



V Congresso Internacional e XI Workshop: Design & Materiais: Análise da riscabilidade de superfícies plásticas automotivas: comparação entre texturização por ablação a laser e corrosão química

V International Congress and XI Workshop: Design & Materials: Scratchability analysis of automotive plastic surfaces: comparison between laser ablation texturing and chemical etching

GALHARDI, Antonio Cesar; Doutor em Engenharia Mecânica; CEETEPS - Upep - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa
antonio.galhardi@cpspos.sp.gov.br

SANTOS, Edney Eboli dos; Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos; FATEC Tatuapé Victor Civita
edney.santos01@fatec.sp.gov.br

Resumo

Apresenta os resultados de uma análise comparativa de testes de riscabilidade realizados em placas poliméricas texturizadas. O objetivo desta pesquisa foi verificar se diferentes processos de texturização de moldes (por ablação a laser e por corrosão química), assim como a tonalidade do polímero injetado, interferem nos resultados dos testes de riscabilidade das amostras testadas. Esta pesquisa de natureza aplicada, com objetivo exploratório e abordagem mista, utilizou como método um experimento que contemplou as seguintes fases: o desenvolvimento das texturas; a texturização de placas molde; a injeção de amostras plásticas; e a realização de testes de riscabilidade em equipamento específico. Os resultados mostram que tanto os processos de texturização de moldes por diferentes métodos (ablação a laser e corrosão química), como a variação de tonalidade do polímero (entre cinza e preto), não interferem nos resultados dos testes de riscabilidade das texturas aplicadas a peças plásticas.

Palavras-chave: *design de superfície; texturização; riscabilidade.*

Abstract

This study presents the results of a comparative analysis of scratch tests performed on textured polymer plates. The objective of this research was to determine whether different mold texturing processes (laser ablation and chemical etching), as well as the color of the injected polymer, affect the scratch test results of the tested samples. This applied, exploratory, mixed-methods research used an experimental method that included the following phases: texture development; mold plate texturing; plastic sample injection; and scratch tests using dedicated equipment. The results show that neither mold texturing processes using different methods (laser



ablation and chemical etching), nor the variation in polymer color (from gray to black), affect the scratch test results of textures applied to plastic parts.

Keywords: *surface design; texturing; scratchability.*

1 Introdução

O Design de Produtos é utilizado pelas empresas como uma ferramenta de inovação a fim de contribuir com a competitividade, agregar valor a partir da melhoria dos aspectos relacionados às bases conceituais do objeto como: funcionalidade, operacionalidade, ergonomia, materiais, processos produtivos, sistemas construtivos, criatividade, função informacional, função estética, função simbólica e função semântica (Gomes Filho, 2020).

Neste contexto, o designer de produtos atua não apenas definindo as formas dos objetos, mas propondo soluções de acabamento das superfícies dos produtos com o objetivo de atender aos aspectos funcionais, estéticos, táteis, simbólicos e ergonômicos, relacionados à segurança, conforto e bem-estar. A área do design especializada no desenvolvimento e aplicação de materiais, cores e acabamentos é conhecida como Design de Superfície, *CMF (Color, Material and Finish)* ou ainda como *Color & Trim (Cor e Acabamento)*.

Uma das atribuições do profissional conhecido como *CMF Designer* é o desenvolvimento de texturas aplicadas às superfícies de peças plásticas.

Brown (2010) afirma que o Design enriquece a vida humana ao envolver emoções através de imagens, formas, texturas, cores, sons e aromas. Esses atributos, resultantes do design de superfície, geram experiências e vínculos emocionais com os produtos, refletindo na fidelização do cliente e impactando positivamente a competitividade das empresas.

Schwartz (2008) destaca que a valorização de produtos através da superfície existe desde as civilizações mais antigas, onde padrões e desenhos eram usados para agregar valor, seja simbólico-histórico ou meramente ornamental. Atualmente, a intervenção na superfície do produto é uma tendência e um fator crucial de inovação. Schwartz, Neves e Rütshilling (2008) apontam que o Design de Superfície se tornou uma ferramenta estratégica para criar diferenciação e customização, promovendo uma relação mais harmoniosa entre o usuário e o produto.

Atualmente, com a existência de diversas opções de texturas, e muito que ainda pode ser explorado para a geração de novas, quando combinadas com a imensidade de materiais e processos de produção existentes, o resultado pode ser uma variedade cada vez maior de efeitos (Kindlein Júnior; Collet; Dischinger, 2008).

Karana, Hekkert e Kandachar (2008) enfatizam que a interação das pessoas com os materiais dos produtos envolve atributos técnicos e sensoriais (visão e tato). A escolha de materiais e acabamentos, focada nessas necessidades, bem como o estudo das características intangíveis dos materiais (valores culturais, tendências, associações e emoções), são ferramentas que o designer utiliza para atribuir significado aos produtos. Em um estudo empírico, Karana, Hekkert e Kandachar (2009) exploraram como as propriedades sensoriais (rugosidade, brilho, transparência) e processos de fabricação (polimento, junção, moldagem) influenciam a atribuição de significado aos materiais pelos usuários. As propriedades sensoriais dos materiais desempenham um papel crucial na atribuição de significado, e embora não haja uma relação exata entre uma propriedade e um significado, combinações específicas e propriedades como dureza, rugosidade e brilho são frequentemente usadas para atribuir significados. As conclusões da pesquisa



de Karana, Hekkert e Kandachar (2009) indicam que o estudo de diferentes texturas, considerando suas propriedades visuais e táteis, pode influenciar a percepção e o significado atribuído pelos usuários, incluindo valor agregado e qualidade percebida.

Referindo-se ao *Design* de superfície e à sua relação com as escolhas do usuário ao adquirir um produto, Rinaldi (2013) afirma que a união de fatores representativos, estruturais e relacionais, entendidos e considerados no planejamento do produto, mostra, por meio da configuração final do objeto, as influências no comportamento humano ao se adquirir um bem. O autor afirma que o *Design* de Superfície é uma área em plena expansão e que confere aos produtos valores distintos, a partir de um trabalho cuidadoso de *design* que envolve tecnologia, sustentabilidade e estética funcional. O autor afirma que o *design* de superfície vem sendo utilizado pelas indústrias como uma ferramenta capaz de aumentar a competitividade das empresas a partir de uma estratégia de projetos com foco na valorização do usuário, considerando o modo como ele pensa e se relaciona com o produto. Desta forma, a superfície é considerada como um elemento essencial no projeto, contribuindo para a qualidade e sucesso do produto perante o consumidor, desvinculando-se do antigo estigma de cumprir a apenas uma função ornamental ou decorativa.

Para Yanagisawa e Takatsuji (2015), a textura de superfície é um fator de design que consiste em atributos físicos criados por uma variedade de materiais e acabamentos de superfície com atributos como rugosidade, brilho, cor e dureza. As pessoas percebem ou preveem as características das superfícies correlacionando cada um de seus atributos físicos pela informação sensorial, em um processo chamado pelos autores de características percebidas, exemplo: a rugosidade de uma superfície percebida por meio do toque. Usando uma combinação de características percebidas de uma textura superficial, as pessoas percebem a qualidade tátil da superfície como algo agradável ao toque. Algumas características de superfícies podem ser percebidas por meio de múltiplas modalidades sensoriais, por exemplo: nós podemos perceber a rugosidade de uma superfície pelo olhar, assim como pelo toque.

Freitas (2011, p.17) define o Design de Superfície como o meio de "conferir à superfície uma carga comunicativa com o exterior do objeto e também o interior, capaz de transmitir informações significativas que podem ser percebidas por meio dos sentidos, tais como cores, texturas e grafismos". A autora destaca o designer de superfície como o profissional que explora a interface comunicativa dos objetos, unindo funcionalidade e estética. Freitas menciona que as texturas na indústria, além de cobrir imperfeições em peças plásticas, aumentam o valor percebido de qualidade, citando a indústria automotiva (*Color&Trim*) como pioneira no desenvolvimento de texturas para inovação e qualidade percebida.

Na indústria automobilística, as texturas aplicadas às superfícies de peças plásticas desempenham diversas funções, dentre as quais se destacam: agregar valor estético visual ao produto; diminuir o brilho superficial da peça; 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; melhorar a aderência das mãos; melhorar a ergonomia relacionada aos aspectos hápticos (agradável ao toque); atenuar a percepção visual de eventuais marcas de arranhões gerados durante a utilização do produto; e evitar a troca prematura de peças e contribuir para aumentar a longevidade do produto.

As texturas aplicadas a peças plásticas apresentam diferentes classificações a partir de sua morfologia. Variáveis como profundidade, ângulo de saída, dimensão, densidade, regularidade e organização formal definem as características visuais e táteis das texturas.

O quadro 1 apresenta uma classificação das texturas por suas características visuais.

Quadro 1 – Classificação dos padrões de textura

CLASSIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE TEXTURA		
Tipo	Características Predominantes	Exemplos
NATURAL ou ORGÂNICO	Imitam: peles (couros), madeiras ou pedras Rapport de repetibilidade de padrão aleatório Multilayers Profundidades entre 60 µm e 125 µm	
GEOMÉTRICO	Formas básicas compostas por quadrados, círculos e linhas Filme único ou multilayer	
FUNCIONAL	Método de aplicação tipo Spray Profundidades entre 10µm e 30µm Pode aparentar acabamento similar ao de Eletroerosão	

Fonte: os autores

Os processos mais comuns de texturização de moldes de injeção de peças plásticas são:

I. Processo por corrosão química (*Etching grain process*): é o processo mais utilizado atualmente na confecção de texturas no Brasil. Consiste no ataque químico por imersão do molde de injeção a ser texturizado em um tanque contendo solução química que corrói o aço da matriz de injeção, por meio do controle de parâmetros como: tempo, temperatura e profundidade do ataque. Este processo pode ser resumido nas seguintes etapas: isolamento das áreas do molde a serem protegidas do ataque químico; definição do desenho bidimensional da textura em software de imagem e criação do elemento de repetição da textura; confecção de filme plástico impresso em cera a ser transferida ao molde como um frame de proteção para as áreas que não devem ser corroídas pelo ataque químico; aplicação do desenho da textura pela transferência da cera protetiva do filme plástico à superfície do molde; imersão do molde em tanque de corrosão; controle da profundidade dos sulcos da corrosão; controle de brilho superficial.

Em função da complexidade do desenho da textura podem ser necessários vários ataques químicos, realizados com aplicação sucessiva de diferentes frames de proteção que ao final reproduzem o desenho da textura no molde.

II. Processo por gravação a laser: gravação direta da textura na superfície do molde por meio de feixe laser onde o desgaste da superfície (ablação) ocorre em camadas. Este processo pode ser resumido nas seguintes etapas: a matemática tridimensional (modelo virtual) do molde é analisada virtualmente em uma simulação por software para avaliar o acesso do feixe laser às superfícies a serem texturizadas; os dados com o desenho da textura são aplicados virtualmente na matemática do molde e trabalhados de forma a se ajustar o posicionamento do desenho da textura nas superfícies; o molde físico a ser texturizado é posicionado no equipamento de texturização laser a partir de um sistema de coordenadas (x,y,z) para sofrer a ablação do laser. Comparativamente ao processo por ataque químico, apresenta a vantagem de permitir distorções propositalmente no desenho para



compensações visuais (ajustes óticos).

III. Processo híbrido: utiliza o processo laser para transferência do padrão de desenho da textura (frame de proteção) à superfície do molde, seguido por ataque químico. As superfícies do molde onde serão realizadas as gravações recebem uma tinta protetiva que é parcialmente retirada pela ação do laser, formando-se frames de proteção (que substituem os frames de cera utilizados no processo químico) e permitem o ataque químico apenas nos espaços onde o laser retirou a tinta protetiva. De forma análoga ao processo químico, em função da complexidade do desenho da textura, o processo híbrido pode necessitar de vários ataques químicos sucessivos a partir de programação laser de frames de proteção distintos.

As indústrias automobilísticas utilizam, dentre outros tipos de polímeros, o polipropileno para a produção de peças do interior do automóvel, entretanto, adicionam cargas minerais e aditivos ao polímero a fim de que as peças finais atendam aos testes de qualidade e durabilidade.

O talco é uma carga mineral comumente utilizada na fórmula de polipropilenos utilizados como matéria-prima de peças automotivas. Uma peça injetada em polipropileno com talco, quando submetida a riscos (arranhões que podem acontecer por diversos motivos ao longo da utilização do produto) tem sua aparência modificada e os riscos podem ser percebidos com maior ou menor facilidade, dentre outros fatores, em função do tipo de textura aplicada à superfície da peça.

Um dos testes realizados pelas indústrias automobilísticas em relação às texturas aplicadas em peças plásticas do interior do automóvel é o teste de riscabilidade.

O teste de riscabilidade leva em consideração o quanto a amostra submetida ao risco se apresenta mais clara ou mais escura em relação ao padrão (parâmetro ΔL).

Os testes de riscabilidade foram executados pela equipe do laboratório de ensaios e materiais da Volkswagen do Brasil por técnicos especializados. O método utilizado nestes testes considerou parâmetros e procedimentos conforme norma interna Volkswagen PV3952 (versão de Nov/2015), que estabelece os limites de variação claro/escuro para aprovação segundo critérios de qualidade internos.

O objetivo do teste de riscabilidade sobre cada textura criada é o de avaliar o quanto os riscos se tornam perceptíveis. Esse teste é realizado com as amostras plásticas das texturas desenvolvidas (injetadas nas mesmas matérias-primas utilizadas no produto), com o auxílio de um equipamento denominado *Scratcher Hardness Tester*. As amostras são posicionadas no equipamento e submetidas a uma pressão controlada de um instrumento pontiagudo que percorre uma trajetória traçada da amostra nos sentidos longitudinal e transversal, formando uma área matricial de riscos sobre a amostra.

A partir de um equipamento denominado espectrofotômetro é possível se realizar medições de cor de uma superfície padrão e compará-la a outras amostras. As amostras de cada textura são medidas com o espectrofotômetro antes e depois de serem submetidas ao equipamento *Scratcher Hardness Tester*, o que possibilita a comparação e avaliação dos resultados sobre o fator riscabilidade.

As variações de cor que podem ser extraídas da medição com espectrofotômetro ao se comparar duas amostras, são conhecidas por parâmetros ΔLab onde: ΔL corresponde ao nível de diferença entre claro/escuro; Δa corresponde ao nível de diferença de tonalidade entre mais vermelho (+a) ou mais verde (-a); e Δb corresponde ao nível de diferença de tonalidade entre mais amarelo (+b) ou mais azul (-b). Os parâmetros são apresentados

pelo equipamento em números absolutos, sem unidade de medida.

2 Métodos

O experimento desta pesquisa contemplou as seguintes fases: o desenvolvimento das texturas; a texturização de placas molde; a injeção de amostras plásticas; e a realização de testes de riscabilidade em equipamento específico.

2.1 Desenvolvimento das texturas

A partir de imagens inspiracionais de elementos da natureza, foram desenvolvidas doze texturas para serem reproduzidas em amostras plásticas de 3mm x 50mm x 50mm cada.

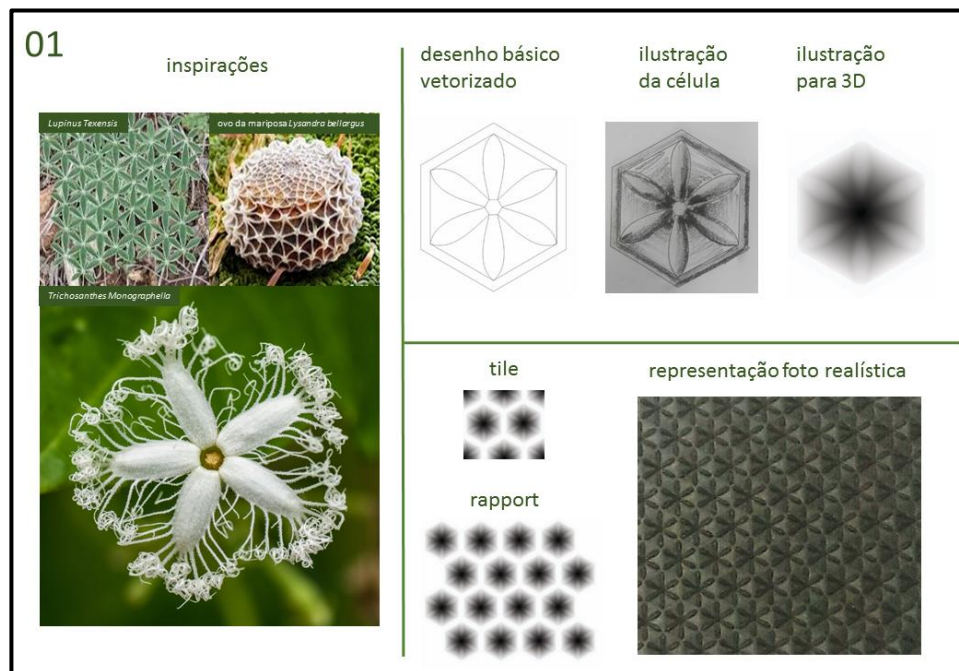
Os desenhos das doze texturas foram realizados a partir de croquis manuais com lápis e caneta e posteriormente vetorizados e ilustrados no software Corel Draw® para melhor visualização e proporção do desenho em escala.

A fim de se avaliar o comportamento de diferentes conceitos estéticos das texturas na reprodução pelos processos de texturização por corrosão química e por ablação a laser, decidiu-se por desenvolver texturas de diferentes características formais, classificadas em três grupos a partir dos critérios de forma do elemento básico e distribuição dos elementos. As texturas criadas foram classificadas em três grupos:

- 4 texturas orgânicas e distribuição aleatória – texturas Fp, Fn, I e K;
- 4 texturas orgânicas e distribuição ordenada – texturas A, B, J e L;
- 4 texturas geométricas e distribuição ordenada – texturas C, E, G e H.

O quadro 2 apresenta um esquema que exemplifica o processo de desenvolvimento de uma das texturas desenvolvidas para a realização deste experimento.

Quadro 2 - Desenhos bidimensionais para desenvolvimento da textura A



Fonte: os autores

A modelagem matemática levou em consideração informações técnicas levantadas com profissionais especialistas no desenvolvimento de texturas a fim de garantir que os

parâmetros de profundidade e ângulos de desmolde atendessem aos critérios de viabilidade técnica de texturas aplicadas em peças plásticas injetadas.

Para a etapa de modelagem foram utilizados croquis e alguns desenhos técnicos básicos, além das referências visuais de imagens inspiracionais.

Inicialmente foram modelados os elementos essenciais de cada textura (elemento básico - *tile*), que em seguida foram multiplicados de maneira a criar a repetição do padrão esperado da textura (*rapport*).

Cada padrão de textura foi modelado com profundidades distintas, observando a profundidade máxima recomendada pelos profissionais de texturização (200µm). As texturas foram modeladas em arquivos 3D utilizando o software Rhinoceros®.

2.2 Texturização de placas molde

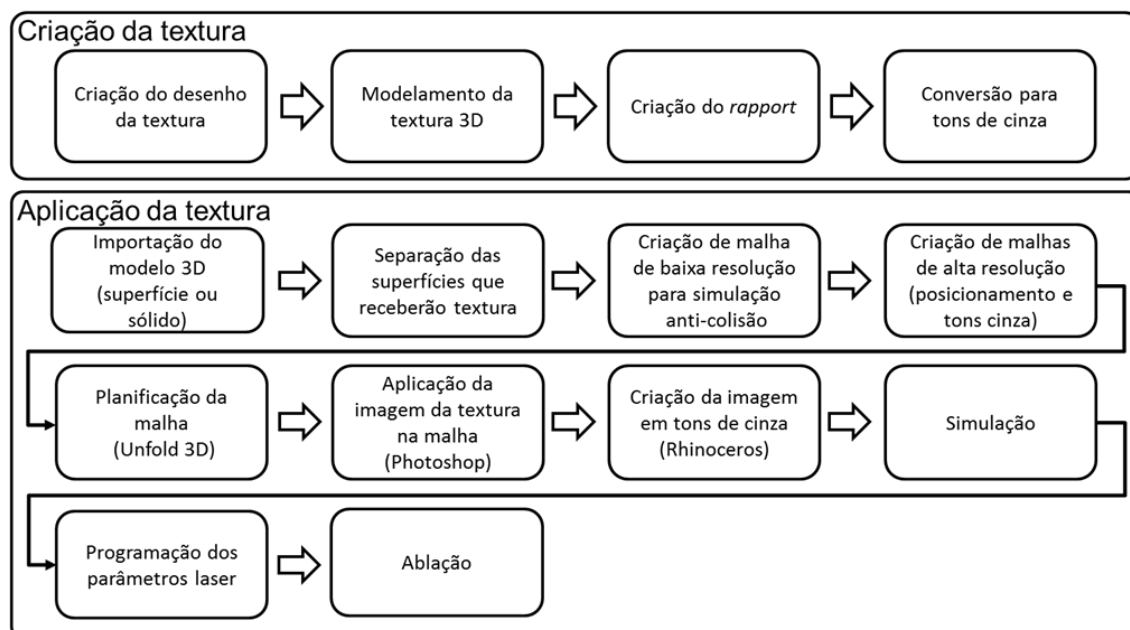
A partir das entrevistas com especialistas obteve-se o entendimento de que os processos de texturização por ataque químico e o processo híbrido apresentam características físicas similares. Desta forma, decidiu-se por reproduzir as texturas apenas nos processos a laser e por ataque químico.

As etapas iniciais de criação da textura são as mesmas tanto para o processo de ablação a laser como para o processo por ataque químico e correspondem às atividades: criação do desenho da textura; modelagem da textura tridimensional (3D virtual); e criação do elemento de repetição da textura (conhecido como *rapport*: elemento gráfico de repetição que possibilita continuidade do desenho quando posicionado lado a lado de si mesmo nos sentidos horizontal e vertical).

Decidiu-se começar a confecção das placas-molde pelo processo de texturização a laser, que ocorreu durante o mês de março de 2018.

O quadro 3 apresenta fluxos de atividades básicas para a criação e aplicação de texturas pelo processo de ablação a laser.

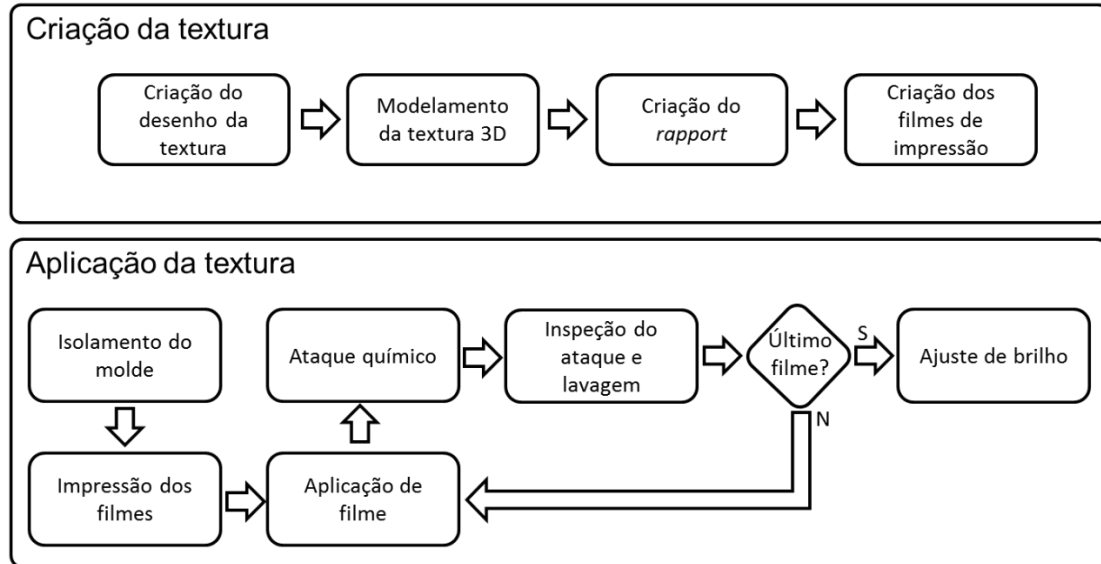
Quadro 3 - Fluxos de atividades básicas de texturização por processo laser



Fonte: os autores (a partir das pesquisas com profissionais)

O quadro 4 apresenta fluxos de atividades básicas para a criação e aplicação de texturas pelo processo de ataque químico.

Quadro 4 - Fluxos de atividades básicas texturização por processo de ataque químico



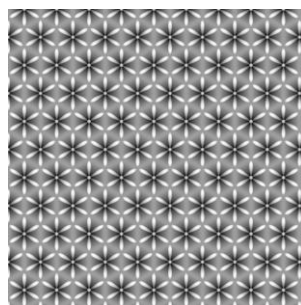
Fonte: os autores (a partir das pesquisas com profissionais)

Após a modelagem das texturas 3D por meio do software Rhinoceros[®], os dados são exportados em formato “.stl” para o software Laser Design[®], um programa que funciona tanto como um programa *stand-alone* da empresa Agie Charmilles[®] (marca suíça produtora da máquina de gravação a laser) como um *plug-in* utilizado no software Rhinoceros[®].

O software Laser Design[®] decodifica as malhas tridimensionais das texturas modeladas em tons de cinza calculados em função da altura de cada ponto das superfícies modeladas. Os pontos mais altos no eixo da altura (coordenada z - profundidade) tendem ao branco, enquanto os pontos mais baixos tendem ao preto. O formato de arquivo exportado do software Laser Design[®] para a gravação laser é “.bia”. O processo de gravação a laser é também conhecido por ablação.

Após a exportação da malha de dados ao programa do equipamento de gravação a laser (Laser Design[®]), a conversão dos dados em tons de cinza gera um arquivo em formato “.tiff”. Os tons mais claros representam coordenadas z (alturas) mais altas enquanto os tons mais escuros representam coordenadas z mais profundas. A figura 1 ilustra os relevos da textura em tons de cinza na configuração da peça final. Para a gravação da placa-molde (negativo) os tons da imagem devem ser invertidos (negativo da imagem).

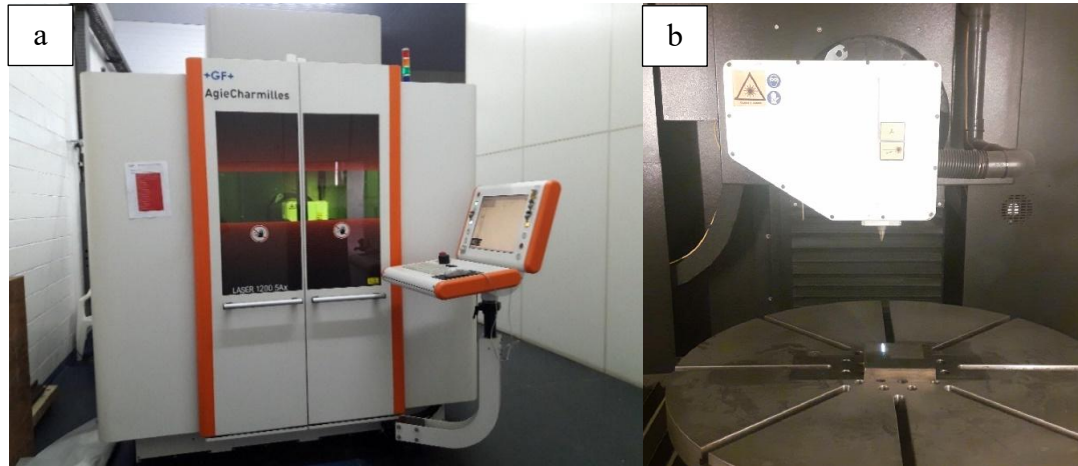
Figura 1 – Imagem de tons de cinza em função das alturas das superfícies



Fonte: tela do LaserDesign

A figura 2 apresenta imagens da máquina de ablação a laser utilizada e a simulação de uma ablação sobre placa de aço.

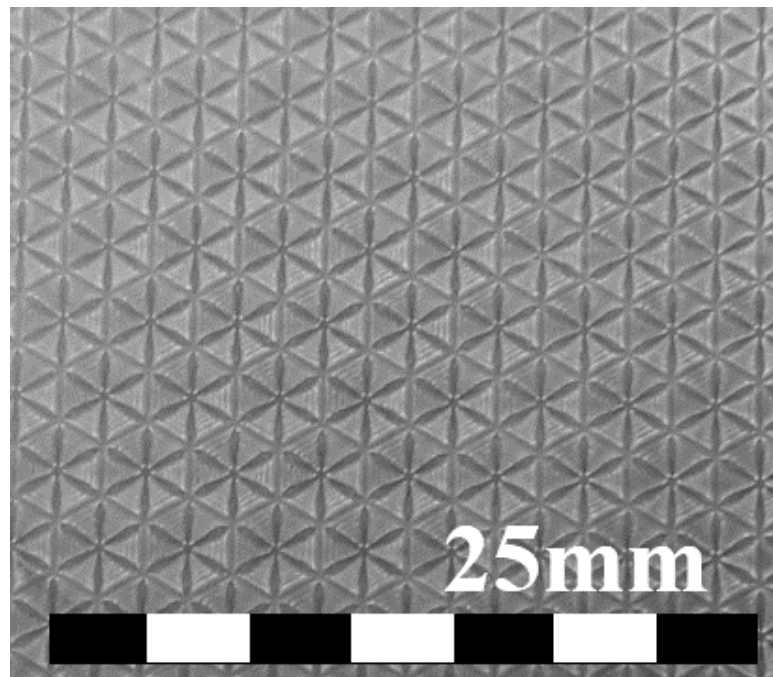
Figura 2 – Máquina de gravação - a / Cabeçote laser em operação - b



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

A figura 3 apresenta imagem de placa em aço P20 ampliada em quatro vezes após os primeiros testes de gravação a laser da textura A, para verificação de profundidade e resultado estético-formal da textura.

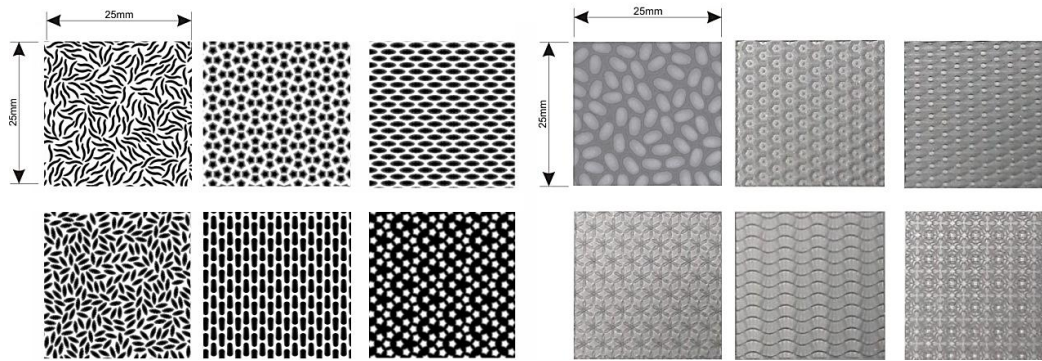
Figura 3 - Placa gravada a laser ampliada 4x



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

A figura 4 apresenta as dimensões reais finais das doze texturas desenvolvidas.

Figura 4 – Dimensões finais das texturas desenvolvidas



Fonte: tela Photoshop e fotos do arquivo pessoal dos autores

As placas-molde das doze texturas criadas nesta pesquisa executadas por equipamentos de gravação a laser da marca suíça +GF+ Agie Charmilles®, modelo 1200 5Ax, cujas características principais são:

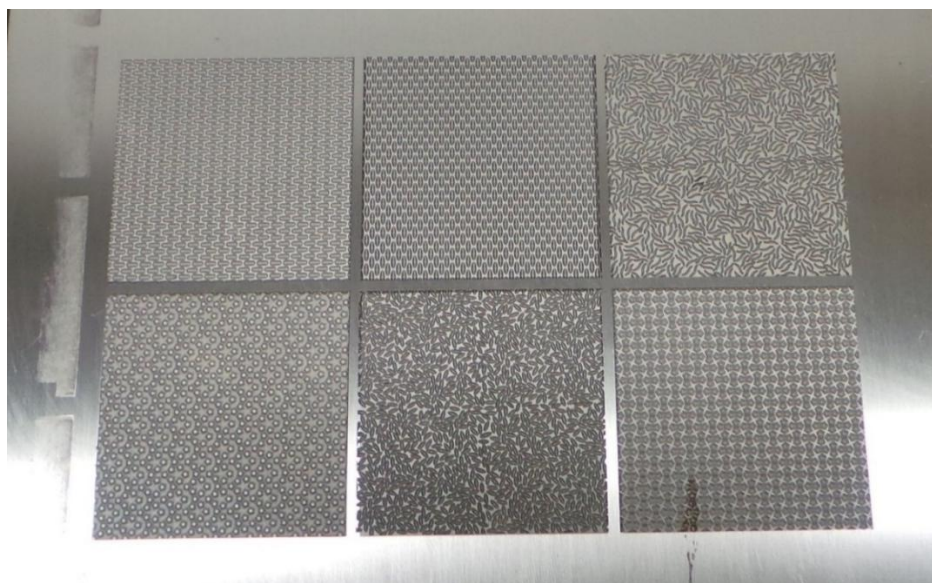
- Movimentação em até 5 eixos;
- Comprimento máximo de gravação sem emendas: até 700mm;
- Potência nominal máxima do laser 60Watts;
- Velocidade de gravação do feixe laser: até 5000mm/s;
- Frequência de trabalho do laser: até 1000KHz;

As placas-molde foram executadas por duas empresas texturizadoras localizadas no estado de São Paulo. Cada uma das empresas reproduziu seis texturas distintas utilizando-se de parâmetros de laser diferentes.

A placa molde das texturas G, H, I, J, K e L foi realizada pela Empresa TSP, que utilizou uma placa de aço com especificação P20 com dimensões 10mm x 110mm x 180mm.

A figura 5 apresenta a placa-molde texturizada por ablação a laser das texturas G, H, I, J, K e L executados pela empresa TSP.

Figura 5 – Placa molde confeccionada a laser das texturas G, H, I, J, K e L



Fonte: os autores (arquivo pessoal)



As texturas desenvolvidas por processo de ablação a laser foram reproduzidas também pelo processo de texturização por ataque químico.

A confecção das placas-molde por processo de texturização por ataque químico ocorreu entre os meses de junho e julho de 2018 pelas empresas TSP (texturas G, H, I, J, K, L) e PKW (texturas A, B, C, E, Fp e Fn).

A partir do modelo matemático da repetição de cada textura (*rapport*) foi possível exportar imagens bidimensionais de desenhos que serviram de base para a impressão dos filmes de cera utilizados no processo por ataque químico.

O primeiro passo para se reproduzir as texturas desenvolvidas pelo processo de ataque químico se deu a partir da impressão de cera em filmes plásticos para a criação das máscaras de proteção.

A tecnologia de texturização por ataque químico utiliza-se de processos empíricos e artesanais que dependem de diversas variáveis para a fiel reprodução do desenho das texturas, a saber: tempo de imersão do molde no banho químico; quantidade de filmes/banhos utilizados; temperatura da solução química; concentração da solução química; tipo de aço do molde; posicionamento do molde e velocidade de movimentação da solução química durante imersão. Desta forma diversas experimentações são necessárias até se atingir um nível de aparência com boa qualidade em cada textura.

A quantidade de filmes e o tempo do ataque químico em cada imersão variam em função da complexidade do desenho de cada textura e estão relacionados à profundidade final desejada da textura.

As duas empresas que desenvolveram as texturas por processo químico utilizam parâmetros diferentes para controle do ataque químico.

A empresa PKW (que reproduziu as texturas A, B, C, E, Fp e Fn) utiliza a medição do tempo de imersão para desenvolver as placas-molde. Os ataques químicos foram realizados com utilização de ácido nítrico (HNO_3).

A empresa TSP (que reproduziu as texturas G, H, I, J, K e L) utiliza a medição da profundidade de corrosão para desenvolver as placas-molde. Os ataques químicos foram realizados com utilização da solução $\text{AgNO}_3 + \text{HNO}_3$.

A figura 6 ilustra o equipamento utilizado para impressão de cera em filme plástico para construção das máscaras de proteção.

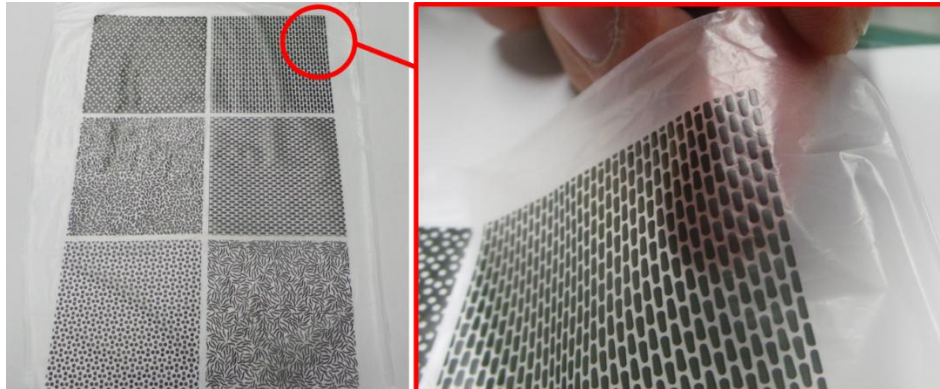
Figura 6 – Impressora de cera



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

A figura 7 ilustra exemplos de filmes impressos em cera para aplicação nas placas molde e realização da corrosão química de cada textura criada.

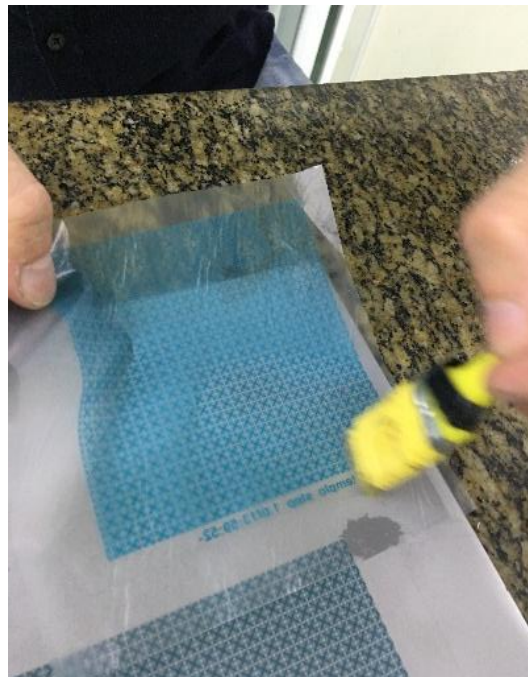
Figura 7 – Exemplos de filmes impressos com cera



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

A transferência de cera do filme plástico para a placa que será imersa no banho químico se faz pela fricção de um pincel sobre o filme. Por aquecimento a cera se desprende do filme plástico e adere à superfície metálica da placa. A figura 8 ilustra o processo de transferência de cera do filme para a placa-molde.

Figura 8– Exemplo de transferência de cera do filme plástico para a placa em aço.



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

A cera protetiva impressa nos filmes é transferida à placa de aço e em seguida o filme é removido. A placa de aço então é imersa em respectivos banhos na solução química até a corrosão do último padrão de filme. A figura 9 ilustra o processo de imersão da placa no banho químico.

Figura 9 – Imersão de molde em ataque químico

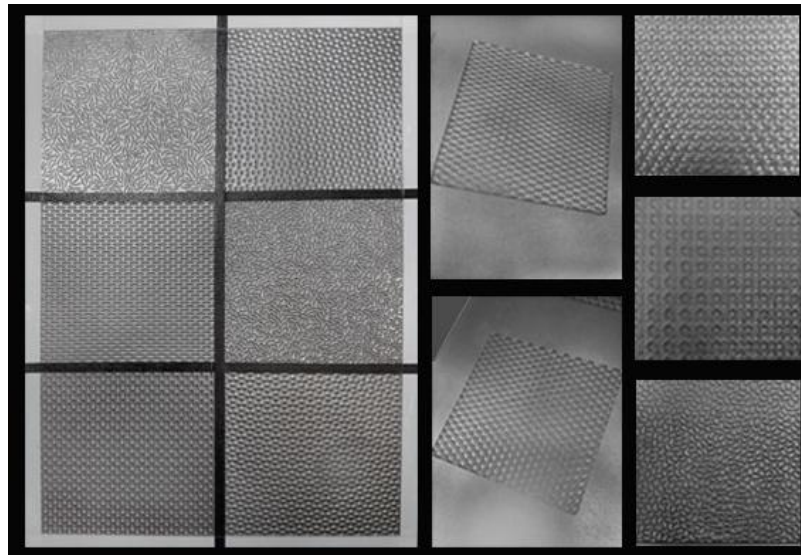


Fonte: os autores (arquivo pessoal)

Desta forma foi possível a criação de placas-molde por processo químico e a reprodução das texturas criadas pela injeção plástica das placas texturizadas.

A figura 10 mostra placa-molde com algumas das texturas reproduzidas pelo processo químico.

Figura 10 – Placas-molde para injeção de texturas reproduzidas por ataque químico



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

2.3 Injeção de amostras plásticas

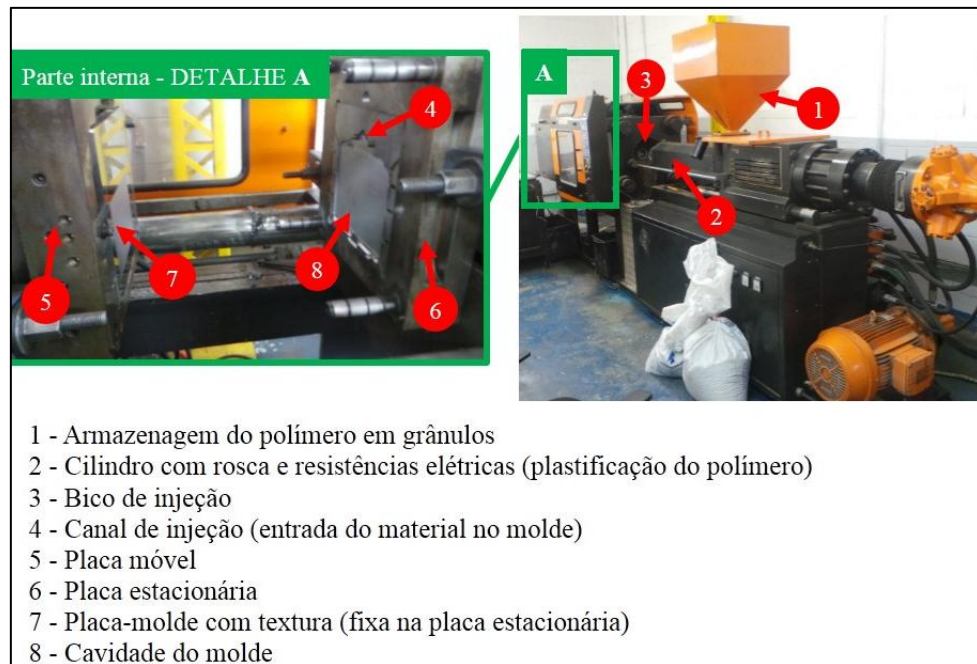
As amostras das peças plásticas texturizadas foram produzidas pelo processo de injeção. O processo de injeção plástica é realizado a partir de injetoras de plástico em moldes metálicos compostos por cavidades cujas configurações de forma devem possibilitar a

moldagem e a extração das peças plásticas com qualidade.

Todas as amostras plásticas injetadas com as texturas desenvolvidas nos dois processos de texturização (laser e químico) utilizaram matéria prima termoplástica, um copolímero de polipropileno aditivado com com carga de talco.

O quadro 5 apresenta a foto do equipamento utilizado para a injeção.

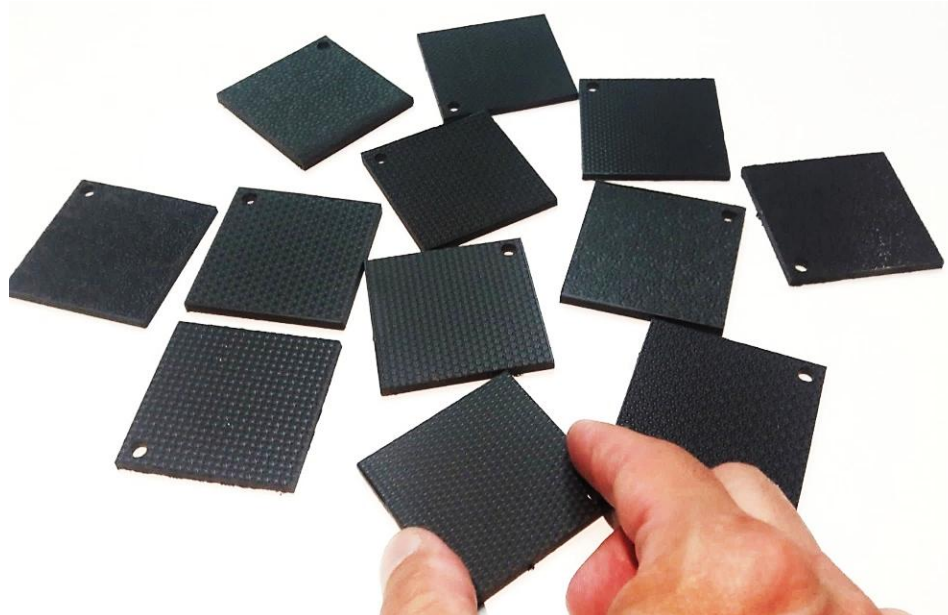
Quadro 5 – Injetora de plástico utilizada no experimento



Fonte: os autores, a partir de arquivo pessoal

A figura 11 apresenta amostras das texturas utilizadas no experimento, injetadas e recortadas nas dimensões 3mm x 50mm x 50mm.

Figura 11 – Exemplos das amostras plásticas utilizadas no experimento



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

2.4 Realização dos testes de riscabilidade

A figura 12 apresenta o equipamento *Scratcher Hardness Tester*, marca ERICHSEN modelo 430, utilizado no experimento.

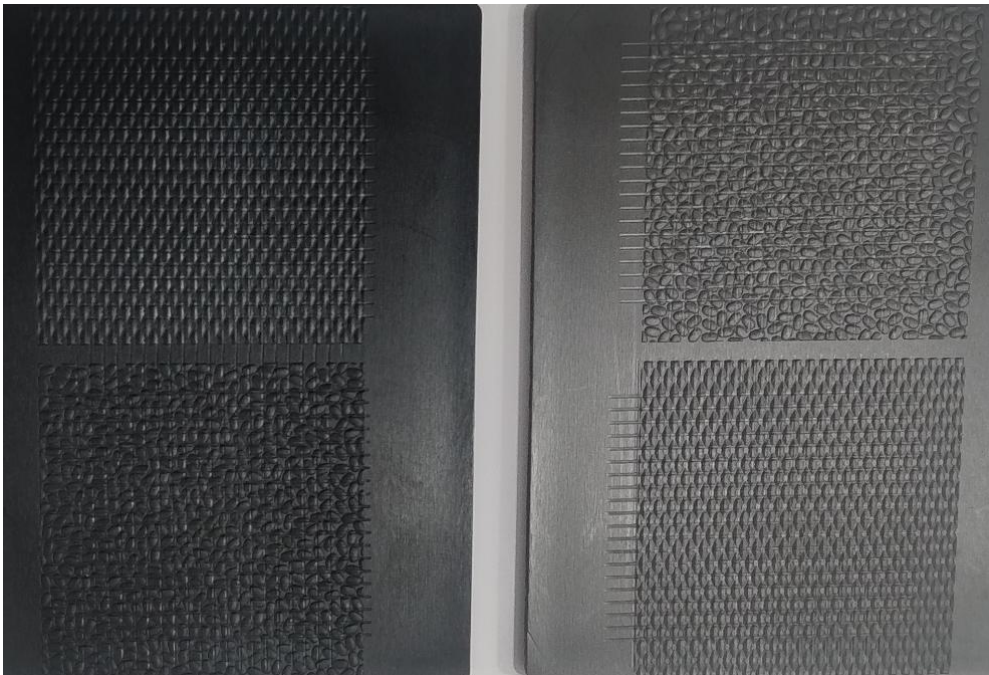
Figura 12 – Equipamento utilizado no teste de riscabilidade



Fonte: http://senze-instruments.com/erichsen_430_p.html

A figura 13 apresenta duas amostras de texturas após submissão ao teste de riscabilidade. Pode-se observar as marcas dos riscos gerados pelo equipamento.

Figura 13 – Amostras após submissão ao teste de riscabilidade



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

O quadro 6 indica as amostras aprovadas no teste de riscabilidade com base nos critérios utilizados pela Volkswagen a partir da aplicação da norma interna PV 3952.

Quadro 6 – Texturas aprovadas no teste de riscabilidade

TEXTURAS APROVADAS NO TESTE DE RISCABILIDADE													
Grupos de texturas	Texturas individuais	LASER		QUÍMICO		Total aprovadas	Laser	Químico	Somente Cinza	Somente Preto	Total aprovadas (por grupo de texturas)	Aprovadas Laser (por grupo de texturas)	Aprovadas Químico (por grupo de texturas)
		Cinza	Preto	Cinza	Preto								
Texturas orgânicas com distribuição aleatória	Fp	x	x		x	75%	100%	50%	50%	100%	43,75%	50%	37,50%
	Fn	x	x	x	x	100%	100%	100%	100%	100%			
	I					0%	0%	0%	0%	0%			
	K					0%	0%	0%	0%	0%			
Texturas orgânicas com distribuição ordenada	A	x	x	x	x	100%	100%	100%	100%	100%	43,75%	25%	62,50%
	B			x	x	50%	0%	100%	50%	50%			
	J					0%	0%	0%	0%	0%			
	L				x	25%	0%	50%	0%	50%			
Texturas geométricas com distribuição ordenada	C	x	x	x	x	100%	100%	100%	100%	100%	87,50%	87,50%	87,50%
	E	x	x	x	x	100%	100%	100%	100%	100%			
	G		x		x	50%	50%	50%	0%	100%			
	H	x	x	x	x	100%	100%	100%	100%	100%			
SOMA TOTAL		50%	58,33%	58,33%	75%	58,33%	54,16%	62,50%	50%	66,66%	-	-	-
		54,16%		62,50%									

Fonte: os autores (a partir dos testes empíricos desenvolvidos)

A figura 14 mostra o equipamento espectrofotômetro em medição de cor e brilho de uma folha vegetal.

Figura 14 – Exemplo de equipamento Espectrofotômetro



Fonte: os autores (arquivo pessoal)

3 Análise dos resultados

As doze texturas desenvolvidas foram analisadas a partir de amostras confeccionadas em: tecnologia laser e matéria-prima PP cinza; tecnologia laser e matéria-prima PP preto; tecnologia química e matéria-prima PP cinza; e tecnologia laser e matéria-prima PP preto. Desta forma, foram analisadas 48 diferentes amostras.

O objetivo destas medições foi comparar e verificar se há diferenças de comportamento nos testes de riscabilidade entre as duas tecnologias de texturização (laser e química). Adicionalmente, fez-se a comparação do comportamento dos testes nas duas cores de polímero PP (polipropileno).

As cores das matérias-primas foram medidas com um espectrofotômetro, cujos parâmetros de cor (padrão Lab) resultaram em: PP cinza L=40; a=0,65; b=0,50 e PP preto L=29,5; a=0,49; b=-0,34.

A primeira análise foi comparar a quantidade total de texturas laser aprovadas (54,16% do total das texturas laser medidas) com as texturas químicas (62,50%), o que mostrou que as duas tecnologias apresentam proporções similares de aprovação para as texturas criadas.

Ao se comparar as texturas individualmente, nota-se que cinco texturas (F,N,A,C,E,H) foram aprovadas nas duas tecnologias e nas duas cores de material. Outras três texturas (I,K,J) obtiveram comportamento semelhante entre si, sendo reprovadas nas duas tecnologias e nas duas cores de material. Estes dados permitem inferir que, para as texturas criadas, as tecnologias laser e química apresentam resultados semelhantes em relação à riscabilidade, ou seja, as tecnologias se mostraram variáveis irrelevantes para melhorar os resultados dos testes. Por outro lado, notou-se que o desenho das texturas (morfologia) é a variável que levou à aprovação ou reprovação no teste de riscabilidade.

A textura B foi aprovada somente no processo químico nas duas cores, ao passo que a textura L foi aprovada apenas em uma cor e em um processo (químico). Já a textura G obteve aprovação apenas na cor preta, nos dois processos. Estes resultados sugerem que a cor preta apresenta leve vantagem nas aprovações (66,66%) em relação à cor cinza (50%).

Ao analisar as texturas por grupos (orgânicas aleatórias, orgânicas ordenadas e

geométricas ordenadas) percebe-se que as texturas classificadas como geométricas ordenadas obtiveram melhor resultado geral nos testes (87,5% delas foram aprovadas) com mesma proporção de aprovação nas duas tecnologias, enquanto os grupos de texturas orgânicas aleatórias e de texturas orgânicas ordenadas obtiveram a mesma proporção de aprovação (43,75% em cada grupo), sendo que as texturas orgânicas aleatórias apresentaram resultados levemente melhores no processo laser (50% laser contra 37,50% no químico), enquanto que as texturas orgânicas ordenadas apresentaram melhores resultados no processo químico (62,50% no químico contra 25% no laser). Estes dados sugerem que as texturas geométricas ordenadas respondem melhor ao teste de risco do que texturas orgânicas.

O quadro 7 apresenta os grupos de texturas, a morfologia do padrão de cada textura e seus respectivos índices de aprovação nos testes de riscabilidade.

Quadro 7 – Morfologia, grupos e porcentagens de aprovações das texturas

Grupo	Padrão de textura	% de Aprovação	Grupo	Padrão de textura	% de Aprovação	Grupo	Padrão de textura	% de Aprovação
Texturas orgânicas com distribuição aleatória	Fp	75%	Texturas orgânicas com distribuição ordenada	A	100%	Texturas geométricas com distribuição ordenada	C	100%
	Fn	100%		B	50%		E	100%
	I	0%		J	0%		G	50%
	K	0%		L	25%		H	100%

Fonte: os autores

4 Conclusões

Os resultados dos testes de riscabilidade realizados com espectrofotômetro a partir das amostras de padrões de texturas obtidas pelo processo de ablação a laser e pelo processo de corrosão química, demonstraram que as tecnologias de texturização pelos dois diferentes processos não apresentaram diferenças significativas nos testes de riscabilidade pelas medições do padrão ΔL de cor.

O padrão de desenho da textura (relacionado à morfologia de cada textura, de acordo com profundidade, ângulo, dimensão, densidade, regularidade e organização formal), é a variável que aparenta estar mais associada aos resultados de riscabilidade.

Adicionalmente, a partir da comparação dos resultados entre as amostras avaliadas em diferentes tonalidades de cor das peças injetadas (amostras injetadas na cor cinza comparadas com amostras injetadas na cor preta), observou-se que os resultados apresentaram mais de 91% de similaridade, sendo que em apenas 8,33% das comparações, as amostras de polímero injetadas na cor preta apresentaram ser ligeiramente mais favoráveis à aprovação.



Referências

- BROWN, T. **Design Thinking**: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- FREITAS, R.O.T. **Design de Superfície**: as ações comunicacionais táteis no processo de criação. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2011.
- GOMES FILHO, J. **Design do Objeto**: Bases conceituais. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2020.
- KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. Material considerations in product design: A survey on crucial material aspects used by product designers. In: **Materials & Design**, v.29, n.6, p. 1081-1089, 2008.
- _____. Meanings of materials through sensorial properties and manufacturing processes. In: **Materials & Design**, v.30, n.7, p. 2778–2784, 2009.
- KINDLEIN JR., Wilson; COLLET, Iara B.; DISCHINGER, Maria do Carmo T. Desenvolvimento de texturas como fator de Design Emocional. In: MONT'ALVÃO, Claudia; DAMAZIO, Vera (orgs.). **Design, Ergonomia e Emoção**. Rio de Janeiro: FAPERJ: Mauad X, 2008.
- RINALDI, R. M. **A intervenção do design nas superfícies projetadas**: processos multifacetados e estudos de caso. 204 f. Tese (Doutorado em Design). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru, 2013.
- SCHWARTZ, A. R. D.; NEVES, A. F.; RÜTHSCHILLING, E. Design de superfície: por uma abordagem projetual, geométrica e tridimensional. **Revista Produção Gráfica**, Edição Especial 2008. p.143-163, 2008.
- SCHWARTZ, A. R. D. Abordagens para Análise e Projeção em Design de Superfície. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 8., 2008. **Anais Eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.aendbrasil.org.br/ped.htm>>. Acesso em 20 abril 2017.
- YANAGISAWA, H.; TAKATSUJI, K. Effects of visual expectation on perceived tactile perception: an evaluation method of surface texture with expectation effect. **International Journal of Design**, v. 9, n.1, p.39-51, 2015.