Unit	Values	
			d.a.m.*	Cond.**
<b>Physical</b>				
Moisture absorption (24h at 23°C)	ISO 62	%	-	
Specific gravity	ISO 1183	-	1.38	
Mould shrinkage (flow)	Rhodia-EP	%	0.3-0.6	
Mould shrinkage (transverse)	Rhodia-EP	%	0.5-0.9	
<b>Mechanical</b>				
Tensile strength at yield	ASTM D638	MPa	1950	
Elongation at break	ASTM D638	%	2	
Flexural stress at break	ASTM D790	MPa	270	
Flexural modulus	ASTM D790	MPa	9100	
Izod notched impact strength	ASTM D256	J/m	120	
Rockwell hardness	ASTM D786	R scale	121	
<b>Flammability</b>				
Flammability (3.2mm)	UL94	-	HB	
<b>Thermal</b>				
Melting point	ASTM D3418	°C	260	
Heat Deflection Temperature 4.6kgf* *	ASTM D648	°C	255	
Heat Deflection Temperature 18.6kgf* *	ASTM D648	°C	250	
Coefficient of linear thermal expansion	ASTM D696	10 <sup>-5</sup> , °C	-	
Flammability	UL 94		HB	
<b>Electrical</b>				
Dielectric strength	ASTM D149	kV/mm	-	
Dissipation factor 1MHz	ASTM D150	-	-	
Volume resistivity	ASTM D257	E14,ohm.cm	-	
Arc resistance (tungsten electrode)	ASTM D495	Second	-	
<b>Special</b>				

Identification code

»PAG6+GF30«

The information contained in this document is supplied in good faith. It is based on the extent of our knowledge of the products as listed, and on the tests and experiments carried out in our laboratories. It is to be used only as an indication and shall not be construed in any way as a formal commitment or warranty on our part. Compliance of our products with your conditions of application or use can only be determined pursuant to your own prior appropriate test. The listed values of properties are for natural grade, if not otherwise specified.

\* d.a.m = Dry As Moulded.

\*\* Cond. = conditioned according ISO 1110.



Polyamide

3rd Fl., Kangnam B/D, 1321-1, Seocho-Dong, Seocho-Gu, Seoul, 131-070 KOREA  
 Telephone: +82 (2)21 86 25 00 Fax: +82 (2) 34 74 73 63

## APÊNDICE I - RESULTADO TESTE TORQUE ATUAL

Resultados Torque - 12/04/2010								
Nº Amostra	Cavidade	Torque (Nm)	Cavidade	Torque (Nm)	Cavidade	Torque (Nm)	Cavidade	Torque (Nm)
1	1	9,802	2	7,9692	3	8,7812	4	7,6908
2	1	8,2708	2	8,6536	3	7,946	4	7,8532
3	1	7,3544	2	10,8228	3	9,28	4	7,482
4	1	8,7464	2	11,484	3	10,5908	4	8,7696
5	1	7,8068	2	10,7996	3	11,1708	4	9,4772
6	1	9,9064	2	8,3404	3	9,2336	4	7,6908
7	1	7,4936	2	8,8856	3	7,3544	4	8,12
8	1	8,874	2	9,106	3	8,758	4	8,7696
9	1	7,6096	2	10,8344	3	10,382	4	9,2104
10	1	7,9368	2	10,1384	3	9,9528	4	9,1988
11	1	9,0944	2	8,7812	3	7,9344	4	7,9344
12	1	10,1384	2	7,5052	3	7,714	4	8,0504
13	1	8,5492	2	9,7904	3	8,9784	4	9,0712
14	1	10,5792	2	9,744	3	8,2824	4	8,874
15	1	8,5144	2	10,2892	3	8,3752	4	8,874
16	1	7,366	2	9,4424	3	8,062	4	6,3336
17	1	8,7928	2	10,9156	3	7,4124	4	8,5724
18	1	7,366	2	8,8624	3	8,062	4	7,8648
19	1	7,1108	2	7,5052	3	8,3868	4	9,164
20	1	8,7464	2	7,714	3	9,0944	4	8,7348
21	1	7,6212	2	8,0388	3	7,946	4	6,844
22	1	9,2568	2	8,3868	3	8,0968	4	8,2708
23	1	7,946	2	8,0852	3	8,1084	4	10,0108
24	1	8,8624	2	8,3172	3	8,12	4	9,2568
25	1	8,6652	2	8,5724	3	9,338	4	9,0712

Valores em verde, destacam valores bons de torque (>10Nm), valores em laranja, destacam valores aceitáveis de torque (7Nm>Torque>10Nm) e valores em vermelho são considerados ruins, com alto risco para o cliente. Neste lote em questão, verificou-se que a cavidade 4 possuía um torque inferior ao das demais cavidades.

## APÊNDICE II – RESULTADO TESTE TORQUE (Nm)

<b>Cavidade 1</b>								
<b>Amostra</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>	<b>Teste 3</b>	<b>Teste 4</b>	<b>Teste 5</b>	<b>Teste 6</b>	<b>Teste 7</b>	<b>Teste 8</b>
1	8,62	6,57	6,78	8,98	5,40	6,78	6,37	6,33
2	7,24	7,18	7,34	8,94	5,58	7,41	6,40	5,23
3	8,02	7,77	6,44	8,18	4,62	7,98	5,81	5,83
4	7,41	7,23	8,10	8,41	4,54	6,22	6,33	5,47
5	7,87	8,98	7,26	9,13	4,77	6,78	6,38	5,87
6	7,65	6,65	6,15	9,85	4,67	7,30	6,41	5,94
7	8,06	7,19	7,37	8,19	4,94	6,84	5,93	5,40
8	8,57	7,79	8,79	9,30	5,02	6,13	6,69	6,00
9	7,94	8,01	8,19	9,12	4,96	5,57	6,92	6,27
10	7,16	7,87	6,35	8,99	5,59	7,41	5,73	6,01
<b>Média</b>	<b>7,85</b>	<b>7,53</b>	<b>7,28</b>	<b>8,91</b>	<b>5,01</b>	<b>6,84</b>	<b>6,30</b>	<b>5,84</b>
<b>Amostra</b>	<b>Teste 9</b>	<b>Teste 10</b>	<b>Teste 11</b>	<b>Teste 12</b>	<b>Teste 13</b>	<b>Teste 14</b>	<b>Teste 15</b>	<b>Teste 16</b>
1	8,98	6,49	8,71	8,98	6,32	8,84	6,35	7,63
2	9,21	5,66	7,24	8,70	6,49	8,29	5,77	7,81
3	9,74	6,42	6,28	9,65	8,38	7,54	5,91	7,31
4	9,04	6,39	6,92	9,08	7,60	9,53	5,43	6,71
5	8,41	6,40	7,31	9,04	6,40	7,74	5,60	5,82
6	8,88	5,08	6,99	9,74	8,14	7,24	5,90	8,16
7	9,08	6,43	6,23	9,07	7,25	6,39	6,49	6,40
8	8,38	5,55	6,04	8,29	7,59	8,21	6,40	6,43
9	8,13	6,57	6,81	8,95	7,02	8,84	5,40	7,52
10	9,55	4,83	6,10	8,98	7,11	6,68	5,68	6,66
<b>Média</b>	<b>8,94</b>	<b>5,98</b>	<b>6,86</b>	<b>9,05</b>	<b>7,23</b>	<b>7,93</b>	<b>5,89</b>	<b>7,05</b>

<b>Cavidade 2</b>								
<b>Amostra</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>	<b>Teste 3</b>	<b>Teste 4</b>	<b>Teste 5</b>	<b>Teste 6</b>	<b>Teste 7</b>	<b>Teste 8</b>
1	9,43	6,21	8,09	12,36	4,39	8,28	7,45	6,29
2	7,25	7,03	6,49	10,12	4,93	6,89	9,14	5,97
3	7,25	8,39	9,23	9,42	5,22	8,70	6,77	6,91
4	9,07	7,66	8,88	7,43	4,90	7,33	8,36	7,86
5	8,34	7,32	7,17	9,90	4,56	7,98	5,23	8,17
6	6,53	8,61	8,38	9,82	5,26	8,03	6,05	8,13
7	7,25	8,10	9,04	9,81	4,35	7,75	7,45	7,54
8	7,61	9,72	7,25	9,28	4,64	8,09	7,11	6,32
9	9,43	7,17	7,81	9,70	4,04	7,98	8,12	6,66
10	9,07	8,88	7,46	10,85	4,93	7,52	6,43	7,54
<b>Média</b>	<b>8,12</b>	<b>7,91</b>	<b>7,98</b>	<b>9,87</b>	<b>4,72</b>	<b>7,86</b>	<b>7,21</b>	<b>7,14</b>
<b>Amostra</b>	<b>Teste 9</b>	<b>Teste 10</b>	<b>Teste 11</b>	<b>Teste 12</b>	<b>Teste 13</b>	<b>Teste 14</b>	<b>Teste 15</b>	<b>Teste 16</b>
1	9,67	8,95	7,25	10,83	9,21	8,15	6,74	8,22
2	9,19	8,09	7,34	8,70	7,74	9,87	7,54	6,74
3	10,64	9,21	9,07	8,28	8,70	9,89	7,26	6,77
4	10,51	8,28	8,28	10,88	7,33	7,00	6,49	7,42
5	9,65	9,28	7,34	10,01	7,45	6,25	5,73	6,77
6	10,66	9,21	7,98	7,83	9,19	6,80	5,80	7,42
7	8,36	7,42	5,80	7,79	10,64	6,15	5,69	7,25
8	9,73	7,34	8,34	9,14	8,36	6,10	5,80	7,95
9	9,13	7,43	6,19	9,21	8,30	8,11	6,38	7,74
10	8,13	8,25	7,61	9,99	9,21	5,95	6,43	6,45
<b>Média</b>	<b>9,57</b>	<b>8,35</b>	<b>7,52</b>	<b>9,27</b>	<b>8,61</b>	<b>7,43</b>	<b>6,39</b>	<b>7,27</b>

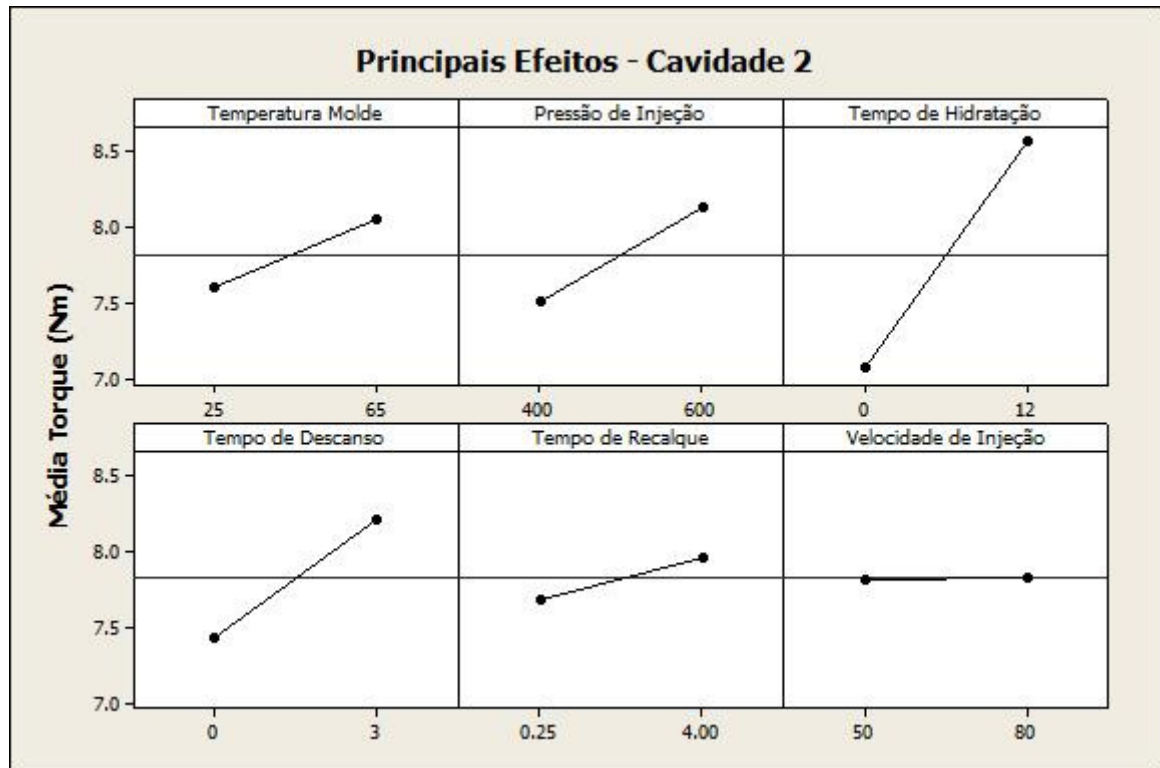
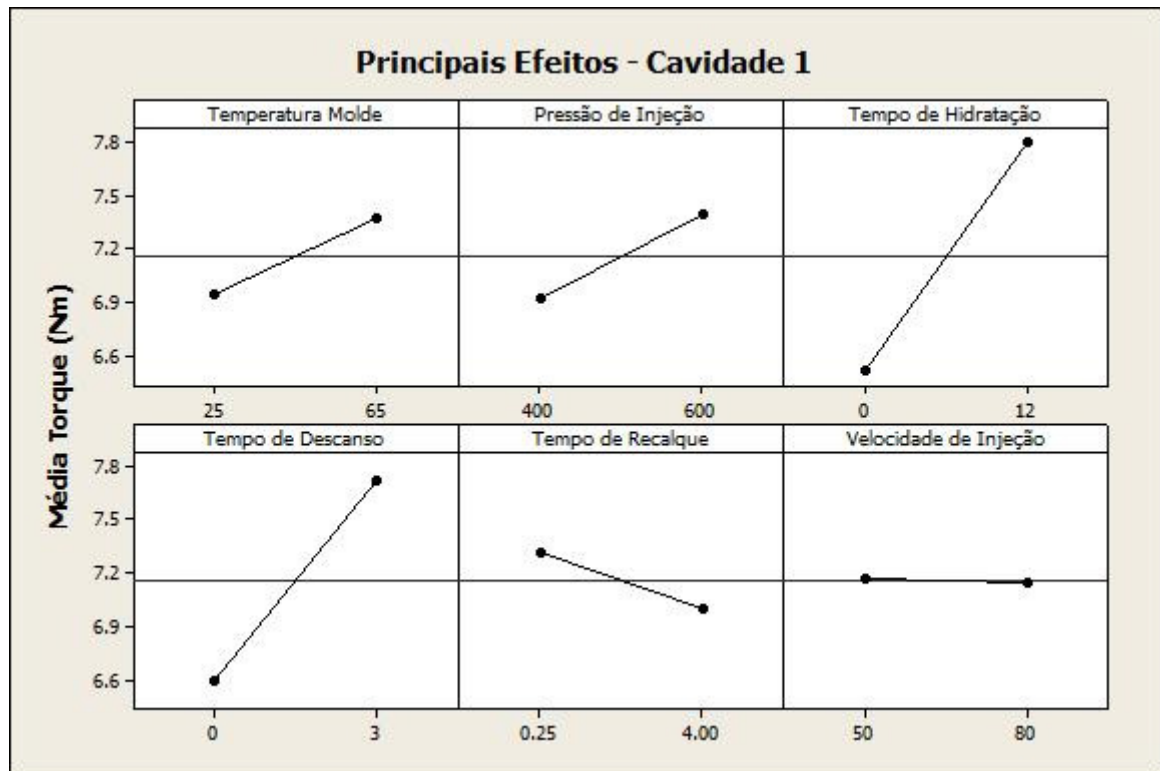


## APÊNDICE II – RESULTADO TESTE TORQUE (Nm)

Cavidade 3								
Amostra	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
1	6,53	5,05	7,74	8,80	3,48	6,53	6,77	7,25
2	7,98	6,20	8,95	8,63	4,06	9,07	6,09	6,29
3	8,70	6,12	5,56	7,67	4,30	8,19	7,07	8,17
4	6,40	6,94	7,97	8,60	4,45	6,89	5,82	6,29
5	6,43	7,94	7,05	8,83	4,64	7,38	5,31	7,54
6	9,43	7,35	7,73	10,38	3,52	8,10	6,77	7,17
7	8,34	7,11	6,77	9,18	4,63	6,89	6,25	6,91
8	8,70	6,15	7,71	6,88	4,35	7,34	9,14	6,29
9	8,34	7,10	7,74	10,61	3,52	6,53	6,77	8,17
10	9,33	7,34	8,11	10,29	3,77	6,36	8,12	6,60
<b>Média</b>	<b>8,02</b>	<b>6,73</b>	<b>7,53</b>	<b>8,99</b>	<b>4,07</b>	<b>7,33</b>	<b>6,81</b>	<b>7,07</b>
Amostra	Teste 9	Teste 10	Teste 11	Teste 12	Teste 13	Teste 14	Teste 15	Teste 16
1	10,64	8,70	8,70	7,83	7,85	8,26	6,96	5,55
2	9,67	8,19	9,74	9,57	9,67	6,29	6,49	5,30
3	11,59	9,15	6,34	10,44	7,44	7,45	8,12	5,01
4	10,39	9,28	7,98	10,57	10,64	6,45	7,54	7,25
5	11,60	8,98	8,34	11,75	7,11	7,21	6,15	5,37
6	10,64	9,04	7,00	11,31	9,19	8,01	6,96	6,14
7	10,58	8,10	9,14	10,40	7,74	5,96	5,86	6,77
8	10,68	10,40	9,43	10,44	10,15	6,19	6,38	6,29
9	11,62	8,22	8,70	10,01	8,22	5,67	7,34	5,73
10	10,15	9,60	9,07	11,23	10,49	6,92	6,90	8,10
<b>Média</b>	<b>10,76</b>	<b>8,97</b>	<b>8,44</b>	<b>10,36</b>	<b>8,85</b>	<b>6,84</b>	<b>6,87</b>	<b>6,15</b>

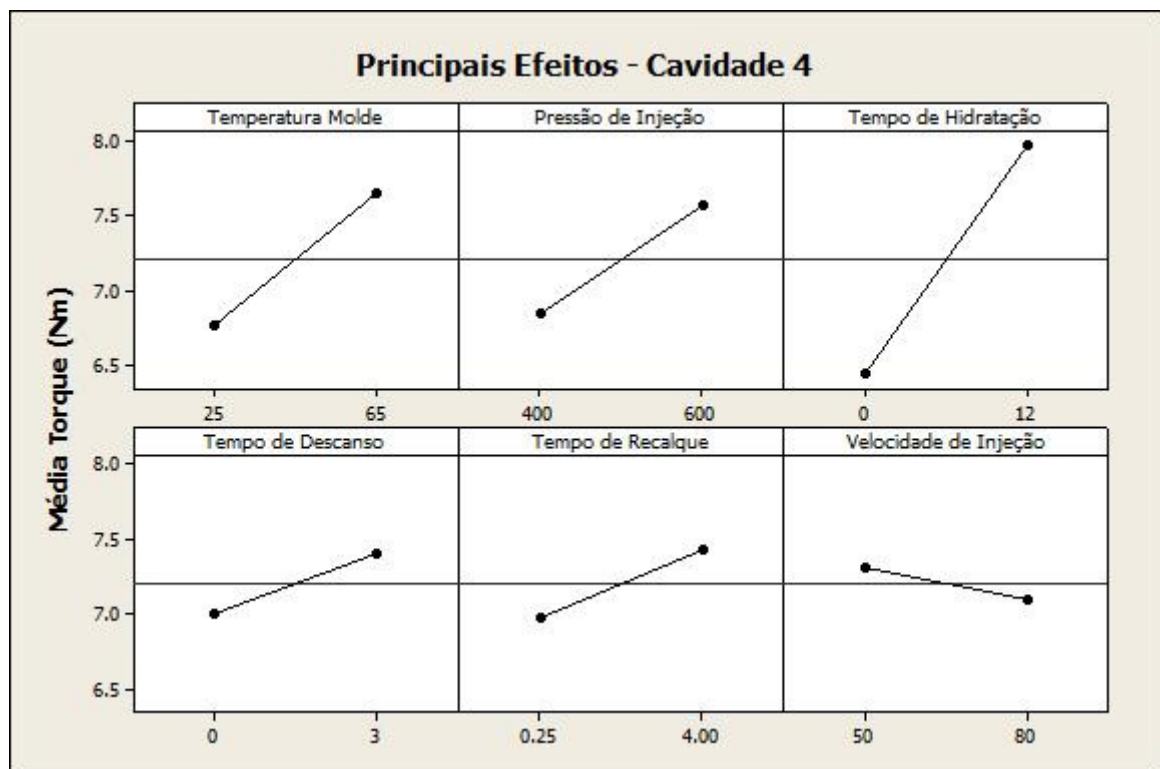
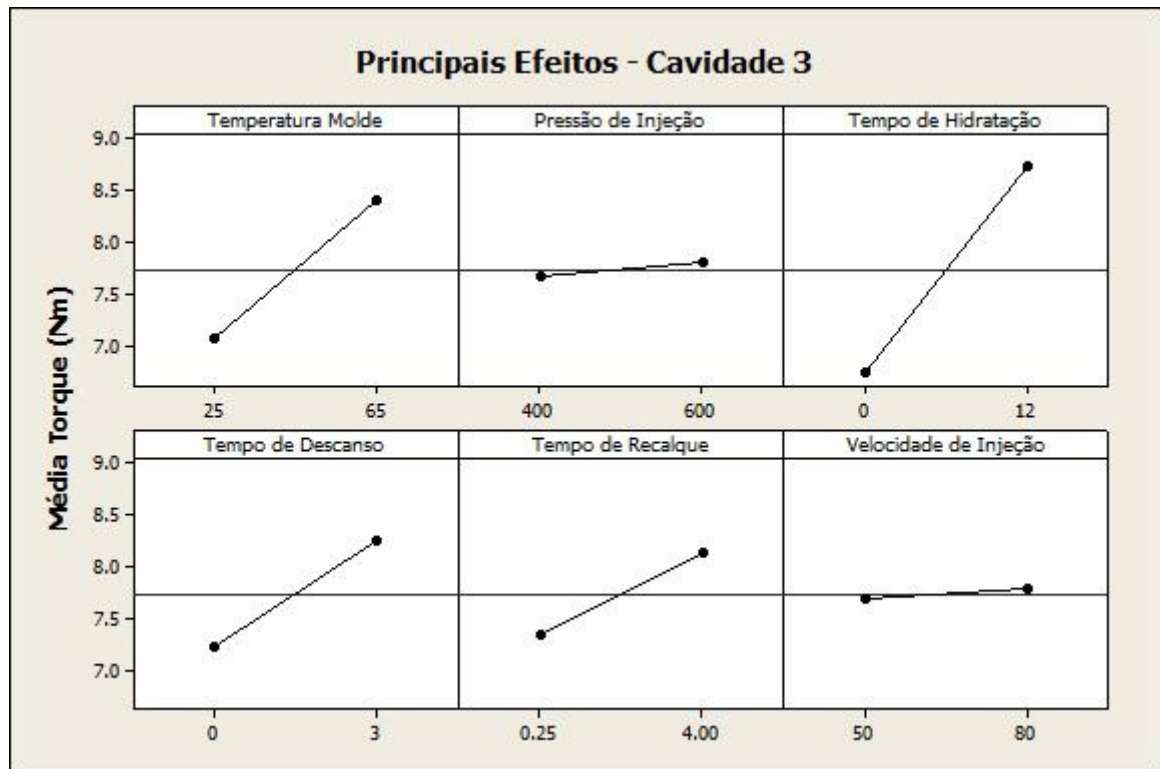
Cavidade 4								
Amostra	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
1	7,92	6,72	8,19	8,89	3,98	8,08	6,33	6,06
2	6,91	6,36	7,28	8,26	4,61	7,34	5,72	5,33
3	6,30	5,88	8,89	8,98	4,05	6,15	5,69	6,40
4	7,17	6,19	8,98	9,55	4,88	6,93	6,32	5,46
5	7,99	7,15	9,73	8,98	3,80	6,02	6,39	6,07
6	6,93	7,19	8,28	7,51	3,64	6,78	5,80	7,25
7	6,85	6,58	6,92	8,23	3,88	7,94	4,60	6,44
8	8,06	6,47	8,98	8,94	4,02	6,13	7,47	7,09
9	6,87	7,26	6,16	7,58	5,55	6,85	6,81	6,00
10	6,78	7,18	7,10	7,96	4,94	5,60	7,45	7,25
<b>Média</b>	<b>7,18</b>	<b>6,70</b>	<b>8,05</b>	<b>8,49</b>	<b>4,34</b>	<b>6,78</b>	<b>6,26</b>	<b>6,34</b>
Amostra	Teste 9	Teste 10	Teste 11	Teste 12	Teste 13	Teste 14	Teste 15	Teste 16
1	9,04	9,00	8,05	9,26	9,21	6,69	5,33	5,73
2	8,20	9,51	6,99	8,37	9,65	7,31	5,03	7,31
3	7,56	8,94	7,38	9,05	6,72	8,30	4,89	8,19
4	8,88	9,56	6,29	9,29	5,90	6,49	5,88	4,82
5	9,07	8,94	6,14	8,13	7,96	7,37	5,28	6,26
6	9,83	10,69	6,86	8,96	6,93	8,23	6,10	7,34
7	8,36	8,54	8,08	7,56	7,17	7,41	5,60	6,44
8	8,69	8,86	7,62	8,70	9,21	10,54	5,40	5,77
9	8,90	7,89	6,21	8,89	9,42	8,94	4,62	7,09
10	8,13	9,02	5,53	8,30	7,11	6,47	6,24	7,76
<b>Média</b>	<b>8,66</b>	<b>9,10</b>	<b>6,91</b>	<b>8,65</b>	<b>7,93</b>	<b>7,78</b>	<b>5,44</b>	<b>6,67</b>

## APÊNDICE III – EFEITOS DOS PARÂMETROS x CAVIDADE



Sendo, temperatura do molde em [°C], pressão de injeção em [bar], tempo de hidratação em [horas], tempo de descanso em [dias], tempo de recalque em [segundos] e velocidade de injeção em [cm<sup>3</sup>/s].

## APÊNDICE III – EFEITOS DOS PARÂMETROS x CAVIDADE



Sendo, temperatura do molde em [°C], pressão de injeção em [bar], tempo de hidratação em [horas], tempo de descanso em [dias], tempo de recalque em [segundos] e velocidade de injeção em [cm<sup>3</sup>/s].

## APÊNDICE IV – DIMENSIONAL DA PORCA

<b>Cavidade 1</b>											
Item	Medida Especificada	Tolerâncias	Descrição	Equipamento	Resultados da medições					Ok	Not Ok
1	13.300	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	13.421	13.404	13.413	13.418	13.409		X
2	3.500	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	3.393	3.398	3.401	3.403	3.396		X
3	13.650	+ 0.100 - 0.000	Diametro	Paquímetro	13.740	13.720	13.730	13.720	13.740	X	
4	0,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 201	Chanfro	Tridimensional	0,48 x 44°58'	0,44 x 45°10'	0,45 x 45°19'	0,44 x 44°47'	0,44 x 44°52'	X	
5	0.500	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67		X
6	0.200	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0.192	0.198	0.199	0.194	0.201	X	
7	1,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 20'	Chanfro	Tridimensional	1,48 x 45°02'	1,52 x 44°58'	1,51 x 45°18'	1,51 x 45°13'	1,49 x 44°45'	X	
8	M18 x 1,5 6H	+ OK - Ñ OK	Rosca	Gabarito P-NP	Ñ OK	Ñ OK	Ñ OK	Ñ OK	Ñ OK		X
9	0.000	+ 0.050 - 0.000	Perpendicularismo	...	...	...	...	...	...		
10	9.800	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	10.028	10.006	10.012	10.015	10.013		X
11	22.000	+ 0.000 - 0.100	Dimensão	Paquímetro	22.020	22.030	22.030	22.020	22.040		X

**Obs. Cota 8 dimensionada com tampão roscado, havendo interferência porém há possibilidade de encaixe.**

<b>Cavidade 2</b>											
Item	Medida Especificada	Tolerâncias	Descrição	Equipamento	Resultados da medições					Ok	Not Ok
1	13.300	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	13.198	13.197	13.192	13.194	13.189		x
2	3.500	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	3.543	3.518	3.525	3.512	3.532	x	
3	13.650	+ 0.100 - 0.000	Diametro	Paquímetro	13.690	13.720	13.710	13.690	13.700	x	
4	0,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 201	Chanfro	Tridimensional	0,41 x 45°14'	0,46 x 45°09'	0,44 x 45°03'	0,41 x 44°58'	0,44 x 44°42'	x	
5	0.500	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0,66	0,67	0,66	0,66	0,67		x
6	0.200	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0.209	0.205	0.206	0.212	0.218	x	
7	1,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 20'	Chanfro	Tridimensional	1,44 x 44°58'	1,46 x 45°12'	1,45 x 45°07'	1,41 x 45°15'	1,43 x 44°57'	x	
8	M18 x 1,5 6H	+ OK - Ñ OK	Rosca	Gabarito	OK	OK	OK	OK	OK	x	
9	0.000	+ 0.050 - 0.000	Perpendicularismo	...	...	...	...	...	...		
10	9.800	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	9.655	9.679	9.667	9.682	9.657		x
11	22.000	+ 0.000 - 0.100	Dimensão	Paquímetro	22.080	22.060	22.050	22.060	22.050		x

## APÊNDICE IV – DIMENSIONAL DA PORCA

<b>Cavidade 3</b>											
Item	Medida Especificada	Tolerâncias	Descrição	Equipamento	Resultados da medições					Ok	Not Ok
1	13.300	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	13.333	13.350	13.348	13.342	13.337	X	
2	3.500	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	3.492	3.498	3.508	3.502	3.496	X	
3	13.650	+ 0.100 - 0.000	Diametro	Paquímetro	13.680	13.660	13.670	13.660	13.660	X	
4	0,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 201	Chanfro	Tridimensional	0,41 x 45°15'	0,44 x 45°02'	0,42 x 45°12'	0,44 x 45°19'	0,43 x 45°09'	X	
5	0.500	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72		X
6	0.200	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0.203	0.198	0.207	0.214	0.206	X	
7	1,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 20'	Chanfro	Tridimensional	1,49 x 44°55'	1,52 x 45°13'	1,51 x 45°08'	1,49 x 44°46'	1,48 x 45°10'	X	
8	M18 x 1,5 6H	+ OK - Ñ OK	Rosca	Gabarito	OK	OK	OK	OK	OK	X	
9	0.000	+ 0.050 - 0.000	Perpendicularismo	...	...	...	...	...	...		
10	9.800	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	9.841	9.852	9.840	9.840	9.841	X	
11	22.000	+ 0.000 - 0.100	Dimensão	Paquímetro	22.060	22.040	22.070	22.060	22.050		X

<b>Cavidade 4</b>											
Item	Medida Especificada	Tolerâncias	Descrição	Equipamento	Resultados da medições					Ok	Not Ok
1	13.300	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	13.375	13.386	13.382	13.384	13.378	X	
2	3.500	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	3.464	3.462	3.468	3.471	3.465	X	
3	13.650	+ 0.100 - 0.000	Diametro	Paquímetro	13.670	13.670	13.650	13.680	13.650	X	
4	0,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 201	Chanfro	Tridimensional	0,48 x 44°58'	0,44 x 45°16'	0,47 x 45°04'	0,41 x 44°48'	0,44 x 45°18'	X	
5	0.500	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0,69	0,68	0,69	0,68	0,69		X
6	0.200	+ 0.100 - 0.100	Raio	Tridimensional	0.198	0.192	0.189	0.196	0.194	X	
7	1,5 x 45°	+ 0,1 x 20' - 0,1 x 20'	Chanfro	Tridimensional	1,41 x 45°05'	1,42 x 45°16'	1,42 x 44°58'	1,41 x 45°08'	1,40 x 44°55'	X	
8	M18 x 1,5 6H	+ OK - Ñ OK	Rosca	Gabarito	OK	OK	OK	OK	OK	X	
9	0.000	+ 0.050 - 0.000	Perpendicularismo	...	...	...	...	...	...		
10	9.800	+ 0.100 - 0.100	Dimensão	Tridimensional	9.911	9.924	9.914	9.913	9.913		X
11	22.000	+ 0.000 - 0.100	Dimensão	Paquímetro	22.030	22.050	22.030	22.040	22.050		X