

ANÁLISE E REDUÇÃO DA VARIAÇÃO DO BRILHO EM PEÇAS PLÁSTICAS POR INJEÇÃO: UM ESTUDO DE CASO NO SETOR AUTOMOTIVO

ANALYSIS AND REDUCTION OF GLOSS VARIATION IN PLASTIC PARTS BY INJECTION: A CASE STUDY IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

Júnio Alves Pereira*  E-mail: junioapereira@gmail.com
Harrison Lourenço Corrêa*  E-mail: harrisoncorrea@ufpr.br
*Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

Resumo: A injeção de peças poliméricas é amplamente empregada pelo setor produtivo, em particular, o automotivo. No entanto, para atender às crescentes demandas de consumo sem perda de qualidade, avaliações criteriosas devem ser adotadas. Uma delas é a análise do brilho que, somado a outros defeitos, como dilatação, encolhimento e empenamento da peça, torna-se importante para controle de qualidade. Devido à natureza particular do processo produtivo adotado pelas montadoras, muitas peças são injetadas em unidades diferentes, sendo juntadas em outras linhas de produção. Nesses casos, quando o padrão de brilho não está compatível entre elas, há não conformidade, perda de produção e atrasos nas entregas. Assim, é fundamental que estudos sejam conduzidos para avaliar a influência que parâmetros de injeção, como também, o tipo de molde, possam exercer sobre o brilho de peças injetadas. Este trabalho objetivou estudar, por meio da caracterização do brilho, 380 peças da capa do retrator do cinto de segurança de um veículo de passeio. Para tanto, foram empregadas misturas de acrilonitrila-butadieno-estireno/polycarbonato, ABS/PC (PC > 60%), as quais foram injetadas em moldes não-tratados e tratados termoquimicamente mais uma nova tecnologia de texturização, bem como analisados parâmetros de temperatura do molde e pressão de recalque. Os resultados apontaram que o tratamento superficial e nova textura fornecido ao molde não foi suficiente para garantia e adequação do brilho, o que só foi conseguido mediante ajustes na temperatura do molde e pressão de recalque da injetora.

Palavras-chave: Setor automotivo. Injeção. Tratamento superficial. ABS/PC. Brilho.

Abstract: The injection of polymeric parts is widely used by the productive sector, in particular, the automotive sector. However, to meet the growing consumption demands without loss of quality, careful evaluations must be adopted. One of them is the gloss analysis which, added to other defects, such as expansion, shrinkage and warping of the part, becomes important for quality control. Due to the particular nature of the production process adopted by automakers, many parts are injected in different units, being joined in other production lines. In these cases, when the gloss standard is not compatible between them, there is non-compliance, loss of production and delays in deliveries. Thus, it is essential that studies are conducted to evaluate the influence that injection parameters, as well as the type of mold, can exert on the gloss of injected parts. This work aimed to study, through the characterization of gloss, 380 parts of seat belt retractor cover of a passenger vehicle. For this purpose, mixtures of acrylonitrile-butadiene-styrene/polycarbonate, ABS/PC (PC > 60%) were used, which were injected into non-treated and thermochemically treated molds plus a new texturing technology, as well as parameters of mold temperature and holding pressure were analyzed. The results showed that the surface treatment and new texturing provided to the mold was not enough to

guarantee and adjust the gloss, which was only achieved by adjusting the mold temperature and injection press holding pressure.

Keywords: Automotive sector. Injection. Superficial treatment. ABS/PC. Gloss.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Candido *et al.*, (2006), os materiais poliméricos expandiram sua aplicação na indústria automotiva desde a década de 1980, quando as montadoras desenvolveram uma forma de tornar os carros mais leves e reduzir o consumo de combustível sem sacrificar a qualidade do produto.

O polímero termoplástico é um material que pode ser remoldado quando submetido a altas temperaturas. De acordo com Guedes e Filkauskas (1986), termoplásticos são materiais que requerem calor (termo) para se tornarem moldáveis (plásticos) e, uma vez resfriados, retêm a forma geométrica na qual foram moldados. Na prática, isso acontece por meio de processos como moldagem por sopro, extrusão, rotomoldagem, injeção entre outros.

Injeção plástica é o método de fabricação mais utilizado para produzir peças de automóveis. Trata-se de um processo que consiste no aquecimento de um material termoplástico até que ele fique fundido e adquira a forma da peça desejada.

Na indústria automobilística, as texturas aplicadas às superfícies de peças poliméricas desempenham diversas funções. As mais importantes são: agregar valor estético visual ao produto; melhorar a percepção de qualidade do material; minimizar a visualização de efeitos de manchas de fluxo do material oriundos do processo de injeção do plástico e; diminuir o brilho superficial da peça (Santos, 2018).

Segundo Sousa (2014), para analisar a qualidade do acabamento superficial de um objeto é possível medir a rugosidade e o brilho. O brilho que a peça apresenta traduz o seu aspecto superficial, sendo definido pela natureza do material, cor e textura.

No processo de injeção, o material polimérico, o material do molde, o brilho do aço, os parâmetros de processo, o tipo de textura especificada, entre outros são fatores que influenciam as variações, afetando a unidade de brilho (UB) das peças especificadas pelas engenharias de *design*.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo geral analisar os fatores que influenciam a variação do brilho nas peças poliméricas, processadas por injeção e destinadas ao setor automotivo.

O trabalho seguiu uma abordagem quantitativa, com procedimento do tipo estudo de caso com uma peça polimérica da montadora chamada Capa do retrator do cinto, localizada atrás do banco traseiro do veículo Kwid da Renault, produzida em ABS/PC. Essa Capa de proteção foi selecionada por ser uma peça que apresentava grande variação de brilho.

Têm-se como objetivos específicos:

- Reduzir a unidade de brilho de uma peça, para a solução do excesso de brilho, com o auxílio da tecnologia *Primeform*®¹, juntamente com um ajuste de parâmetro de processo;
- Comparar os valores da característica brilho, antes e após o *Primeform*®, a fim de apresentar o efeito dessa tecnologia como solução;
- Determinar a parametrização adequada quanto à pressão de recalque e a temperatura do molde para se alcançar a unidade de brilho especificada;
- Diminuir a variação entre os três pontos de controle especificados, com análise das concentrações e dispersões dos valores.

Sendo a pesquisa um objeto de atuação na área automotiva, o tema poderá impactar socialmente uma grande parcela de profissionais atuantes nesse tipo de processamento. “Em números há aproximadamente 65 fábricas de automóveis no Brasil, com presença em 43 cidades e 10 estados” (Anfavea, 2020, p.7), na Europa são 298 montadoras (ACEA, 2022) e no mundo são 14 as principais corporações automobilísticas, sendo mais de 60 marcas de veículos pelo mundo (Business Inside, 2018).

¹ Tratamento termoquímico de superfície por plasma para produzir uma camada de difusão com gradiente de dureza superficial, concebido especificamente para o tratamento de moldes de injeção em que se exija a obtenção de peças injetadas com brilho (MELO, 2021, p62).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Moldagens por Injeção

O processo de moldagem por injeção envolve o preenchimento rápido, sob pressão, de uma cavidade de um molde com polímero fundido, seguido da solidificação do produto (Oktem *et al.*, 2007). Constitui-se um dos mais relevantes processos de produção de polímeros termoplásticos, embora também seja usado para termorrígidos, ressalvadas algumas modificações operacionais significativas. De acordo com Hamilton Nunes (2017) na injeção dos termorrígidos, devido os materiais serem mais abrasivos e fibrosos, os cilindros das injetoras são mais resistentes, as roscas possuem uma compressão específica e fisicamente não possuem a extremidade pontiaguda, e os moldes tem a função de aquecer até atingir a temperatura de cura do material. Os polímeros termorrígidos têm características tais como: resistência a altas temperaturas, resistência à chama e elevada dureza que ajudam na sua escolha para a produção de determinados produtos, como por exemplo, asas e botões para painéis, injetadas em polifenol/baquelite (Soares, 2014).

O funcionamento do processo de injeção é simples, embora o processo possa ser complexo devido às diferentes variáveis que podem influenciar a qualidade da peça injetada (Osswald *et al.*, 2008). A moldagem por injeção é um processo repetitivo, no qual o polímero fundido é forçado a passar por uma ou mais cavidades, mantido sob pressão até a remoção da peça em estado sólido. A injeção quase sempre termina com a peça já acabada, sem necessidade de unidades adicionais para acabamento (Ebnesajjad, 2015).

2.2 Parâmetros de injeção

Segundo Becker (2012), peças moldadas por injeção têm propriedades dependentes das condições de processamento, afetando diretamente sua qualidade.

De acordo com Greif (1995), o processo de injeção termoplástica trabalha com muitas variáveis que, em geral, apresentam grandes dependências entre si, sendo: pressão de injeção, pressão e tempo de recalque, velocidade de injeção e temperatura do molde. Apesar de esse vínculo ser conhecido, muitas vezes o

comportamento entre as variáveis do material, de operação, da máquina ou projeto do molde e a qualidade final da peça é complexo, uma vez que cada condição de injeção pode gerar diferentes resultados.

A seguir é apresentado o quadro 1 com alguns parâmetros de controle definidos por Manrich (2005).

Quadro 1 – Definição dos principais parâmetros

Parâmetros	Definição
Tempo de ciclo	Tempo para realizar o ciclo completo de injeção do material.
Tempo de recalque	Tempo para atuação da pressão de recalque sobre o material injetado.
Tempo de Injeção	Tempo para realizar a injeção e o recalque da peça injetada.
Tempo de resfriamento	Tempo no qual a máquina fica parada e há a circulação da água pelo molde.
Velocidade de injeção	Velocidade que o material é injetado no molde.
Temperatura de injeção	Temperatura para a realização do processo, para cada material existe uma temperatura de injeção.
Temperatura do molde	Controlada pela quantidade de água que circula pelos canais do molde.
Força de fechamento	Força que mantém o molde fechado durante o tempo necessário do ciclo de injeção.
Pressão de Injeção	Pressão exercida sobre o material fundido no momento do preenchimento da cavidade do molde. A pressão tem que ser suficiente para se obter um rápido preenchimento, evitando defeitos no produto.
Pressão de fechamento	Pressão utilizada para fechar o molde.
Pressão de recalque	Atua no tempo de recalque, garante que todas as cavidades do molde sejam inteiramente preenchidas.

Fonte: Adaptado Manrich (2005).

Segundo Pires *et al.*, (2014) a correta parametrização dessas variáveis pode resultar em um significativo aumento da produtividade e qualidade dos produtos injetados, estes parâmetros de processamento dos materiais estão em constante otimização no controle preciso do material a ser injetado nas cavidades do molde.

2.3 Misturas de ABS/PC

Misturas de acrilonitrila-butadieno-estireno/policarbonato ABS/PC e suas ligas constituem-se importantes materiais termoplásticos com aplicação na engenharia, sendo muito usados para fabricação de equipamentos médicos, impressão 3D (Bano *et al.*, 2020) e no setor automotivo, para componentes de interiores (Naganishi, 2021). Seu uso deve-se às propriedades mecânicas, como resistência ao impacto (mantendo-se a ductilidade), durabilidade e estabilidade dimensional (Khan *et al.*, 2005). A adição de ABS ao PC confere maior processabilidade e resistência ao

impacto e redução de custo. Enquanto que a incorporação de PC ao ABS resulta em estabilidade térmica e melhores propriedades mecânicas (Bano *et al.*, 2021). Estima-se que, em 2028, o mercado de misturas ABS/PC movimentará mais de 4 bilhões de dólares (Credence Research, 2022). Atualmente, a produção global concentra-se nas seguintes companhias: Covestro, Sabic, Teijin, Trimseo, Mitsubishi, Lotte Advanced Materials, Chi Mei, LG Chemical, FCFC e Daicel (Credence Research, 2022).

O processamento dessas misturas deve levar em consideração a diferença entre as temperaturas de transição vítrea (t_g). O PC, por exemplo, tem uma t_g igual a 150°C (Naganishi, 2021). O ABS, por sua vez, tem t_g igual a 95°C. As temperaturas nominais de extrusão são de 300°C e de 200°C, respectivamente (Khan *et al.*, 2005). Essa variação serve de parâmetro para definir as condições de processamento, evitando que a extrusão não degrade o material devido à alta temperatura, como também não impeça seu escoamento, caso baixas temperaturas sejam empregadas.

Em geral, muitas misturas poliméricas requerem o uso de agentes compatibilizantes para promover a adesão entre as fases. No entanto, devido à similaridade entre as características polares de PC e de ABS, pode não haver necessidade de adição de agente de acoplamento para processar a mistura. Isso dependerá da proporção de PC e ABS empregada (Krache; Debbah, 2011).

2.4 Moldes de Injeção

Um molde de injeção é uma ferramenta particular que, quando integrada a uma injetora, é capaz de dar forma ao polímero fundido injetado em sua cavidade, solidificá-lo e extrair o moldado de sua área impressa, garantindo ciclo produtivo, repetibilidade do processo e qualidade do moldado, reproduzindo tolerâncias e acabamentos do produto (Manrich, 2005).

O projeto de moldes também é essencial para garantir peças injetadas livres de defeitos. Os principais parâmetros a serem considerados para o projeto de molde são: o posicionamento e a geometria da entrada e canais de distribuição, a geometria da peça, a facilidade de automação, o desgaste e o custo (Edirisinghe, 2001). Para moldagem de polímeros termoplásticos, em geral usa-se aços com

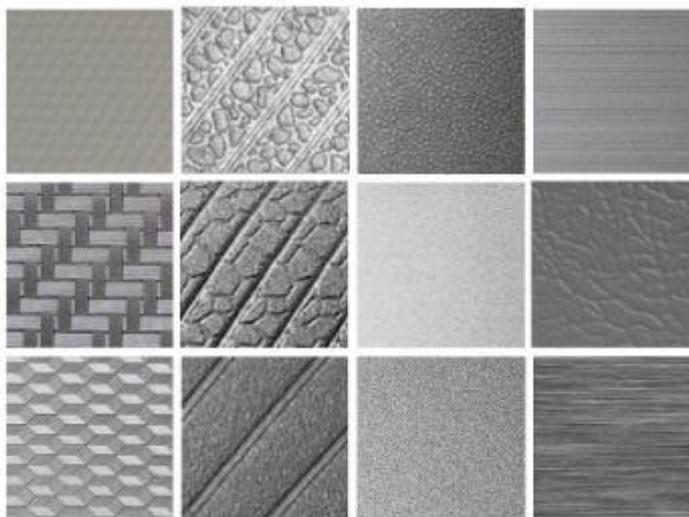
dureza 30HRC para produção dos moldes. Isso porque eles apresentam boa combinação de propriedades sem prejuízo à manufatura, sendo fáceis de serem usinados (Bacalhau; Barbosa, 2012).

2.5 Texturizações em moldes

De acordo com Ricardo Souza (2014), a texturização foi introduzida na indústria dos moldes devido à procura de um produto mais apelativo e de maior valor agregado. O mesmo autor complementa que este processo pode melhorar o aspecto visual, as qualidades táteis e produzir superfícies funcionais das peças injetadas.

Além da estética criada pela textura, esta também proporciona melhoria no processamento do polímero diminuindo deste modo o risco de defeitos, como marcas, aprisionamento de gases, e turbulência do fluxo plástico (Mold-Tech, 2009). A seguir é possível ver alguns tipos de texturas na figura 1.

Figura 1 – Tipos de texturas



Fonte: Mario J. L. Caetano CTB (2023).

As escalas das texturas são definidas a partir de seus comprimentos de onda. Comprimento de onda refere-se à distância entre repetições da forma da textura. Segundo Silva, “comprimentos de onda inferiores a 0,5mm remetem a microtexturas, entre 0,5mm e 50mm consideram-se macrotexturas e acima de 50mm, megatexturas.”

Para Silva (2009), são de extrema importância as condições de processamento (pressão, temperatura, tempo etc.) sob as quais o material é impelido para dentro do molde, para o bom acabamento e formato geométrico das peças por injeção. O mesmo autor complementa que a viscosidade do material na forma plástica cumpre um importante papel na aplicação de texturas, pois ela determina a capacidade de o material escoar para pequenas reentrâncias do molde. A estrutura molecular dos polímeros proporciona um comportamento viscoso como os líquidos, superposto com um comportamento elástico, como os sólidos Hookeanos, fenômeno denominado viscoelasticidade (Canevarolo, 2006). Sendo assim outra característica polimérica importante é elasticidade. O comportamento viscoelástico dos materiais poliméricos depende tanto do tempo, quanto da temperatura e o módulo de relaxação é um módulo de elasticidade que varia ao longo do tempo (Oliveira, 2013).

2.5.1 MicroMatte

“A tecnologia *MicroMatte* ajusta o brilho para reduzir a refletividade em todos os tipos de plásticos. Quando aplicado como um acabamento pós-textura ou durante o processo inicial de texturização, o acabamento reduz o brilho para chamar a atenção à qualidade. ” (Mold-Tech, 2020? n.p). A figura 2 apresenta amostra sem *MicroMatte* (brilho 2.4UB) e com (brilho 1.6UB).

Figura 2 – Amostras com aplicação do MicroMatte



Fonte: SET ASIA MOLD-TECH (2020).

“Esta tecnologia foi desenvolvida para obter alta qualidade e baixo brilho. Minimiza a mudança na aparência final de uma textura base, ao mesmo tempo em

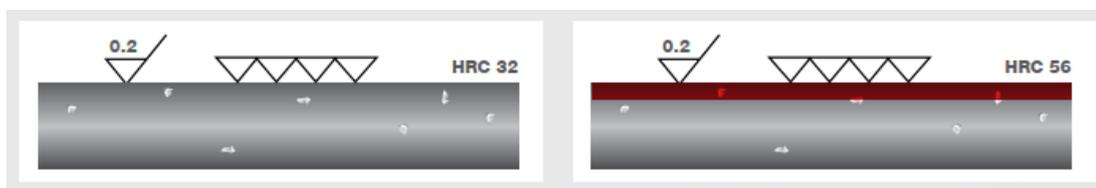
que consegue acabamentos de baixo brilho. Essa tecnologia pode ser aplicada em couro, textura geométrica ou qualquer outra textura ao mesmo tempo, é especialmente eficaz para resinas como ABS e PC, que tendem a ter alto brilho”. (SET ASIA GROUP, 2020? n.p).

2.6 Tratamentos superficiais termoquímicos (*Primeform*®)

Os moldes de injeção, em geral, são submetidos a tratamentos superficiais para aumentar a durabilidade, funcionalidade e elevar a resistência à corrosão (Nikolov *et al.*, 2014; Marteau *et al.*, 2016; Meng *et al.*, 2021). Esses tratamentos podem ser mecânicos ou termoquímicos, havendo diferentes tipos como nitretação à alta temperatura seguida de sobre cementação; cementação à baixa temperatura; implantação de íons de nitrogênio e; jateamento ultrassônico, todos objetivando cobrir ampla faixa de profundidades, que podem ser compreendidas entre alguns micrômetros a várias centenas de micrômetros (Marteau *et al.*, 2016).

O *Primeform*® é um tratamento termoquímico de superfície por plasma para produzir uma camada de difusão com gradiente de dureza superficial, concebido especificamente para o tratamento de moldes de injeção em que se exija a obtenção de peças injetadas com brilho (Melo, 2021). O processo visa ao aumento de proteção das superfícies de polimento espelhado dos moldes de injeção, sensíveis e suscetíveis ao desgaste e aos riscos provocados por efeitos ambientais ou por manipulação inadequada. A figura 2 ilustra um exemplo de aço P20, antes e depois do tratamento.

Figura 2 – Exemplo aço P20 antes e depois do tratamento



Fonte: Infopoint Oerliko Balzer (2021).

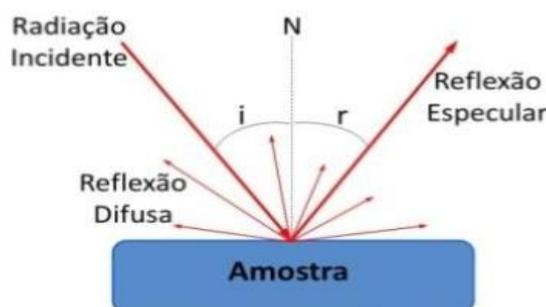
“O bombardeio de íons mantém a peça aquecida, limpa a superfície, fornece nitrogênio ativo e produz uma camada de difusão endurecida por gradiente” (Melo, 2021).

2.7 Avaliação e medição do brilho

De acordo com a ASTM E284 (2017, p.9) o brilho é definido como a “seletividade angular da refletância, envolvendo luz refletida na superfície, responsável pelo grau em que os realces refletidos ou imagens de objetos podem ser vistos como sobrepostos em uma superfície”.

A reflexão possui duas componentes: especular e difusa, como mostra a figura 3. A partir dessas componentes é possível calcular a refletância do material, que é a razão do fluxo radiante ou fluxo luminoso refletido pelo fluxo incidente em dadas condições (CIE 17.4, 1987).

Figura 3 – Reflexão especular e difusa em um material

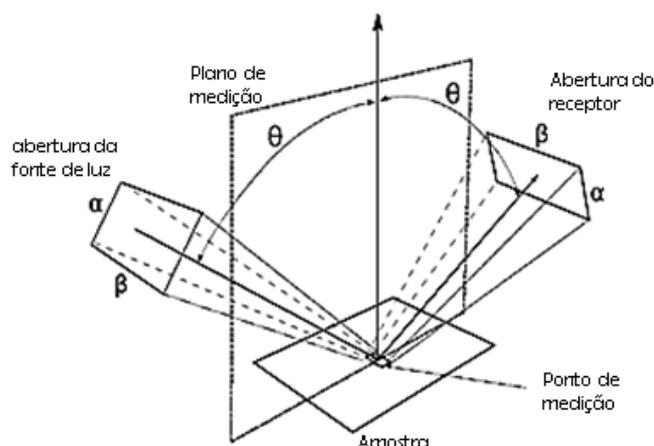


Fonte: Vocabulário Internacional de Iluminação CIE (1987).

O brilho é apresentado em unidades de brilho (UB). Este valor parte de 0UB, superfície totalmente mate, a qual não reflete qualquer tipo de luz, sendo que os valores máximos podem chegar a 2000UB, superfície muito brilhante, típico de metais polidos (Kigle-Boeckler, 1995).

No princípio da medição do brilho, a luz passa por uma abertura de um tamanho específico e ilumina um ponto de medição sob um ângulo específico. Uma parte da luz refletida passa pela abertura de um receptor e a intensidade da luz é medida para obter um valor de brilho especular. (Fridolin *et al.*, 2021). A figura 4 ilustra como esse princípio ocorre.

Figura 4 – Esquema do princípio de medição



Fonte: ASTM E284 (2017).

O ângulo mais utilizado e recomendado para a análise de peças plásticas é o de 60° indicado para peças semibrilhantes. Para a análise de peças de alto brilho é recomendado utilizar um ângulo de 20°, enquanto que para baixos brilhos é indicado 85° (Ignell; Rigdahl, 2012).

Os dispositivos de medição de brilho são muito utilizados pela indústria na quantificação do brilho (Kigle-Boeckler, 1995). A figura 5 ilustra o dispositivo de medir brilho, empregado neste estudo.

Figura 5 – Medidor de brilho (Konica Minolta Multi Gloss 268A)



Fonte: O autor (2022).

Cada aparelho é constituído por uma fonte de luz incandescente que é responsável por gerar um feixe de luz que incidirá no receptor (Kigle-Boeckler, 1995).

Na calibração desse aparelho foram utilizados padrões para calibração com ângulos de 20°, 60° e 85°, os aparelhos medidores de brilho usados em

fornecedores do setor automotivo são calibrados em laboratórios acreditados Immetro RBC (Rede brasileira de calibração segundo a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017).

São diversos os fatores que atuam na variação da característica brilho. Para Oliveira *et al.*, (2006) a variação dos parâmetros de processamento, como temperatura de fusão, temperatura do molde, pressão de retenção e velocidade de injeção, influencia a cor, o brilho e o comportamento da moldagem. No Quadro 2 são apresentadas conclusões de outros autores relacionados ao tema.

Quadro 2 – Fatores de influência no brilho conforme outros autores

TIPO DE TRABALHO	TÍTULO DO TRABALHO	AUTOR E ANO	FATOR DE INFLUÊNCIA	CITAÇÃO E CONCLUSÃO DO AUTOR
Dissertação	Estudo do brilho e micro rugosidade de peças plásticas produzidas por moldação por injeção	Yves Matthieu Miguel Feliciano (2014).	Temperatura do molde.	“Foi possível concluir que o aumento da temperatura do molde é a variável que mais influencia uma boa reprodutibilidade da topografia do molde reduzindo a rugosidade das peças e aumentando o seu brilho”. “Contudo existem outras variáveis que melhoram a replicação da superfície do molde na peça, tal como o aumento do perfil de temperatura de injeção”.
Dissertação	Processamento de peças de alto brilho	Ricardo José Henriques de Sousa (2014).	Brilho do aço do molde.	“As equações alcançadas apresentaram bons coeficientes de correlação o que indica que há uma grande dependência entre o brilho do aço e o brilho dos materiais poliméricos estudados”.
Artigo	Causas do defeito de transição de brilho em superfícies moldadas por injeção de alto brilho	Jinsu Gim et al. (2020).	Velocidade de Injeção; Temperatura do Molde.	“A velocidade da frente de fluxo e a temperatura do molde são os principais fatores que influenciam o brilho da superfície, pois afetam a taxa de desenvolvimento da pressão de fusão e a taxa de recuperação da rigidez da superfície”.

Artigo	Exploração do impacto de parâmetros tecnológicos no brilho superficial de peças plásticas	V. Modrak e J. Mandulak (2013).	Parâmetros	“Este trabalho provou que o brilho e a cor da superfície das peças moldadas por injeção são altamente dependentes dos fatores tecnológicos críticos e seus parâmetros”. “Com base nisso, pode-se antecipar que a medição de brilho será realizada rotineiramente pelos fabricantes de componentes plásticos para otimizar os parâmetros tecnológicos”.
Artigo	Influência dos Parâmetros de Moldagem por Injeção na Qualidade de Superfícies Estruturadas	Tobias Schaible et al., (2020).	Temperatura de fusão; Temperatura do molde; Pressão de retenção (recalque).	“Os resultados mostram as influências dos parâmetros de processamento conhecidos da literatura sobre a qualidade de superfícies estruturadas durante a moldagem por injeção”. “Os principais fatores são a temperatura de fusão, temperatura do molde e pressão de retenção, no entanto, a influência da temperatura é dominante”.

Fonte: O autor (2022).

O quadro acima apresenta a dominância da temperatura como fator relevante para influenciar a variação do brilho, sendo a temperatura do molde o maior fator aparecendo em três trabalhos dos cinco pesquisados.

3 ESTUDO DE CASO

A peça polimérica injetada usada para o estudo foi da capa do retrator do cinto de segurança. Esse artefato localiza-se atrás do banco traseiro central do veículo Kwid (Renault), sendo produzido em ABS/PC (PC > 60%) obtido da Chi Mei Corporation. A Figura 6 ilustra a peça injetada.

Figura 6 – Capa do retrator do cinto e sua localização



Fonte: O Autor (2020).

Ela foi selecionada para a investigação devido aos recorrentes problemas de brilho reportados, mais especificamente, ao excesso de brilho, ao comparar com o máximo especificado.

3.1 Materiais e Métodos

Para a análise do brilho da peça, inicialmente foram realizadas medições em um universo amostral de 130 peças, as quais foram obtidas pelo processo sem tratamento termoquímico e nova textura. Uma segunda etapa consistiu em analisar o brilho de peças injetadas em moldes que receberam o tratamento superficial (*Primeform*[®]) e nova textura *MicroMatte*, objetivando solucionar as variações de alto brilho da peça.

As peças obtidas em moldes, com e sem tratamento superficial e nova textura, foram injetadas sob as mesmas condições operacionais. O brilho foi avaliado por meio de um medidor de brilho portátil (Konica Minolta *Multi Gloss 268A*) e, os dados, coletados e tratados em planilha *Excel*.

A mistura ABS/PC empregada foi obtida junto à empresa Chi Mei, com percentual de PC acima de 60% em massa (*Wonderloy PC-365*). Suas principais características mecânicas e de processamento estão na Tabela 1.

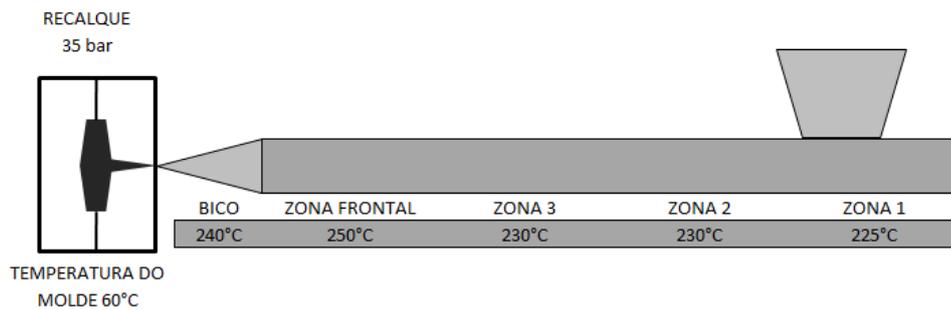
Tabela 1 – Principais características, propriedades e recomendações do ABS-PC

Processamento/Características Físicas	Valor	Unidade	Padrão de teste
Dados ISO			
Taxa de fluxo de volume de fusão	20	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperatura	260	° C	-
Carga	5	kg	-
Encolhimento de moldagem	0,5	%	ISO 294-4, 2577
Dados ASTM			
Índice de fluxo de fusão	20	g/10min	ASTM D 1238
Temperatura	260	° C	-
Carga	5	kg	-
Encolhimento do Molde	0,005	mm/mm	ASTM D 955
Propriedades mecânicas	Valor	Unidade	Padrão de teste
Dados ISO			
Estresse de rendimento	54	MPa	ISO 527
Estresse no intervalo	50	MPa	ISO 527
Módulo de flexão, 23°C	2200	MPa	ISO 178
Resistência à flexão	80	MPa	ISO 178
Resistência ao impacto com entalhe Charpy, +23°C	50	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Resistência ao impacto com entalhe Charpy, -30°C	45	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Recomendação de processamento de moldagem por injeção	Valor	Unidade	Padrão de teste
Pré-secagem - Temperatura	80 - 100	° C	-
Pré-secagem - Tempo	4	h	-
Temperatura do molde	50 - 100	° C	-
Zona 1	230-270	° C	-

Fonte: Chi Mei Corporation (2022).

A injeção das peças foi realizada por uma injetora da fabricante Haitian (modelo MA3800/2250), com capacidade de processamento de 380 t. A Figura 7 mostra os perfis de temperatura médios configurados para a injeção da mistura ABS/PC.

Figura 7 – Principais parâmetros



Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2021).

A moldagem foi realizada em moldes fabricados em aço AISIH13, com duas placas, uma móvel e outra fixa, contendo duas cavidades e duas gavetas, necessárias devido à geometria do produto. A refrigeração foi realizada por água aquecida na placa fixa e água fria na placa extratora. A Figura 8 mostra a estrutura do molde e suas cavidades.

Figura 8 – Molde de injeção Cobertura do retrator do cinto



Fonte: O Autor (2021).

A Figura 9 mostra o padrão de textura especificado para a peça injetada. A textura aplicada no molde possui o tipo couro, com profundidade de 0,09 mm, com um ângulo padrão de 7,0°, conicidade do efeito da caixa de 9,5°, remoção de metal de 0,13 mm, não sendo essa orientada a grãos.

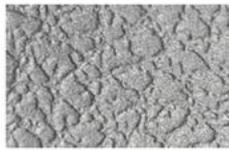
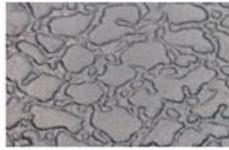
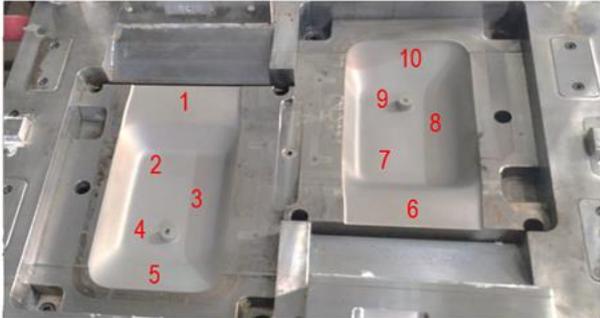
Figura 9 – Ilustração padrão de textura



Fonte: Arquivo aprovação de grãos Renault (2021).

A texturização pelo processamento químico produziu um brilho de 1,2 UB no aço do molde. A definição do brilho no aço varia entre 50 a 55% menor ao brilho definido na peça conforme o fabricante, o que explica a condição do brilho do aço de 1,2 UB é a primeira especificação na peça, que estava entre $2,0 \pm 0,2$ UB. A Figura 10 ilustra um padrão de informações geradas pela texturizadoras.

Figura 10 – Situação cavidades após texturização

N°	Medição de brilho em aço (Gu)			Material Plástico	Instrumento de Medição	IMAGENS DA TEXTURA
	Valor 60°	Média				
1	1,2	1,2	<input type="checkbox"/> PP <input type="checkbox"/> ABS <input checked="" type="checkbox"/> ABS/PC <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/> ASA	MITUTOYO SJ 210	Imagem do Aço	
2	1,2				ZEHNTNER INSTRUMENTS ZGM 1120	
3	1,2					Imagem do Silicone
4	1,2					
5	1,2					Imagem do Etalon
6	1,2					
7	1,2					
8	1,2					
9	1,2					
10	1,2					
Imagem do Molde						
						

Fonte: Mold -Tech Texturizadora (2020).

A ilustração do relatório padrão da texturizadora confirma a situação do brilho encontrado no molde (1.2UB), após a avaliação em 10 pontos, este apresenta também a situação da textura, com as imagens do aço, amostra de silicone e etalon (padrão) que devem ser comparadas entre si.

Os parâmetros gerais utilizados na injetora para o processamento das amostras (antes e após aplicação do tratamento mais *MicroMatte*) estão na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros gerais

Parâmetros de Injeção		
INJEÇÃO		
Pressão	80/103/30	bar
Velocidade	80/95/5	segundo
Curso	26/45/132	mm
RECALQUE		
Pressão	35	bar
Velocidade	5	%
Tempo	1	segundo
DOSAGEM		
Pressão	70/70	bar
Velocidade	25/25	%
Contrapressão	10/10	bar
Curso	25/150	mm
TEMPO DE RESFRIAMENTO		
30 segundos		
TEMPO DE CICLO		
60 segundos		
TEMPO DE ESTUFAGEM/ TEMPERATURA DE ESTUFAGEM		
4 Horas / 90°C		
TEMPERATURA CÂMARAS QUENTE		
ZONA 1	220°C	
ZONA 2	220°C	
TOLERÂNCIAS: Temperaturas +/- 10°C - Pressões +/- 10 bar		
Velocidades +/- 10% - Cursos +/- 2 mm		

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2021).

Na fase de validação do design as peças apresentaram alto brilho. A especificação exigida inicial era de $2,0 \pm 0,2UB$, sendo depois modificada para $4,5 \pm 0,5UB$, devido a uma alteração na cor do material. Foram encontradas peças entre 5,5 a 6,6UB. Apesar de estar fora da especificação, a situação foi aprovada, devido à localização isolada no veículo, situação que permitiu um novo limite superior, antes 5,0UB agora 6,6UB. Para entendimento da situação máxima de brilho do processo, um estudo com 130 peças foi aplicado pelo fornecedor, apresentando níveis acima de 6,6 UB.

A tabela 3 apresenta os dados retirados das 130 amostras, cujos valores estavam entre 5,0 e 8,5UB, sendo a sua maior concentração entre 5,5 a 7,3UB (90%).

Tabela 3 – Dada e distribuição das classes

Dados coletados												
6,5	6,7	6,7	6,7	6,4	6,2	6,7	6,2	5,9	5,7	6,3	6,2	6,5
6,7	6,6	6,8	6,6	6,7	6,2	6,4	6,5	5,7	5,6	6,3	6,7	7,3
6,7	8,5	6,8	6,8	6,4	6,3	6,3	6,3	5,7	5,7	5,1	6,3	6,3
6,8	6,7	6,5	6,7	6,8	6,3	6,1	6,0	5,8	6,3	5,5	6,1	7,0
6,9	6,6	6,8	6,9	6,3	6,6	6,1	6,1	5,6	6,1	6,3	6,9	6,8
6,0	6,5	5,0	6,7	6,7	6,8	6,9	6,7	5,8	6,2	6,3	6,2	6,8
7,4	6,7	5,4	6,6	6,6	6,7	6,7	6,7	5,7	6,1	6,5	6,3	6,8
6,8	5,1	5,6	6,6	6,4	6,8	6,5	6,6	6,5	6,8	6,1	6,3	6,3
5,0	6,7	6,1	6,7	6,3	6,5	6,3	7,7	6,6	7,5	6,4	6,9	6,5
5,1	5,1	6,3	8	6,7	7,7	6,9	6,6	6,5	7,3	6,7	6,4	6,5
Distribuição das classes												
Classe	1		2		3		4		5		6	
Limites	Inferior	Superior										
	5,0	5,58	5,58	6,17	6,17	6,75	6,75	7,33	7,33	7,92	7,92	8,5
Amostras	8		21		73		23		3		2	

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2020).

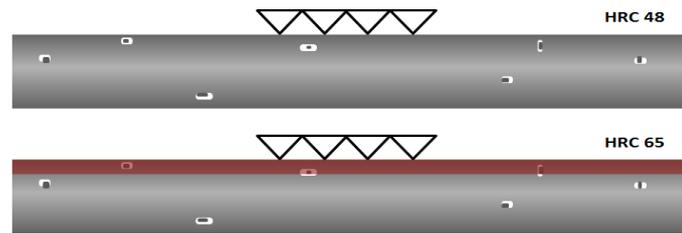
Uma derrogação para aumento de tolerância máxima foi permitida, para o brilho poder chegar até 7.7UB, mas; devido à instabilidade do brilho, foram necessárias medidas para redução dessa variação, as observações para um brilho máximo de 5.0UB continuaram, mas essas não foram alcançadas.

3.1.1 Procedimentos Experimentais

Neste subcapítulo serão descritos os métodos utilizados para se obter a redução de brilho na peça em ABS-PC.

Na primeira fase, as peças injetadas foram geradas por molde tratado superficialmente, o qual, para esse processo, sofreu polimento de toda a textura das cavidades. Na sequência, enviado para o fornecedor do tratamento superficial para aplicação do *Primeform*®, sendo, por fim, feita a reaplicação da textura agora com *MicroMatte* mantendo o brilho do molde em 1.2UB, essa nova aplicação via laser (após a aplicação do *Primeform*® se faz necessário a aplicação via laser, devido ao aumento da dureza). A Figura 11 expõe as durezas antes e depois do tratamento.

Figura 11 – Dureza superficial do molde antes e depois do tratamento



Fonte: O Autor (2022).

Na segunda fase, os parâmetros foram alterados: temperatura do molde aumentado até as condições permitidas no processo (molde e instalações) e recalque com o aumento da pressão, até onde foi possível sem comprometer a geometria da peça. Nessa etapa o grupo de amostras foi construído alterando-se a temperatura do molde e o recalque.

4 Resultados e Discussões

4.1 Avaliações do brilho de peças injetadas em moldes tratados (*Primeform*®) mais nova textura

Após o tratamento superficial do molde mais nova textura, as peças foram injetadas com os mesmos parâmetros apresentados na figura 7 e tabela 2, sendo a temperatura do molde 60°C e 35 bar de recalque, para avaliação em três pontos na peça (região de topo, intermediária e região de base). A figura 12 ilustra os pontos definidos para medição do brilho.

Figura 12 – Pontos para medição e estudo do brilho



Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2021).

A quantidade de 125 amostras foi injetada, para avaliação de cada um dos pontos. Nessa verificação as especificações observadas foram duas, a definição do design, 4,0 a 5,0UB, e a especificação de 4,0 a 7,7UB da engenharia de produto.

Cada ponto foi verificado em uma planilha com 25 grupos de 5 avaliações.

Na avaliação do ponto 1 (topo da peça), o menor valor está no grupo 4 na quinta peça de 4,7UB e o maior valor de 7,4UB no grupo 5 na quinta medição. A tabela 4 apresenta a situação das 125 amostras medidas do ponto 1.

Tabela 4 – Avaliação dimensional ponto 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Leituras	1	7,20	6,40	5,00	5,80	6,30	6,30	5,70	6,30	7,10	6,30	6,80	6,50	5,80
	2	6,70	5,80	5,70	7,10	4,40	6,60	5,40	5,60	6,30	6,20	5,70	5,80	5,50
	3	7,00	5,80	6,80	5,90	5,80	5,80	5,30	6,80	7,20	7,00	5,80	5,80	5,30
	4	5,60	5,50	5,50	5,30	6,60	6,40	5,40	6,50	6,20	6,20	5,50	5,50	5,60
	5	5,60	5,90	6,60	4,70	7,40	6,00	5,20	6,80	6,30	6,30	6,50	6,30	5,50
Soma	32,1	29,4	29,6	28,8	30,5	31,1	27,0	32,0	33,1	32,0	30,3	29,9	27,7	
Média	6,42	5,88	5,92	5,76	6,10	6,22	5,40	6,40	6,62	6,40	6,06	5,98	5,54	
Amplitude	1,60	0,90	1,80	2,40	3,00	0,80	0,50	1,20	1,00	0,80	1,30	1,00	0,50	
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Leituras	1	5,30	5,80	7,00	6,30	6,10	6,50	6,30	6,60	5,30	5,50	5,60	5,80	
	2	5,70	5,00	5,20	6,40	6,80	5,80	6,60	6,60	5,10	5,00	5,10	5,40	
	3	6,10	5,60	6,50	6,70	7,10	5,90	6,10	5,80	5,50	5,70	5,30	5,90	
	4	5,40	5,70	5,90	6,30	7,00	5,80	6,00	6,90	5,70	5,40	5,30	5,60	
	5	5,30	6,10	5,90	6,00	5,10	6,60	6,40	5,90	6,00	5,70	5,80	5,90	
Soma	27,8	28,2	30,5	31,7	32,1	30,6	31,4	31,8	27,6	27,3	27,1	28,6		
Média	5,56	5,64	6,10	6,34	6,42	6,12	6,28	6,36	5,52	5,46	5,42	5,72		
Amplitude	0,80	1,10	1,80	0,70	2,00	0,80	0,60	1,00	0,90	0,70	0,70	0,50		

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2021).

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 23, n. 3, e-4993, 2023.

Na apresentação do ponto 2 (região intermediária da peça), o menor valor está presente nas colunas 24 e 25, é de 7,1UB e o maior 8,8UB presentes nas colunas 1 e 5, grande parte das médias estão acima de 7.7UB (tolerância máxima), ficando apenas as médias das colunas 23,24 e 25 abaixo da máxima. A tabela 5, apresenta a situação das 125 amostras medidas do ponto 2.

Tabela 5 – Avaliação dimensional ponto 2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Leituras	1	8,80	8,70	8,30	8,70	8,40	8,70	8,50	8,00	8,50	8,00	7,70	8,00	8,60
	2	8,50	7,70	8,0	7,60	8,50	8,20	8,30	8,20	8,20	8,00	7,80	7,90	8,50
	3	8,70	8,50	8,40	8,60	8,60	8,50	8,00	8,00	8,50	7,80	8,00	8,30	8,30
	4	8,00	7,60	8,20	8,70	8,60	8,20	7,70	7,80	8,20	7,80	8,10	8,50	8,50
	5	8,70	8,00	8,00	8,40	8,80	8,50	8,00	8,30	8,70	8,10	8,00	8,30	8,20
	Soma	42,7	40,5	40,9	42,0	42,9	42,1	40,5	40,3	42,1	39,7	39,6	41,0	42,1
	Média	8,54	8,10	8,18	8,40	8,58	8,42	8,10	8,06	8,42	7,94	7,92	8,20	8,42
	Amplitude	0,80	1,10	0,40	1,10	0,40	0,50	0,80	0,50	0,50	0,30	0,40	0,60	0,40
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Leituras	1	8,60	8,20	8,30	8,30	8,10	8,50	8,20	8,30	8,00	7,80	7,80	7,20	
	2	8,30	8,20	8,00	7,80	8,20	8,50	8,30	8,30	7,70	7,70	7,10	7,80	
	3	8,40	8,20	7,80	8,50	8,30	7,80	8,30	8,80	7,80	8,20	7,60	7,10	
	4	8,6	8,40	8,30	7,60	8,10	8,70	8,0	8,00	7,80	7,20	7,50	7,60	
	5	8,5	8,30	8,50	8,00	7,80	8,30	7,60	8,20	8,00	7,50	7,90	7,20	
	Soma	42,4	41,3	40,9	40,2	40,5	41,8	40,4	41,6	39,3	38,4	37,9	36,9	
	Média	8,48	8,26	8,18	8,04	8,10	8,36	8,08	8,32	7,86	7,68	7,58	7,38	
	Amplitude	0,30	0,20	0,70	0,90	0,50	0,90	0,70	0,60	0,30	1,00	0,80	0,70	

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2021).

Na verificação do ponto 3 (região de base), não há apresentação de amostras acima dos 7.7UB, sendo o menor valor 4,1 UB, na coluna 20 e o maior 6,1 UB na coluna 19. A tabela 6 apresenta a situação das 125 amostras medidas do ponto 3.

Tabela 6 – Avaliação dimensional ponto 3

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Leituras	1	5,00	5,50	5,30	4,50	5,10	5,10	5,40	5,40	4,60	5,10	5,30	5,20	5,40
	2	5,40	5,90	5,50	5,10	5,40	5,30	5,80	5,20	5,10	5,10	5,20	5,10	5,70
	3	5,30	5,20	4,70	5,00	5,40	5,60	5,50	4,90	5,50	5,20	5,70	4,70	5,10
	4	4,70	5,50	4,70	5,80	5,20	5,60	5,30	4,70	5,20	5,40	5,40	5,60	4,80
	5	4,30	5,30	4,90	5,50	4,80	5,80	5,20	5,10	5,30	5,20	5,40	5,70	5,50
	Soma	24,7	27,4	25,1	25,9	25,9	27,4	27,2	25,3	25,7	26,0	27,0	26,3	26,5
	Média	4,94	5,48	5,02	5,18	5,18	5,48	5,44	5,06	5,14	5,20	5,40	5,26	5,30
	Amplitude	1,10	0,70	0,80	1,30	0,60	0,70	0,60	0,70	0,90	0,30	0,50	1,00	0,90

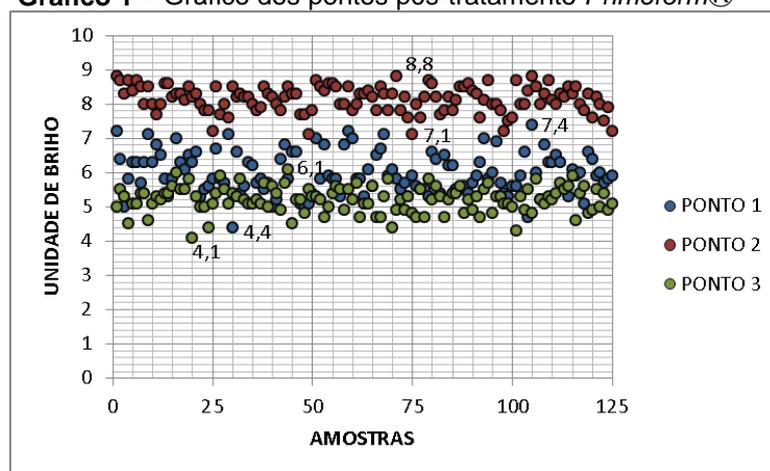
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Leituras	1	5,40	5,60	6,00	5,50	5,50	5,80	4,10	5,30	5,00	5,00	4,40	5,10	
	2	5,00	5,60	5,40	4,90	5,70	6,10	4,50	5,20	5,20	4,80	5,50	5,30	
	3	5,10	5,60	4,70	4,70	5,30	5,80	4,40	4,90	5,20	4,90	5,30	4,80	
	4	5,20	4,90	5,30	4,70	5,50	5,70	4,80	5,30	5,30	5,10	5,10	5,00	
	5	5,60	5,90	4,60	5,40	5,60	4,80	4,90	5,50	5,00	5,40	4,90	5,10	
	Soma	26,3	27,6	26,0	25,2	27,6	28,2	22,4	26,2	25,7	25,2	25,2	25,3	
	Média	5,26	5,52	5,20	5,04	5,52	5,64	4,54	5,24	5,14	5,04	5,04	5,06	
	Amplitude	0,60	1,00	1,40	0,80	0,40	1,30	0,80	0,60	0,30	0,60	1,10	0,50	

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2021).

Os dados apresentados após o tratamento e nova textura no molde não foram satisfatórios para a especificação de brilho máximo de 7,7UB para o ponto 2 (região intermediária da peça) e para o máximo 5,0UB em nenhum dos pontos.

Um gráfico das 125 medições foi elaborado para melhor ilustrar os resultados, e apresentar uma desigual dispersão do ponto 2, como se apresenta o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Gráfico dos pontos pós-tratamento Primeform®



Fonte: O autor (2022).

Na situação apresentada, entende-se a necessidade de revisar os parâmetros. A sugestão dos especialistas (textura e tratamento) foi aumentar a temperatura do molde, uma vez que a folha de dados do material recomendava em

50°C - 100°C, sugestão visando melhorar a cópia que a peça precisa fazer do brilho do molde.

4.2 Análises das peças injetadas em molde tratado mais nova textura e alteração dos parâmetros

Considerando que o tratamento superficial e a nova textura no molde não promoveram, por si só, adequação do brilho da peça injetada, optou-se por avaliar a influência de parâmetros de processamento, como a temperatura do molde e a pressão de recalque. A Tabela 7 mostra a combinação adotada.

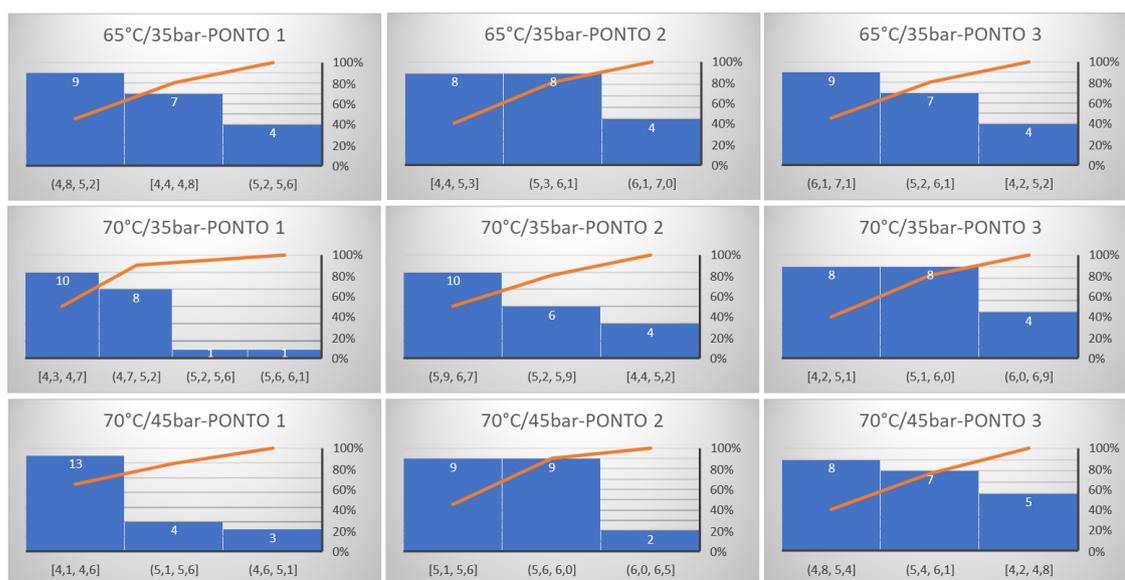
Tabela 7 – Experimentação de parâmetros após tratamento e nova textura

Tipo de Fonte	Condição 1	Condição 2	Condição 3
Temperatura do molde, °C	65	70	70
Pressão de recalque, bar	35	35	45

Fonte: O autor (2022).

Foram gerados dados de 10 amostras de cada situação para escolha da menor variação. Para melhor decisão, cada condição foi transformada em gráficos com histogramas, sendo possível entender as concentrações com os valores mais comuns e a dispersão de cada ponto das amostras, conforme expostos no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Experimentação de parâmetros pós-tratamento e nova textura (histograma)



Fonte: O autor (2022).

Na última situação 70°C/ 45 bar foram encontrados os menores valores, tanto nas concentrações como nas dispersões, exceto o ponto 3 que estava com suas concentrações semelhante ao ponto 3 70°C/35bar, e melhores dispersões em relação aos demais ponto 3. Nas concentrações do ponto 1 foram verificados dados entre 4,1 a 4,6UB, no ponto 2 as concentrações se equilibraram nas duas principais barras, ficando entre 5,1 a 6,0UB e no ponto 3 essas ficaram entre 4,8 a 5,4UB. Quanto às dispersões, o ponto 1 apresentou dados entre 4,1 a 5,6UB, no ponto 2 entre 5,1 a 6,5UB e no ponto 3 de 4,2 a 6,1UB, sendo essa a situação escolhida para produção das 125 amostras. O parâmetro temperatura do molde não pôde exceder os 70°C devido limitações, as mangueiras e conexões começaram a se soltar acima desse valor. A sugestão dos especialistas é que seria necessário chegar acima dos 80°C na temperatura do molde, para melhor cópia do brilho (brilho da peça copiar brilho do molde).

Produzidas as 125 amostras e confirmado que nenhum dos pontos ficaram acima de 7,7UB, no ponto 1 (topo da peça) a dispersão ficou entre 3,6 a 5,1 UB, sendo o menor valor encontrado na coluna 4 amostra 5 (3,6UB) e o maior valor também na coluna 4 amostra 4 (5,1UB). A tabela 8 apresenta os dados completos das 125 amostras do ponto 1.

Tabela 8 – Avaliação dimensional Ponto 1 (Parâmetro 70°C/ 45 bar)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Leituras	1	4,10	4,30	4,10	4,20	4,40	4,10	4,30	4,30	4,30	4,00	4,50	4,40	4,20
	2	4,00	4,30	4,30	4,00	3,70	4,30	4,00	4,00	4,50	3,80	4,40	4,00	4,40
	3	4,70	4,50	4,10	3,90	4,40	4,30	4,30	4,10	4,40	4,30	4,00	4,30	4,00
	4	5,00	4,30	4,50	5,10	4,40	4,30	4,20	4,00	4,30	4,30	4,30	4,40	4,30
	5	4,10	5,00	4,30	3,60	4,20	4,30	4,00	4,20	4,30	4,30	4,10	4,10	4,10
	Soma	21,9	22,4	21,3	20,8	21,1	21,3	20,8	20,6	21,8	20,7	21,3	21,2	21,0
	Média	4,38	4,48	4,26	4,16	4,22	4,26	4,16	4,12	4,36	4,14	4,26	4,24	4,20
	Amplitude	1,00	0,70	0,40	1,50	0,70	0,20	0,30	0,30	0,20	0,50	0,50	0,40	0,40
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Leituras	1	4,10	4,50	4,30	4,30	4,30	4,30	4,20	4,20	4,30	4,30	4,60	4,54	
	2	4,10	4,00	4,30	4,10	4,30	4,30	4,10	4,00	4,30	4,20	4,50	4,40	
	3	4,00	4,10	4,30	4,30	4,00	4,20	4,30	4,00	4,20	4,00	4,10	4,50	
	4	4,30	4,00	4,00	4,00	4,30	4,00	4,10	4,00	4,40	4,30	4,30	4,10	
	5	4,00	4,00	4,10	4,00	4,30	4,10	4,30	4,00	4,20	4,20	4,40	4,30	
	Soma	20,5	20,6	21,0	20,7	21,2	20,9	21,0	20,2	21,4	21,0	21,9	21,8	
	Média	4,10	4,12	4,20	4,14	4,24	4,18	4,20	4,04	4,28	4,20	4,38	4,37	
	Amplitude	0,30	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,30	0,50	0,44	

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2022).

Na avaliação do ponto 2 (região intermediária) as dispersões ficaram entre 5,0 a 6,5UB, sendo o menor valor encontrado na coluna 1 amostra 1, e o maior valor nas colunas 2,3,7,12,15,18 e 21. A tabela 9 apresenta os dados completos das 125 amostras do ponto 2.

Tabela 9 – Avaliação dimensional Ponto 2 (Parâmetro 70°C/ 45 bar)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Leituras	1	5,00	5,90	6,30	6,30	5,30	6,10	6,20	6,30	5,80	5,30	5,30	5,80	6,00
	2	5,90	5,80	6,10	6,10	6,00	6,30	5,80	5,80	6,20	5,60	5,70	5,60	6,00
	3	6,20	6,50	5,80	6,10	6,10	6,00	6,20	5,30	6,20	5,80	5,50	6,50	6,10
	4	6,10	6,50	6,50	6,10	6,10	5,20	6,50	5,80	5,50	5,70	5,30	6,00	6,00
	5	6,40	6,30	6,30	5,80	6,00	5,80	6,50	6,30	5,80	5,50	5,60	6,50	5,80
	Soma	26,6	31,0	31,0	30,4	29,5	29,4	31,2	29,5	29,5	27,9	27,4	30,4	29,9
	Média	5,92	6,20	6,20	6,08	5,90	5,88	6,24	5,90	5,90	5,58	5,48	6,08	5,98
	Amplitude	1,40	0,70	0,70	0,50	0,80	1,10	0,70	1,00	0,70	0,50	0,40	0,90	0,30
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Leituras	1	6,00	6,10	6,50	6,20	6,00	6,00	6,20	6,00	5,70	5,60	6,00	5,50	
	2	6,00	6,20	6,00	5,30	5,80	5,80	6,20	6,50	5,70	6,20	5,80	5,80	
	3	6,10	6,50	6,00	6,20	6,30	5,80	6,20	6,10	6,20	6,20	6,20	6,00	
	4	6,10	6,20	5,80	6,20	6,20	6,00	6,00	6,50	5,80	6,20	6,10	5,50	
	5	5,80	6,30	5,10	6,20	6,50	5,80	6,20	6,20	6,20	5,80	6,20	5,60	
	Soma	30,0	31,3	29,4	30,1	30,8	29,4	30,8	31,3	29,6	6,00	6,06	5,68	
	Média	6,00	6,26	5,88	6,02	6,16	5,88	6,16	6,26	5,92	30,0	30,3	28,4	
	Amplitude	0,30	0,40	1,40	0,90	0,70	0,20	0,20	0,50	0,50	0,60	0,40	0,50	

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2022).

Na verificação do ponto 3 (região de base), foram encontradas dispersões entre 4,6 a 6,5UB, com o menor valor na coluna 1 amostra 1 e o maior valor também na coluna 1 amostra 3. A tabela 10 apresenta os dados completos das 125 amostras.

Tabela 10 – Avaliação dimensional Ponto 3 (Parâmetro 70°C/ 45 bar)

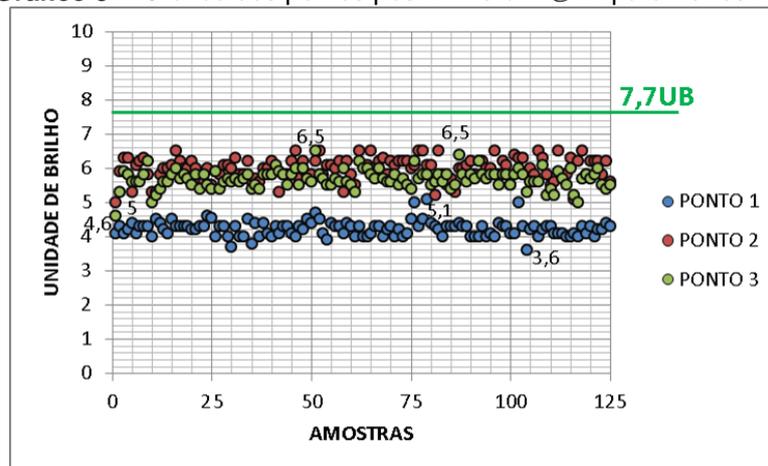
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Leituras	1	4,60	5,30	5,90	5,80	5,60	5,60	5,60	5,80	6,20	5,00	5,20	5,40	5,60
	2	5,90	5,40	5,60	5,69	5,60	5,70	5,60	5,70	5,80	5,40	5,50	5,40	5,80
	3	6,50	5,80	5,70	5,50	5,50	5,70	5,60	6,00	5,60	5,50	5,30	6,20	6,00
	4	6,20	5,70	5,80	5,80	5,50	5,60	5,80	5,60	5,80	5,40	5,50	6,40	5,80
	5	5,80	6,00	5,80	5,30	5,60	5,60	5,60	6,10	5,20	5,40	5,20	5,90	5,70
Soma	29,0	28,2	28,8	28,1	27,8	28,2	28,2	29,2	28,6	26,7	26,7	29,3	28,9	
Média	5,80	5,64	5,76	5,62	5,56	5,64	5,64	5,84	5,72	5,34	5,34	5,86	5,78	
Amplitude	1,90	0,70	0,30	0,50	0,10	0,10	0,20	0,50	1,00	0,50	0,30	1,00	0,40	

	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Leituras	1	5,60	5,80	6,00	5,70	5,80	5,70	5,50	5,80	5,40	5,80	5,50	5,40
	2	5,80	5,80	6,10	5,90	5,80	5,50	5,80	6,00	5,50	6,00	5,70	5,60
	3	6,00	5,80	5,70	6,00	5,70	5,60	5,60	5,80	5,50	5,70	5,50	5,40
	4	5,60	5,80	5,70	6,20	5,80	5,70	5,80	5,80	5,50	5,80	5,80	5,50
	5	5,50	6,00	5,20	5,00	5,70	5,80	5,70	5,80	6,00	5,50	5,40	5,50
Soma	28,5	29,2	28,7	28,8	28,8	28,3	28,4	29,2	27,9	28,8	27,9	27,4	
Média	5,70	5,84	5,74	5,76	5,76	5,66	5,68	5,84	5,58	5,76	5,58	5,48	
Amplitude	0,50	0,20	0,90	1,20	0,10	0,30	0,30	0,20	0,60	0,50	0,40	0,20	

Fonte: Fabricante de peças plásticas Bells (2022).

Os dados foram adicionados no mesmo modelo de gráfico anteriormente apresentado após as ações, os quais apresentam a situação do brilho após a revisão dos parâmetros agora 45 bar/ 70°C antes 35 bar/ 60°C, atendendo valores abaixo de 7,7UB.

Gráfico 3 – Gráfico dos pontos pós *Primeform*® + parâmetros 45 bar / 70°C



Fonte: O autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES

O tratamento superficial e a nova textura fornecida ao molde empregado para produção da capa do retrator do cinto não melhorou o brilho das peças injetadas.

Isso reforça que o controle do brilho não está relacionado diretamente ao molde e sua texturização, mas a outros parâmetros exclusivos à injeção e sua operacionalização, tais como temperatura do molde e pressão de recalque. As literaturas também apresentaram preocupações com os parâmetros, em especial as temperaturas de processo (quadro 2).

Com a nova parametrização, a temperatura interna do molde e recalque reduziu-se o brilho das peças. Como resultado, foi possível reduzir a unidade de brilho. Resultados anteriores que estavam com valor máximo de 8,5UB em 2020 e 8,8UB em 2021 foram reduzidos para até 6,5UB em 2022, permitindo a correção dentro do especificado de 7,7UB máximo. Esse resultado foi alcançado após se determinar uma nova parametrização aumentando a temperatura do molde para 70°C e o recalque 45bar. Essas ações também atuaram na diminuição da variação entre os três pontos de controle, pois os dados do ponto 2 estavam acima da especificação máxima, dissonante dos pontos 1 e 3. Dispersões que estavam para o ponto 1 (4,7 – 7,4UB) e ponto 2 (7,1 – 8,8UB) melhoraram respectivamente para 4,1 – 5,4 UB e 5,0 – 6,5UB.

Nas limitações neste trabalho está a falta de dados por cavidades. Por se tratar de um produto já em série, foram resgatados dados dos anos anteriores que não possuíam essa separação entre as duas cavidades. Devido a isso os dados gerados após as ações seguiram a mesma análise, mas como o objetivo era ter as duas com brilho máximo de 7,7UB, tal situação não comprometeu o trabalho. Outra situação foi o entendimento do tratamento *Primeform*[®] e da texturização *MicroMatte* na diminuição do brilho, ou seja, esperávamos chegar ao brilho próximo da especificação 4,0 a 5,0 UB, uma vez que o brilho do aço estava em 1,2 UB, que na teoria deveria gerar um brilho até 55% maior na peça, mas as instalações e o tipo de refrigeração do molde deveriam suportar uma temperatura maior. Foi sugerido pelos especialistas que o ideal seria chegar acima dos 80°C na temperatura do molde para a peça copiar o brilho do molde, mas se chegou ao máximo de 70°C, pois as mangueiras e conexões começaram a vazar e soltar ao exceder os 70°C. Sobre o molde, foi sugerido um sistema de refrigeração a óleo e esse era com água.

Este trabalho é um exemplo real dos cuidados que os profissionais precisam e torna-se uma contribuição prática para setor de processamento por injeção e, principalmente para automotivo. Com os descritos é esperado que os envolvidos

possam obter maior entendimento, sobre a característica brilho e disciplina nos parâmetros na fase de projeto e vida do produto.

REFERÊNCIAS

FILKAUSKAS, Benedito; GUEDES, Mario. **O plástico: materiais, moldes, processo, projetos e aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 1986. 156p.

SANTOS, E. Edney. **A aplicação da biomimética no desenvolvimento de texturas automotivas pelo design de color & trim**. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paulo Souza. 2018.

CANDIDO, Guido Muzio; SANTOLIA JUNIOR, Filippo; MELO, Marcos R. F. de. Methodology of plastic parts development in the automotive industry. São Paulo: SAE, 2006.

SOUSA, J.H. Ricardo. **Estudo do brilho e microrrugosidade de peças plásticas produzidas por moldação por injeção**. Dissertação de Mestrado. FEUP – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Julho de 2014.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, Janeiro 2020.

ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. **Interactive map 2022**. Disponível em: <http://www.acea.auto/figures/interactive-map-automobile-assembly-and-production-plants-in-europe/> Acesso em: 18 de abril de 2023.

ASTM - **Standard Terminology of Appearance** (ASTM E284-17). Technical standards, 2017, 25p

Bacalhau, José Britti; Barbosa, Celso Antonio. **AÇO PARA MOLDES PLÁSTICOS COM 40 HRC E ELEVADA USINABILIDADE - VP ATLAS**, p. 75-81. In: *10º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes*, Rio de Janeiro, 2012.

BANO, S.; RAMZAN, N.; IQBAL, T.; MAHMOOD, H.; FAROOQ, U. MDPI Journal: Study of Surface Mechanical Characteristics of ABS/PC Blends Using Nanoindentation. 2021.

BANO, S.; RAMZAN, N.; IQBAL, T.; MAHMOOD, H.; SAEED, F. **POLISH JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY**: Study of thermal degradation behavior and kinetics of ABS/PC blend, 2020. p.64-69. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/pjct-2020-0029> Acesso em 30.06.2023

BECKER, L. Estudo da instrumentação de moldes para aquisição da temperatura e pressão no processo de injeção de. 2012. 102 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior Tupy**, Joinville.

BUSINESS INSIDER INDIA. **Tech>These 14 corporations dominate the world's auto Industry**. Feb 15, 2018. Disponível em: <https://www.businessinsider.in/these-14-corporations-dominate-the-worlds-auto-industry/articleshow/62935279.cms>
Acesso em: 18 de abril de 2023.

CAETANO, J. L. Mário. **CTB - Ciência e Tecnologia da Borracha**. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/gravacoes-e-texturas/> Acesso: 23.01.2023.

CANEVAROLO Jr., S. V. Técnicas de caracterização de polímeros. São Carlos: Artliber, 2004.

Carl Fridolin Weber; Dieter Spiehl; Edgar Dörsam. **Conference Internationales Forum für den lichttechnischen**: Comparing measurement principles of three gloss meters and using them for measuring gloss on metallic embellishments produced by the printing Industry, 2021.

CIE 17.4: 1987 – **Vocabulário Internacional de Iluminação CIE**

CREDENCE RESEARCH: **PC/ABS Market**. Disponível em <https://www.credenceresearch.com/report/pc-abs-market> Acesso: 30.06.2023.

Ebnesajjad, S. **FLUOROPLASTICS. Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers: The Definitive User's Guide and Data Book**. Elsevier, 2015.

GREIF, Helmut *et al.* **Tecnologia dos plásticos**. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 1995.

HAMILTON NUNES DA COSTA. **MOLDE INJEÇÃO PLÁSTICO: Noções de moldagem de materiais termofixos por compressão, transferência e injeção**, 2017. Disponível em: <http://moldesinjecao plasticos.com.br/noco-es-de-moldagem-de-materiais-termofixos-por-compressao-transferencia-e-injecao/> Acesso 27/01/2024

Ignell, S. and M. Rigdahl, Angle-resolved light scattering from textured injection molded plastics. **Journal of Applied Polymer Science**, 2012. 124(2): p. 1624-1633

Jinsu, G.; Byungohk R.; Eunsu, H.; Walter F. **ReserchGate: Article in Polymers** Causes of the Gloss Transition Defect on High-Gloss Injection-Molded Surfaces, 2020.

Kigle-Boeckler, G., Measurement of gloss and reflection properties of surfaces. **Metal Finishing**, 1995. 93(5): p. 28-31

KRACHE, R.; DEBBAH, I. Some Mechanical and Thermal Properties of PC/ABS Blends. In: *Materials Sciences and Applications*, v.2, n.5, 2011, p.404-410.

OKTEM, Hasan; ERZURUMLU, Tuncay; UZMAN, Ibrahim. **Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part**. *Materials & Design*, [s.l.], v. 28, n. 4, p.1271- 1278, jan. 2007. Elsevier BV.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 23, n. 3, e-4993, 2023.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber, 2005. 431 p.

MARTEAU J.; BOUVIER S. **Surface and Coating Technology**: Characterization of the microstructure evolution and subsurface hardness of graded stainless steel produced by different mechanical or thermochemical surface treatments. Volume 296, June 2016, p. 136-148.

MENG Y.; VILLA M.; DAHL K.; WANG B.; DROUET M.; DUBOIS J. B.; MARCEL A.J.; CHRISTIANSEN T. **Surface and Coating Technology** : Thermochemical surface hardening of Ti-6Al-4V: On the role of temperature and treatment media. Volume 422, September 2021.

M. J. Oliveira, A. M. Brito, M. C. Costa and M. F. Costa, "Gloss and surface topography of ABS. A study on the influence of the injection molding parameters," in **Polymer Engineering & Science**. 2006

M.M.K. Khan, R.F. Liang,, R.K. Gupta and S. Agarwal. Rheological and mechanical properties of ABS/PC blends. **Korea-Australia Rheology Journal** Vol. 17, No. 1, March 2005 pp. 1-7

Modrak, V. and J. Mandulak, Exploration of Impact of Technological Parameters on Surface Gloss of Plastic Parts. **Procedia CIRP**, 2013.

Mold -Tech, Texturing In Depth: **Everything You Need to Know About Texturing Your Mold**, Mold-Tech, Editor. 2009.

NAGANISHI, A. **SHIMADZU EXCELLENCE IN SCIENCE**: Evaluation of PC/ABS Plastics with Different Blend Ratios. First Edition, 2021.

NIKOLOV K.; KOSTER K.; KAESTNER P.; BRAUER G.; KLAGES C. **Vacuum**: Strip hollow cathode method for plasma thermochemical treatment for surface modification of thin metal strips: Plasma nitriding of austenitic stainless steel sheets for bipolar plates. Volume 102, April 2014, p. 31-37.

OSSWALD, T.A. TURNG, L.-S., GRAMANN, P.J. (Eds.), **Injection molding Handbook**, 2 ed, Hanser, Ohio, 2008, p. 19–61.

PIRES, N. Luciano, COSTA, L.M. Augusto, GUERRA V. Paulo. **XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**: Estudo da variação de massa de termoplásticos processados por injeção em uma Indústria de autopeças na região metropolitana de Belo Horizonte. Curitiba, PR - 2014.

REVISTA MOLDE, abril de 2021, N° 129. **BALITHERM PRIMEFORM**: Um novo tratamento de superfície para moldes de todas as dimensões, Oerlikon Balzers página 62.

ROBSON M. OLIVEIRA. Compósito de poliuretano elastomérico reforçado em fibra de juta: Estudo das propriedades dinâmico – mecânicas e viscoelásticas, 2013. Universidade Federal de São Carlos. Dissertação de Mestrado.

RUI PEDRO SOARES DE PINHO. **Avaliação do processamento de chapas de baquelite por injeção**, 2014, 96 f. p.04. Universidade de Aveiro – Departamento de Química – Dissertação Mestrado.

SILVA, F. P.; ROESE, P. B.; KINDLEIN JÚNIOR, W. **A Texturização de Produtos Poliméricos e sua Dependência com a Seleção de Materiais e os Processos de Fabricação**. UNOPAR Cient. Exatas Tecnológicas., Londrina, v. 8, n. 1, p. 65-68, Nov. 2009.

SILVA, E.S.A. **Design, Technologie et Perception: Mise en relation du design sensoriel, sémantique et émotionnel avec la texture et les matériaux**. 296 f. Tese (Doutorado Design e inovação do produto). l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Spécialité "Conception".Paris, 2016.

SOUSA, J.H. Ricardo. **Estudo do brilho e microrrugosidade de peças plásticas produzidas por moldação por injeção**. Dissertação de Mestrado. FEUP – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Julho de 2014.

TOBIAS S.; RICHARD S.; CHRISTIAN B. Conference Paper in AIP: Influence of Injection Molding Parameters on the Quality of Structured Surfaces. **ResearchGate**, 2020.

YVES, M. M. Feliciano. **Universidade do Minho**. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia de Polímeros: Processamento de peças de alto brilho, 2014.

AUTORES

Júnio Alves Pereira

Mestre em Engenharia pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura (PPGEM) da Universidade Federal do Paraná (2023). Possui Especialização em Engenharia da Qualidade Integrada pela Faculdade Anhanguera (2013) e Engenharia de Produção pela Universidade Cruzeiro do Sul (2010). Graduado em Engenharia da Produção, pelo Centro Universitário ENIAC (2020) e em Tecnologia em Gestão de Qualidade e Produtividade, pela Universidade Mogi das Cruzes (2006). Possui Técnico Industrial Mecânico com ênfase em Planejamento e Controle da Produção pelo Instituto Federal de São Paulo (2002). Atua como especialista nas áreas de qualidade, produto, processo, projetos e gestão de fornecedores dentro da Indústria Automotiva (2001-2024). Atualmente é Especialista de Engenharia da Qualidade na Montadora Francesa Renault do Brasil.

Harrison Lourenço Corrêa

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2004), Mestrado em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2008) e Doutorado em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2015). Atualmente é professor da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia

Química, com ênfase em Materiais Poliméricos, atuando principalmente nos seguintes temas: Economia circular, reciclagem de polímeros e reologia de materiais. É membro da Sociedade Internacional para o Desenvolvimento e Sustentabilidade. Associate Guest Editor da revista *Frontiers in Sustainability*. Coordenador do Laboratório de Economia Circular e Estudos de Sustentabilidade, LaCESS.



Artigo recebido em: 31/08/2023 e aceito para publicação em: 31/01/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i3.4993>