

Seleção de termoplásticos e processo multimateriais para projeto de utensílios domésticos bi-componentes

Daniel C. Mazzuca¹; Eduardo L. Schneider²; Maximilian R. Bretschneider³; Moises M. Dias⁴

¹ Universidade Feevale Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e processos Industriais

³ Universidade Feevale Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e processos Industriais

² Departamento de Engenharia de Materiais-DEMAT Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais-PPG3M- UFRGS

⁴ Universidade Feevale

RESUMO

Introduzir novos materiais e transformá-los em produtos diferenciados, por meio de processos adequados, é um dos desafios da área de desenvolvimento de produtos. Este estudo detalha o projeto de utensílio doméstico - colher para preparo alimentos - com propostas de substituição dos materiais empregados convencionalmente no mercado, com a premissa de explorar o toque suave e a flexibilidade da forma que os Elastômeros Termoplásticos (TPEs) podem proporcionar. O presente trabalho descreve diferentes tipos de processos industriais de injeção multimateriais, destacando critérios para a seleção adequada do processo. Foi empregada a metodologia de seleção de materiais de Ashby, complementando métodos projetuais de design de Bonsiepe. Foi realizada uma comparação de materiais computadorizada com o software Cambridge Engineering Selector, a fim de comparar propriedades relevantes para a função estrutural e pelas restrições de resistir a temperaturas elevadas, decorrente do uso no processo de cozimento de alimentos. Além disso, foram realizadas análises com o software CAE SolidWorks Plastics, para simular o preenchimento das cavidades do molde com diferentes polímeros, analisando o tempo de preenchimento e resfriamento, pressão, temperatura, cisalhamento e rechupes. Os resultados encontrados com o software CES Selector, permitiram destacar duas possibilidades de seleção focada principalmente na resistência térmica. Os candidatos mais promissores encontrados foram o PA6 para a parte rígida e o TPA para a parte flexível ou PBT para a parte rígida e TPC para a parte flexível. Contudo, a classe de TPEs encontrou dificuldade em substituir o silicone com a mesma performance no critério de temperatura máxima de trabalho. Mesmo assim a combinação PA6 com TPA mostrou-se satisfatória. Já o resultado da simulação do processo de injeção apresentou-se promissor, devido ao bom preenchimento da cavidade. Os resultados indicam que a união do PA6 com o TPA é a melhor escolha, considerando o valor de mercado da resina, o módulo de elasticidade, a energia incorporada, a temperatura de trabalho e o processamento simulado da co-injeção da dupla de materiais.

PALAVRAS-CHAVE

Desenvolvimento de produtos; seleção de materiais; utensílios domésticos; Elastômeros Termoplásticos; processo de injeção multimateriais.

Selection of thermoplastics and multishot process for bi-component household design

ABSTRACT

Introduce new materials and turn them into differentiated products through applicable processes and one of the challenges of product development. This study details the design of the household utensil - food preparation spoon - with proposals for replacing conventionally used materials on the market, with the premise of exploring the soft feel and flexibility of how thermoplastic elastomers (TPEs) can use. This paper describes different types of industrial multi-material injection processes, highlighting the requirements for proper process selection. Ashby's material selection methodology was employed, complementing Bonsiepe's design design methods. A computerized material comparison was performed with the Cambridge Engineering Selector software, a comparison that includes the requirements for structural functions and high temperature resistance constraints resulting from use in the food cooking process. In addition, they were analyzed using CAE SolidWorks Plastics software to simulate or fill mold cavities with different polymers, analyze fill and cool time, pressure, temperature, shear and reapplication. The results found with CES Selector software allowed to highlight two selection possibilities focusing mainly on thermal resistance. The most promising candidates found were the rigid part PA6 and the flexible part TPA or the rigid part PBT and the flexible part TPC. However, one class of TPEs found it difficult to replace silicone with the same performance at the maximum working temperature criterion. Even so, the combination PA6 with TPA was satisfactory. It is already the result of the simulation of the injection process displayed, if due to the good filling of the cavity. The results that determine the union of PA6 with TPA are the best choice considering the resin market value, elastic modulus, incorporated energy, working temperature and simulated co-injection processing of the material pair.

KEYWORDS

product development; materials selection; household items; Thermoplastic Elastomers; multi-material injection process.

1. INTRODUÇÃO

Este projeto adota a metodologia híbrida demonstrada na **Figura 1**, baseada nas propostas apresentadas por autores consultados na revisão bibliográfica em diferentes áreas de pesquisa, no desenvolvimento de produtos e na seleção de materiais. Na busca por métodos a serem aplicados, as principais obras consultadas foram Baxter (2011), Bonsiepe (1984), e Ashby (2011). O método deste trabalho utilizou a seleção de materiais, de Ashby (2011), que inserido na macroestrutura de etapas de Bonsiepe (1984), compôs o método por práticas de design, combinando o “processo criativo” e “criação sistemática de variáveis”, de Bonsiepe (1984), e a “permutação das características do produto” proposta por Baxter (2011).

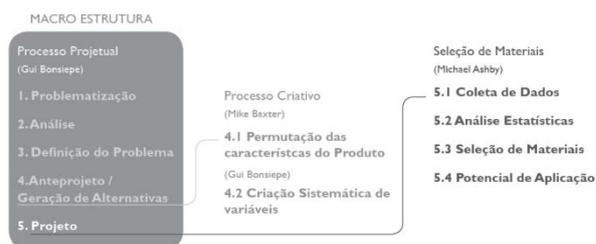


Figura 1 Metodologia híbrida. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme ilustrado na **Figura 1**, inicialmente foi feita a estruturação do problema projetual. Após, foram discutidas questões acerca dos materiais e processos em voga no ambiente industrial moderno, constituindo a problematização deste estudo.

1.1 Processo Multicomponentes

Conforme dados da Associação Brasileira da Indústria do Plástico - ABIPLAST (2015), entre os principais setores que empregam no Brasil, o segmento de transformação de plástico é o que demanda maior percentual de mão-de-obra qualificada: 54,3% destes trabalhadores possuem ensino médio completo. Entre as técnicas de moldagem para materiais plásticos, a injeção é a mais utilizada em produtos que se destinam ao consumidor final, como setor automotivo e utilidades domésticas. Conforme ilustrado na **Figura 2**, o procedimento mais utilizado no setor é a extrusão, que produz principalmente filmes plásticos e componentes para a construção civil. A representatividade do processo de injeção também mostra-se significativa, totalizando 30% dos processos produtivos utilizados na produção de transformados plásticos.

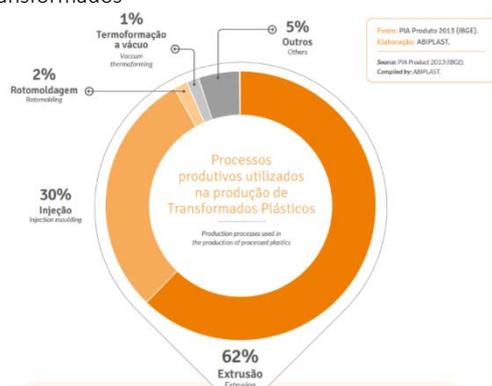


Figura 2 Setor de transformação de plástico. Fonte: Abiplast (2015).

Segundo Ferrante (2002), os polímeros são facilmente processados para se obter a configuração final desejada. Mesmo que exista a possibilidade do fornecimento de barras,

chapas, tarugos ou perfis para usiná-los ou cortá-los, a atitude mais comum é conformar diretamente o produto. Neste caso, uma operação, em geral, é suficiente e pode ser dispensado outro processo de acabamento final da peça.

Callister Jr. (2007) expõe que diferentes técnicas são empregadas na conformação dos materiais poliméricos e o método usado depende de diversos fatores: (1) se o material é termoplástico ou termofixo; (2) se ele for termoplástico, da temperatura na qual ele amolece; (3) da estabilidade atmosférica do material que está sendo conformado; e (4) da geometria e do tamanho do produto acabado. Um benefício econômico no uso de termoplásticos é a possibilidade de reciclar peças descartadas, pois esta categoria pode ser fundida novamente e reconformada em novos formatos.

Thompson (2010) elege a injeção como um dos principais processos usados na fabricação de produtos plásticos e é própria para produção em larga escala e baixa variabilidade. Derivações do processo de injeção incluem assistência por gás, Multishot e in-Mold decoration. Ashby (2011) comenta que os grânulos de polímeros são depositados e misturados por uma rosca sem fim para serem amolecidos e misturados. Logo após da formação desta massa, ela é forçada a passar por um ou mais canais e entrar no molde, onde é solidificado.

Segundo Harada (2004), o processo de injeção interfere significativamente no resultado final do produto, pois pontos de entrada, linhas de partição e dimensões devem ser avaliados. Para componentes técnicos não é relevante o aspecto estético. Por outro lado, existem produtos que não necessitam de dimensões e propriedades rigorosas, mas cuja aparência é bastante importante, por exemplo: brinquedos, utilidades domésticas, adornos e outros.

De maneira geral, Thompson (2010) alerta que as restrições para o processo de injeção são econômicas, custam menos quando é utilizada uma linha simples de partição do conjunto de cavidades. Os processos mais caros são decorrentes de geometrias mais complexas, que possuem um tamanho muito grande como para-choques de carros ou ferramentas com espessuras muito finas. O ciclo de injeção geralmente dura entre 30 e 60 segundos dependendo do tamanho do objeto. A mão-de-obra é outro ponto relevante nos custos, por impactar em atividades como as operações manuais de preparo das matrizes e o acabamento das peças necessário posteriormente ao processo.

Ainda segundo Thompson (2010), o desenvolvimento de produtos para a moldagem por injeção é complexo e demanda o envolvimento de designers, especialistas em polímeros, engenheiros e ferramenteiros. A total colaboração destes experts proporcionará muitos benefícios para o processo. O processo de injeção opera em elevadas temperaturas e injeta material viscoso na cavidade da matriz em alta pressão. Isto significa que problemas podem ocorrer devido a contração e o estresse acumulado. A contração pode resultar no empenamento, deformação e rechupes. A pressão pode acumular-se em áreas com arestas finas e ângulos de saída que são muito pequenos. Esses ângulos de saída devem ser de, pelo menos, 0,5° para evitar dificuldades durante a extração de peças do molde. O plástico deve preencher toda a cavidade e, para um melhor resultado, a parede do produto deve ser uniforme, ou variar apenas 10%. Paredes desiguais resultam em diferentes taxas de resfriamentos, o que contribui para o empenamento da peça.

Ashby (2011) explica que o recurso de decoração diretamente no molde evita processamentos secundários e agrega cores, gravuras e desenhos. Para produtos com uma superfície plana ou com uma leve concavidade pode-se utilizar um rolo contínuo. Para superfícies mais complexas, a folha é recortada e inserida na cavidade antes da injeção. Com isso, a

resina líquida e em elevada temperatura é depositada ligando-se ao filme decorativo.

Thompson (2010) expôs uma técnica de injeção com gás, utilizada em um processo em massa no ano de 1985. A tecnologia foi aprimorada e hoje encontra-se na terceira geração. Inicialmente, foi desenvolvida para resolver problemas de superfície causados pela contração. O procedimento consiste em uma certa quantidade de gás soprada para dentro da peça durante o ciclo de injeção para aplicar uma pressão interna, antes da abertura do molde. É possível observar na **Figura 3a**, à esquerda, que na primeira etapa o polímero é depositado na cavidade, mas não preenche completamente. Já à direita, também na **Figura 3b**, o gás é soprado formando uma bolha que ajuda o polímero a completar a cavidade e, então, é finalizado o processo, obtendo-se uma peça oca.

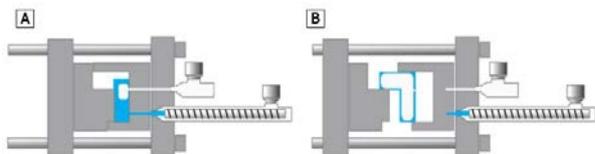


Figura 3 (a) À esquerda início do gás, (b) à direita extração da peça oca. Fonte: próprio autor, 2017

A co-injeção permite moldagem de peças com um ou mais materiais, cores e características diferentes. O processo de injeção com dois ou mais tipos de materiais no mesmo processo é também denominado de *Multishot* ou *Overmolding*. *Overmolding* é um termo usado para descrever a modelagem por injeção com a adição de algum material pré-formado, incluindo outro termoplástico, ou metal, por exemplo.

Conforme Rees (1994) o produto extraído do molde com dois componentes pode ser resultante de três diferentes processos: a co-injeção; a sobre injeção com gaveta e sobre injeção com troca de molde. Para a obtenção de um produto injetado com a parte interna de um determinado material e a parte externa (uma casca) de um segundo material, conforme a **Figura 4b** utiliza-se a co-injeção. Este processo consiste, primeiramente, na injeção da parte externa. Depois é injetada a parte interna, que empurrará a primeira resina, estando ambas ainda em suas formas líquidas. O material da extremidade resfriará antes, enquanto o material central continuará resfriando e preenchendo todo o interior, formando uma espécie de miolo como é descrito por Charrier (1990, apud OLIVEIRA, 2015), como exemplifica e ilustra a **Figura 4a**.

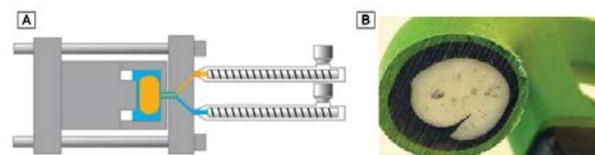


Figura 4 (a) À esquerda sistema de co-injeção, (b) à direita aplicação em corte. Fonte: próprio autor, 2017.

O processo de injeção *Multishot* usa as injetoras convencionais. É possível injetar simultaneamente até seis diferentes materiais, segundo Thompson (2010). Uma variação deste processo é a injeção com dois pontos de injeção, a **Figura 5a** apresenta de forma esquemática o preenchimento de cada metade da cavidade por diferentes pontos de injeção e na **Figura 5b** é apresentada uma peça que utiliza do recurso mencionado para sua fabricação.

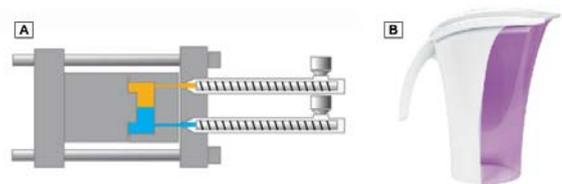


Figura 5 (a) À esquerda sistema de co-injeção, (b) à direita exemplo de aplicação. Fonte: próprio autor, 2017.

A sobre injeção com gaveta faz uso de um elemento móvel, para assegurar que será reservado um espaço na cavidade do molde para um segundo material, enquanto o primeiro é injetado. No momento em que o segundo material é injetado, este elemento móvel é recolhido para que o espaço reservado na primeira etapa seja preenchido, de acordo com Rees (1994), mostrado na **Figura 6a** e **Figura 6b**.

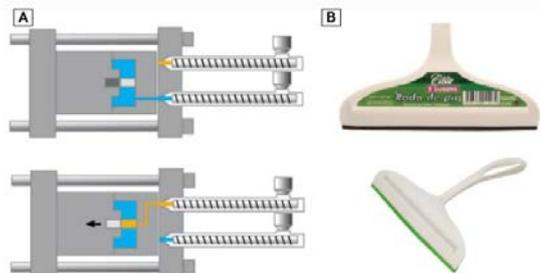


Figura 6 (a) À esquerda o elemento móvel, (b) à direita exemplo de aplicação.

A sobre injeção com troca de moldes consiste na troca da peça ou no giro de uma das duas placas do conjunto do molde. No caso da troca de moldes, geralmente, essa substituição é feita por um robô, que aguarda a injeção do primeiro material, extrai a peça recém injetada e a transfere para outro conjunto de placas, onde ocorrerá um novo fechamento e a injeção do segundo material tal qual a concepção de Charrier (1990, apud OLIVEIRA, 2015) como apresenta a **Figura 7a** e exemplificado na **Figura 7b**.

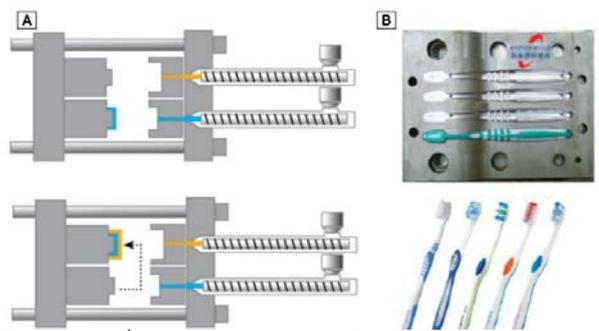


Figura 7 (a) À esquerda a troca de cavidades, (b) à direita exemplo de aplicação.

Thompson (2010) esclarece que o produto é feito por duas partes: uma parte é estática e a outra é rotativa. Assim como a injeção normal, esse processo pode ter núcleos complexos e outros recursos.

De acordo com o ilustrado e relatado por Thompson (2010), na **Figura 8a**, no primeiro estágio, os polímeros X e Y são injetados ao mesmo tempo em diferentes cavidades: o polímero X é injetado na cavidade menor; enquanto isso, o polímero Y é injetado na cavidade maior, sobre a peça injetada anteriormente. O resultado obtido é uma forma unida fortemente pela fusão sobre pressão. Na **Figura 8b**, os conjuntos de cavidades são separados e o canal de injeção removido da primeira etapa de injeção. Enquanto na cavidade maior, X, a peça final é extraída. Na **Figura 8c** acontece uma

rotação na qual os conjuntos de cavidades são alinhados de forma trocada. Já no próximo estágio a **Figura 8a** se repete, pois os conjuntos de cavidades se fecham novamente e a sequência de etapas é reiniciada.

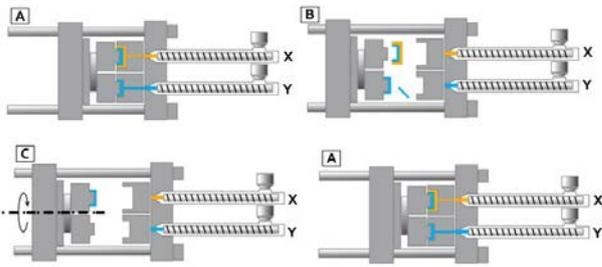


Figura 8 (a) Primeira etapa sobre injeção, (b) etapa de abertura e (c) etapa do giro de cavidades. Fonte: próprio autor, 2017.

Thompson (2010) complementa descrevendo a injeção Multishot que possui importantes benefícios, principalmente, em produtos que sejam necessárias as combinações das características de dois materiais diferentes, tais como: rigidez, tenacidade, resistência ao impacto e transparência do Policarbonato, aliado com o fechamento hermético, e a flexibilidade para compor o botão de acionamento do TPE, como o exemplo da **Figura 9**.



Figura 9: Sobre injeção com molde giratório. Fonte: Thompson (2010).

Lefteri (2010) considera a injeção com inserto uma outra opção de se obter uma injeção com componentes múltiplos. O método consiste na colocação prévia de um objeto, uma peça, dentro da cavidade a ser injetada, com isso a união acontecerá durante o processo de preenchimento do molde. Segundo o autor, este processo minimiza a mão de obra e o custo, conseqüentemente, além de possibilitar a união de elementos metálicos, cerâmicos e outras classes com a resina polimérica. Outro potencial de aplicação é a combinação com outras tecnologias de adição de materiais, como a sobre injeção. Este processo é demonstrado esquematicamente pela **Figura 10a** e exemplificado pela **Figura 10b**.

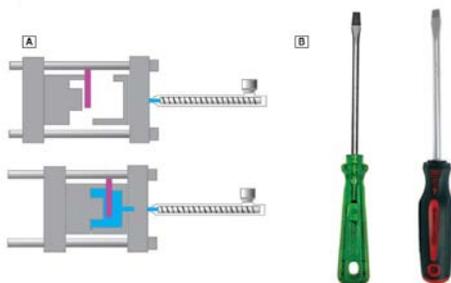


Figura 10 (a) À esquerda o inserto na cavidade, (b) à direita exemplo de aplicação. Fonte: próprio autor, 2017.

Para Thompson (2010), o processo e a seleção de materiais são essenciais para a concepção do produto. Economicamente, trata-se de um equilíbrio entre os custos de investimento (pesquisa, desenvolvimento e ferramental) e custos de funcionamento (trabalho e materiais). Segundo o autor, o papel do designer é garantir que a tecnologia disponível entregará o nível esperado de qualidade. Elevados custos de investimento são geralmente justificáveis para os produtos de alto volume, enquanto os produtos de baixo volume são limitados pelos elevados custos de mão de obra e materiais.

Thompson (2010) conclui que, o ponto de inflexão acontece quando os volumes estimados superam os custos iniciais. Isto pode acontecer antes que um produto tenha atingido o mercado, ou após anos de fabricação em volumes relativamente baixos. O custo dos materiais tende a ter um maior impacto em processos de alto volume. Isso ocorre porque os custos do trabalho são geralmente reduzidos através da automação.

Segundo a revista Plástico Industrial, além da afinidade entre as resinas, o perfil de encontro entre os componentes é outro ponto importante. Conforme a **Figura 11**, diferentes perfis foram testados, valores médios da força de tração necessária para a fratura de corpos de prova constituídos de PBT/PBT. Tanto a geometria da superfície de união, como a duração e intensidade do controle dinâmico de temperatura influenciam a carga máxima necessária para a fratura do corpo de prova.

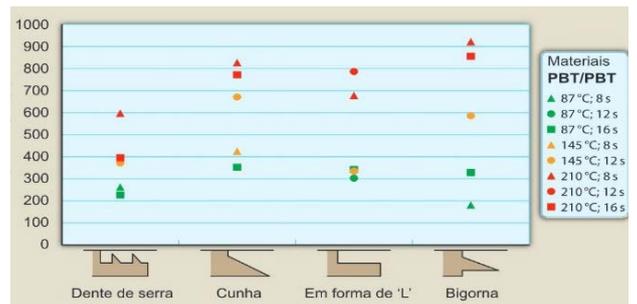


Figura 11 Perfil de União – TPEs. Fonte: http://www.arandanet.com.br/midiaonline/plastico_industrial/2016/novembro/index.php, 2016

Segundo Kleeschult e Moritzer (2016), a forma de L e de Cunha se destacaram como os melhores resultados, independente das temperaturas, entretanto a geometria em Cunha apresentou dificuldades no preenchimento da cavidade, o que permite eleger a forma de L a mais indicada em processos multimateriais e destaca a importância da linha de solda entre os materiais.

1.2 Análises de estudo de caso

A pesquisa diacrônica revela que ao longo do tempo o surgimento e a consolidação do uso das ferramentas na culinária ditaram os padrões que são utilizados até os dias de hoje. Exemplos representativos destas modificações podem ser verificados, conforme mostra a **Figura 12**.



Figura 12 Análise diacrônica do conjunto de utensílios domésticos. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A análise sincrônica mostra que a maioria dos concorrentes exploram a parte emborrachada para o cabo, já outros fazem uso na ponta, que entra em contato com a panela. A Joseph and Joseph faz um conjunto multicolorido, a Oxo opta pela configuração monocromática e a Le Creuset apresenta duas cores, mas a mesma combinação para todos itens do conjunto de utensílios. Os preços variam para cada concorrente, com atenção especial para a Le Creuset que tem uma estratégia da venda unitária. Morfologicamente, é possível ver uma proporção padrão do cabo para o todo dos utensílios. Também é visível que a Joseph and Joseph busca uma forma mais pura, geométrica e com uma transição suave entre as partes, diferente dos outros dois que possuem formas mais complexas e orgânicas como é demonstrado pelas linhas em vermelho da **Figura 13**.



Figura 13 Análise sincrônica de colheres das marcas Joseph and Joseph, Oxo e Le Creuset. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A estrutura da colher é composta pelo cabo e a parte côncava. Entretanto analisando mais detalhadamente foram encontrados outros componentes e constatada a injeção bicomponente na parte côncava e um processo adicional de encaixe destas duas partes. Cortando a secção do produto foi possível visualizar um inserto metálico, provavelmente inserido durante a injeção. A **Figura 14** mostra estas constatações.



Figura 14 Análise estrutural da colher Le Creuset. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A ergonomia do produto atende perfeitamente seu uso durante o preparo. A flexibilidade é altamente importante para um melhor desempenho na coleta de alimentos, tanto na superfície plana, quanto nos cantos das panelas. A **Figura 15**, que demonstra exatamente o que foi descrito anteriormente, e para dimensionar a relevância deste recurso, é necessário informar que este projeto obteve a premiação *Red Dot*, que é uma das mais importantes na área de design de produtos.

1.3 Definição do problema

A metodologia híbrida na parte específica de seleção de materiais visa entender a função, as restrições, o objetivo e as variáveis livres do projeto. A definição do problema visou

hierarquizar as principais questões relacionadas ao projeto para guiar a tomada de decisão e tornar claros os requisitos e restrições. Para isso, foram utilizadas todas as análises anteriores.

Conforme visto na análise de uso, as colheres têm um contato com alimentos, portanto todos os materiais devem ser atóxicos conforme indicação da Food and Drugs Administration (FDA, 2017) e regulamentado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2017), agências referências na fiscalização de produtos danosos ao organismo humano. Desta forma, materiais contendo Bisfenol A não são permitidos no projeto.

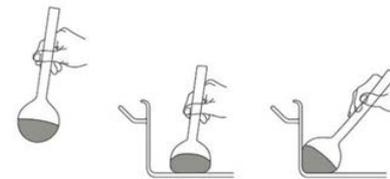


Figura 15 Análise estrutural da colher Le Creuset. Fonte: <http://www.red-dot.sg/zh/online-exhibition/concept/?code=951&y=2013&c=7&a=0>, 2016.

Durante a análise de uso, foram verificadas as condições de temperatura em que os utensílios são expostos em panelas e frigideiras. Esta análise definiu o preparo de alimentos com óleo como ponto crítico do projeto, pois é possível atingir uma faixa de temperatura superior aos 150°C em um curto intervalo de tempo. A análise sincrônica também fornece dados para estipular um valor seguro para o produto em questão, pois foi verificado que a temperatura máxima de trabalho das principais empresas do ramo de utilidade doméstica deve estar entre 170°C e 200°C, apropriado para o preparo de alimentos durante o cozimento, porém sem degradar o material.

Na análise de uso, a temperatura de trabalho exigida é de 100°C para alimentos com elevada concentração de água, porém óleos, comumente usados, podem atingir temperaturas superiores. Óleo refinado tipo 1 possui a temperatura de ebulição de 230º, já o óleo refinado tipo 2, 210º. Além disso, boas práticas de culinária recomendam que para a conservação das características físico-químicas do óleo (pra fazer uma boa fritura sem estragar o óleo) a temperatura deve ser menor que 180°C. Assim, estas constatações permitem considerar que seja adequado como requisito de seleção dos materiais, uma temperatura de trabalho máxima de 200°C.

O estudo funcional evidencia a importância da rigidez na parte do cabo, pois oferece segurança no manuseio do produto sem que venha a ocorrer uma deformação elástica excessiva. Já a parte flexível deve apresentar adaptabilidade, maleabilidade e proteção contra riscos nas superfícies de panelas e frigideiras.

A análise estrutural demonstrou um número significativo de processos para a confecção do produto analisado. Para minimizar o impacto financeiro o presente projeto deve apresentar uma solução mais econômica, que envolva um menor número de componentes. A seleção dos processos de fabricação deve primar pela otimização de recurso financeiros.

A morfologia dos utensílios concorrentes de mercado mostrou produtos de alta ordem geométrica e harmônicos. O novo produto deve buscar um diferencial estético, mas sem prejudicar a funcionalidade.

A metodologia híbrida na parte específica de seleção de materiais visa entender a função, as restrições, o objetivo e as variáveis livres do projeto, o que colabora também para a definição do problema:

- As funções do produto são servir e preparar o alimento;
- As principais restrições são a temperatura de trabalho elevada, a união de peças com materiais distintos, a não utilização de termofixos e a geometria adequada para o processo de injeção multimateriais;
- O objetivo principal é otimizar recursos no processo de fabricação e a obtenção de um produto com uma parte rígida e outra flexível;
- As variáveis livres são os materiais termoplásticos e a combinação entre eles.

O público ao qual se destina o produto vive em um cenário dominado pelas redes sociais e compartilha hábitos e experiências alimentares, o consumidor aprecia a apresentação dos pratos, assim como vê em programas de culinária um ótimo entretenimento. Em geral, são mulheres, vaidosas e atarefadas, mas homens também fazem uso no preparo de alimentos e ambos buscam uma alimentação mais saudável e também penduram os utensílios para fácil acesso ou como decoração na cozinha. O painel da **Figura 16**, agrupa todo este contexto.



Figura 16 Painel do estilo de vida do consumidor. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

1.4 Anteprojeto

Neste tópico foram geradas as alternativas para o desenvolvimento do novo produto, considerando as etapas anteriores (análises e hierarquização dos requisitos).

Com base nas análises e na pesquisa de referencial teórico foram elaboradas alternativas com a premissa de aliar a flexibilidade e rigidez com o processo de injeção multimateriais. A **Figura 17** apresenta esboços das gerações sistemáticas de variáveis.

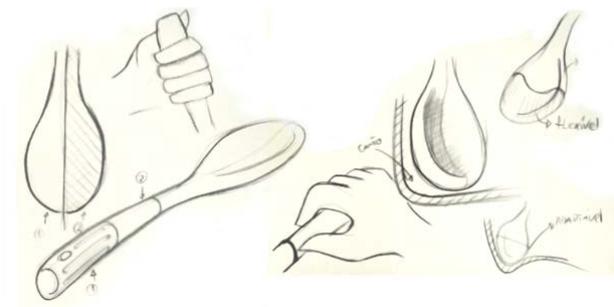


Figura 17 Geração de alternativas (colher). Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Entretanto, foi constatado que a permutação das características dos produtos era a ferramenta mais adequada para estudar as diferentes configurações possíveis, pois tratava de um rearranjo do produto com uma nova região flexível. A **Figura 18** apresenta algumas alternativas geradas com a parte elastomérica em verde. Da esquerda para a direita, pode-se notar: primeiramente a alternativa com a

parte elastomérica no cabo; posteriormente, na ponta; a penúltima proposta no centro; já a última divide a colher verticalmente com uma parte rígida e a outra flexível.

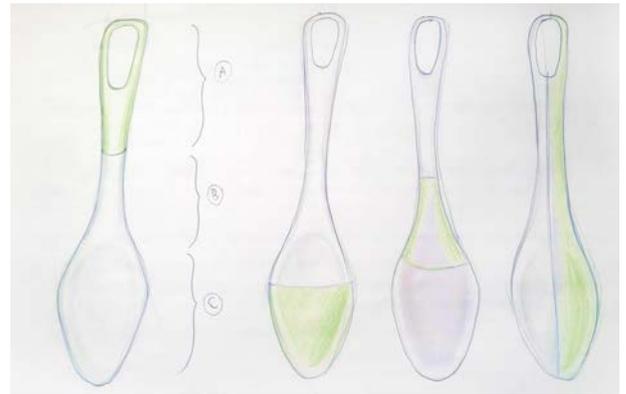


Figura 18 Permutação das características do produto (colher). Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

As alternativas foram comparadas e eleita a solução que mais se aproxima do ideal para o projeto em questão. As linhas de funcionalidade e de atributo estético permitem relacionar os dois requisitos de projeto, como é esquematizado na **Figura 19**.

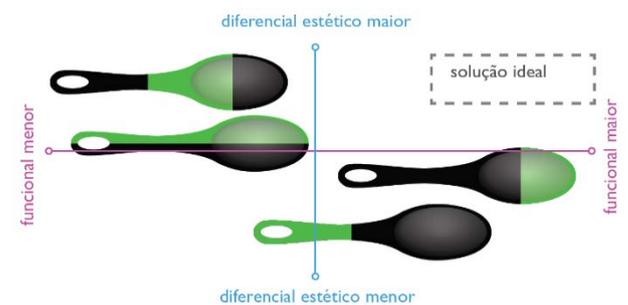


Figura 19 Permutação das características do produto (colher). Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Por fim, a alternativa selecionada foi virtualizada no software CAD *SolidWorks*, para detalhar a proposta e permitir a visualização em forma de imagem (*Rendering*) e elaborar testes no módulo *CAE SolidWorks Plastics*, apresentado na **Figura 20**.

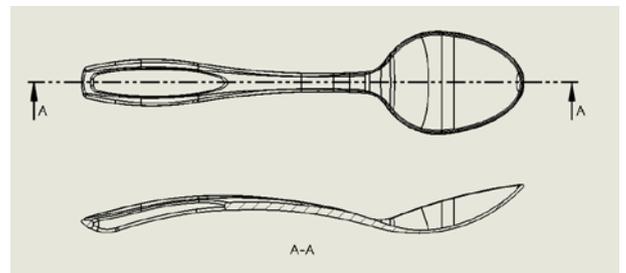


Figura 20 Virtualização da proposta (colher). Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

2. SELEÇÃO DE MATERIAIS E PROCESSOS

Para a seleção de materiais com potencial de serem utilizados nas partes da pega e na parte côncava da colher, realizou-se uma seleção de materiais computadorizada com o software *Cambridge Engineering Selector®* (CES EduPack, 2015) a fim de verificar materiais como os Elastômeros Termoplásticos (TPEs).

Também foram avaliados outros termoplásticos e elastômeros que possam apresentar melhores propriedades frente aos requerimentos necessários para o produto em questão. O software CES possibilitou a realização, de modo virtual, do cruzamento das propriedades dos materiais, onde, a partir de um banco de dados, se fez a triagem dos materiais.

Existem duas áreas funcionais no utensílio: a ponta, que é côncava, e o cabo. Neste projeto serão utilizados dois materiais, diferentes um rígido e outro flexível. A seleção de materiais da parte da pega levou em conta a necessidade de uma adequada resistência mecânica para não ultrapassar o limite elástico de material com os esforços mecânicos, oriundo dos movimentos de interação com alimentos mais densos e viscosos. Outras características relevantes foram a necessidade de uma elevada rigidez estrutural para que pudesse ser utilizada sem excessivas deformações dentro do regime elástico e a elevada temperatura máxima de trabalho para que, tanto os materiais do cabo como da ponta, suportem as temperaturas atingidas na fervura durante a mistura de sopas ou molhos. Por outro lado, os coeficientes de expansão térmica de ambos materiais devem possuir valores próximos em função da elevada variação de temperatura durante o uso do produto, para que não ocorra uma dilatação consideravelmente maior em um dos materiais e o outro não dilate na mesma proporção. Visto que compõem um mesmo corpo, a união entre as partes poderia ser prejudicada pelas tensões térmicas que provocaria o desprendimento das partes com os ciclos térmicos muito diferentes. Já o preço é uma variável, que via de regra, viabiliza ou não um projeto. Foi levada em consideração a questão ambiental e para este propósito avaliou-se a energia incorporada nos materiais analisados.

Seguindo a metodologia, três gráficos comparativos foram elaborados para a seleção de materiais termoplásticos e elastômeros: tensão de escoamento versus preço, temperatura máxima de trabalho versus o coeficiente de

expansão térmica e energia incorporada versus módulo de elasticidade.

Após o estudo e entendimento dos diversos processos de união de peças e injeção multicomponentes, realizada na etapa de Revisão de Literatura, a união durante o processo de injeção foi escolhida e, a partir disso, foi realizada uma compilação das principais características em uma tabela de classificação de atributos (nível de automação, liberdade de geometria, quantidade mínima de cavidades, investimento financeiro, demanda de espaço, tempo de ciclo), como objetivo de assessorar na seleção adequada do processo. O nível de automação, é relativo ao maquinário, robôs ou mecanismos de movimento necessários para fazer a injeção com dois ou mais materiais. O conjunto de uma cavidade denominada de "Macho" e outra de "Fêmea" é o mínimo para realizar qualquer tipo de processo de injeção, entretanto muitas vezes em um processo que injeta mais de um tipo de componente é comum a troca parcial ou total, somando ao total de cavidades envolvidas no processo. Muito atrelado ao nível de automação, o investimento financeiro é altamente determinante na escolha do processo. A área fabril é limitada pela estrutura arquitetônica existente e a implantação de novas máquinas devem respeitar este espaço, principalmente as que requerem automação. Finalmente, outro fator ligado a capacidade produtiva é o tempo da injeção da peça, que depende muito da geometria e refrigeração. Entretanto, quanto maior o número de cavidades preenchidas ao mesmo tempo, mais reduzido o tempo total de Ciclo.

Para a elaboração dessa tabela comparativa foram pré-selecionados processo de injeção de duas resinas termoplásticas, conforme a necessidade do estudo de caso. As figuras esquemáticas foram compiladas na **Figura 21** com características e números respectivos conforme segue: (01) Co-injeção; (02) Co-injeção com dois pontos; (03) Sobre injeção com elemento móvel; (04) Sobre injeção com troca de molde; (05) Sobre injeção com molde giratório.

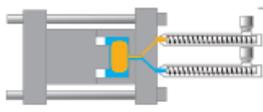
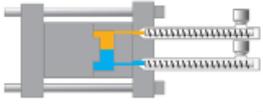
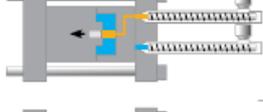
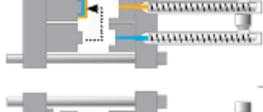
	Nível de Automação	Liberdade de Geometria	Quant. Min. Cavidades	Investimento Financeiro	Demanda de Espaço	Tempo de Ciclo
01 	Baixo	Baixa	Mac/Fem	Baixo	Baixa	Médio
02 	Baixo	Baixa	Mac/Fem	Baixo	Baixa	Médio
03 	Médio	Média	Mac/Fem	Médio	Média	Alto
04 	Muito Alto	Muito Alta	2Mac/2Fem	Muito Alto	Muito Alta	Baixo
05 	Alto	Alta	2Mac*/2Fem *mesma geometria	Alto	Alta	Baixo

Figura 21 Classificação das características dos processos multimateriais. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

O processo de número 2, a co-injeção com dois pontos é decorrente da injeção simultânea de dois materiais diferentes, de maneira que cada ponto de injeção preencha uma parcela da cavidade e a delimitação ocorre no encontro dos dois

materiais. Os atrativos para escolha deste processo no projeto são principalmente ligados à ausência de automação, o que acarreta em economia de compra, manutenção e *setup* de

equipamentos. A **Figura 22** apresenta o conceito do processo aplicado ao produto.

Para estudar a viabilidade do processo selecionado, que foi feita com base na literatura, foi executada a simulação virtual de co-injeção com software *CAD/CAE SolidWors Plastics*.

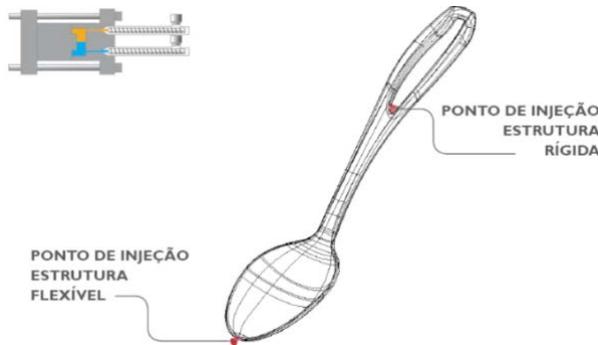


Figura 22 Alternativa selecionada - co-injeção com dois pontos. Fonte: próprio autor, 2017.

Utilizando o assistente de iniciação, foram seguidos seis passos, conforme mostra a **Figura 23**.

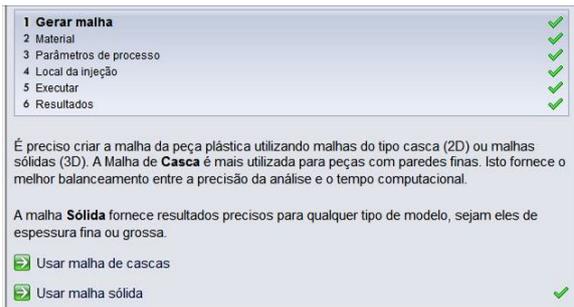


Figura 23 Etapas de simulação de injeção. Fonte: SolidWorks Plastics, 2017.

3. DEFINIÇÃO DO CONJUNTO DE MATERIAIS

Os critérios de seleção de materiais foram determinados pela função estrutural e pelas restrições de resistir a temperaturas elevadas decorrentes do uso durante o processo de cozimento de alimentos. Esses requerimentos de design se traduzem em especificações dadas por combinações de propriedades como resistência mecânica, módulo de elasticidade, temperatura máxima de serviço, coeficiente de expansão térmica e preço (ASHBY, 2002). Como complemento a injeção multicomponentes permite a moldagem de peças com um ou mais materiais, cores e características diferentes (THOMPSON, 2012).

As análises de similares indicam o uso de TPEs na composição dos produtos, juntamente com termoplásticos. A constatação de um panorama dos materiais usados no mercado direciona ainda mais a seleção em torno da combinação termoplástico rígido e elastomérico. As comparações feitas no CES Selector tomam como base a classe dos elastômeros (na cor cinza), elastômeros termoplásticos (na cor vermelha) e termoplásticos (na cor azul) e abrem um maior número de alternativas possíveis e para isso foram elaborados três gráficos comparando alguns dos principais representantes de cada classe. A **Figura 24** apresenta um gráfico de seleção de materiais em termos de tensão de escoamento versus preço. A **Figura 25** compara a

energia incorporada versus o módulo de elasticidade. A **Figura 26** apresenta outro gráfico em termos de temperatura máxima de trabalho versus o coeficiente de expansão térmica.

Considerando os dados apresentados pelo software CES na **Figura 24** pode-se notar que dos termoplásticos o SAN, PMMA, PET, PC, PA6 e ABS possuem os valores mais elevados de limite elástico, porém o preço do PC é consideravelmente superior aos dos demais. Por outro lado, dentre os termoplásticos com valores muito baixos de tensão de escoamento estão o PE-LD(PEAD) e principalmente o PE-HD (PEBD). Considerando os elastômeros termoplásticos, as alternativas com melhor relação alto limite elástico e baixo preço são o TPO, POE/POP e SBS, enquanto PEBA e TPC possuem um valor mais elevado. Em relação ao preço, o gráfico adota o padrão internacional ISO 4217 que define códigos de três letras para as moedas correntes em todo o mundo. No Brasil, foi designado o código BRL como sendo *Brazilian Real*.

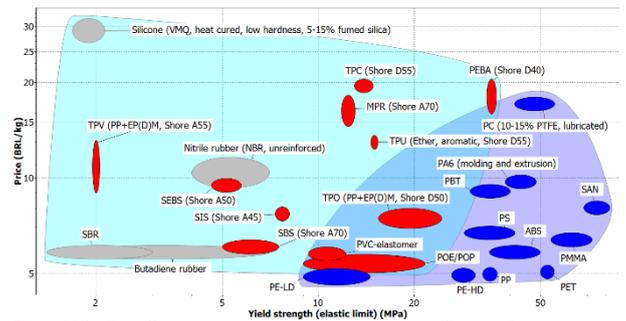


Figura 24 Tensão de escoamento versus preço. Fonte: Baseado no banco de dados do CES selector, elaborado pelo autor, 2017

Analisando os dados apresentados na **Figura 24** é possível verificar que o SAN, o PET, o PS e o PP e possuem valores elevados de módulo de elasticidade (*Young modulus*) que se relaciona à rigidez dos materiais. Cabe lembrar que quanto maior o valor, maior a dificuldade de deformar elasticamente o material, sem apresentarem necessariamente alta energia incorporada. Abreu e Forte (2006) constataram que a adição de 10% de TPE pode causar uma redução dos valores de módulo de *Young* do Polipropileno, em torno de 76% e 61%. Para teores maiores de elastômero, a redução do módulo é muito similar, mostrando que o controle desta propriedade mecânica pode ser obtido com blends.

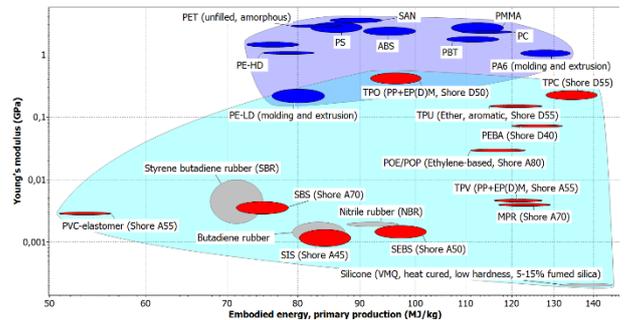


Figura 25 Módulo de elasticidade versus energia incorporada. Fonte: Baseado nos bancos de dados do CES selector, elaborado pelo autor, 2017.

Para a parte côncava onde se deseja que o material apresente uma maior flexibilidade, valores inferiores são preferíveis e o PVC elastomérico, o SBS, o SEBS e o SIS são opções com baixa energia incorporada. Enquanto o TPO e o TPC apresentam uma maior rigidez entre os elastômeros termoplásticos, mas ainda mais flexíveis que a maioria dos

termoplásticos. O elastômero Silicone apresentou uma alta energia incorporada, assim como os elastômeros termoplásticos TPC. Como é percebido na **Figura 25**.

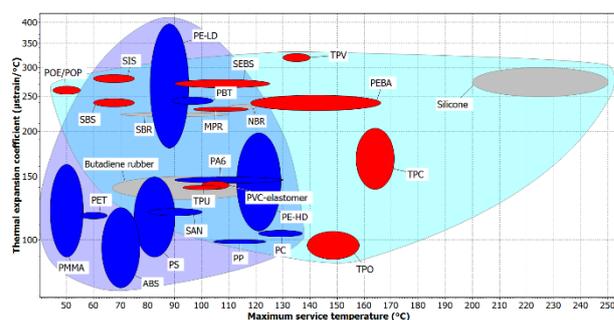


Figura 26 Temperatura máxima de trabalho versus expansão térmica. Fonte: Baseado nos bancos de dados do CES selector, elaborado pelo autor, 2017

Considerando os dados exibidos no gráfico da **Figura 26**, percebe-se que o Silicone possui um desempenho muito bom, na faixa de 200°C, conforme os concorrentes de mercado da análise sincrônica, com valor consideravelmente superior de temperatura máxima de trabalho e com coeficiente de expansão térmica relativamente próximo de diversos outros candidatos. Materiais interessantes, com valores de temperatura máxima de trabalho elevada são o TPC, o PEBA

(TPA). Considerando os termoplásticos, o PC, PE-HD (PEAD) e o PA6. Já o PMMA, o PET, o POE/POP, SIS e SBS apresentam valores baixos no critério relativo à faixa de temperatura suportada pelo material.

Visto que a temperatura de trabalho é um dos pontos críticos do projeto, o critério é crucial na etapa de seleção dos materiais. O TPC e o PEBA(TPA) atingem os melhores índices nos materiais elastômeros termoplásticos, sendo os mais promissores para a seleção, claramente exibido pela **Figura 26**. Em relação ao Silicone, material encontrado na análise sincrônica pelos concorrentes, o TPV apresenta um coeficiente de dilatação térmica 8% maior, o PEBA(TPA) 20% menor, o TPC 50% menor e o TPO, que possui o menor coeficiente entre os TPEs, 300% menor.

Conforme pode ser percebido na **Figura 26** e detalhado no banco de dados do CES Selector (2015), o TPC possui uma faixa máxima de trabalho de 157 à 171°C. Já o TPA possui uma faixa de temperatura máxima entre 118 e 166°C. Constatando isso, é também importante lembrar que o projeto almeja a complementariedade com um termoplástico compatível e o conjunto de materiais selecionados deve possuir uma proximidade do coeficiente de expansão, para que não haja um comportamento muito disforme durante o uso e processamento do produto, o que pode prejudicar a união das partes.

A **Tabela 1** apresenta os possíveis termoplásticos compatíveis.

Tabela 1 Compatibilidade TPA e TPC (Copolímeros). Fonte: adaptado de Holden *et al.* (2004), 2016

	MULTI-BLOCO			BLOCO DE ESTIRENO	
	TPU	TPA	TPC	TPS (SBS)	TPS (SEBS)
Fases (ex)	PU + bl. elastôm.	PA + bl. elastôm.	PEst+bl. elastôm.	PP+SEBS	PS+SBS
Polím. compat.	ABS, PC, PVC E Pest	PA, PC	Pest, PC, ABS	PP	PS, PSAI

Carvalho e Sirqueira (2016) comprovam com resultados de um estudo que é possível compatibilizar materiais com pouca afinidade através de agentes compatibilizantes. Nesse estudo o SEBS-g-MA atua, gerando o aumento da interação interfacial de PA com TPS SEBS. Essa adição provou o aumento das propriedades mecânicas, estruturais e também o aumento das propriedades reológicas. Entretanto o projeto de estudo

de caso persiste na busca de uma solução que não necessite de agentes para fazer a compatibilização com os TPEs eleitos.

Então, para ajudar no processo de tomada de decisão, foi elaborada a **Tabela 2**, que faz um comparativo agrupando os pontos centrais, revelados nas **Figuras 24, 25 e 26**. A comparação é feita analisando tanto os elastômeros termoplásticos, quanto os termoplásticos rígidos compatíveis

Tabela 2 Comparativo de características TPC, PBT, TPA e PA6.

	TPC	PBT	TPA	PA6
Preço	19 21 R\$/Kg	6 9 R\$/Kg	16 20 R\$/Kg	8 12 R\$/Kg
Limite Elástico	13 15 MPa	27 40 MPa	34 32 MPa	38 49 MPa
Módulo Elástico	0,2 0,3 GPa	1,3 1,4 GPa	0,07 0,08 GPa	0,8 1,1 GPa
Energia Incorporada	128 141 MJ/Kg	105 113 MJ/Kg	120 132 MJ/Kg	123 135 MJ/Kg
Temperatura máxima de Trabalho	157 171 °C	90 108 °C	120 163 °C	90 130 °C
Diferença coeficiente de expansão térmica		<25%		>60%

Fonte: Baseado nos bancos de dados do CES selector, elaborado pelo autor, 2017.

3.1 Análise do processamento dos materiais Pré-selecionados

Enquanto na parte de processamento, é apresentada a propagação do fluxo de fluido em intervalos regulares pelo *SolidWorks Plastics*. Conforme mostra a legenda da **Figura 27**,

as regiões em azul indicam o início da injeção e regiões vermelhas indicam o fim da injeção. A partir do padrão fluxo, pode-se entender que houve uma condição de equilíbrio e o preenchimento total da cavidade ocorreu em 2,37 segundos, nos diferentes casos analisados.

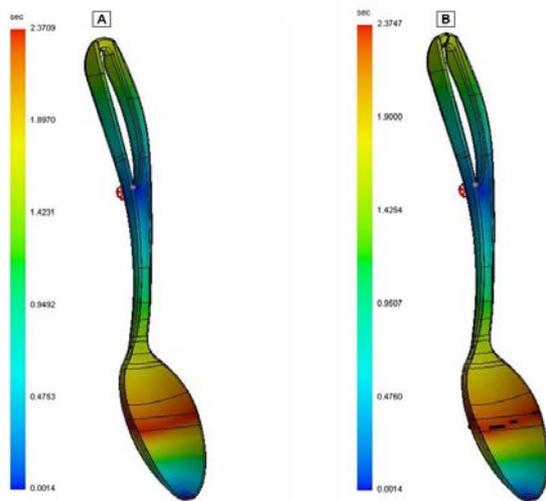


Figura 27 Simulação de preenchimento da injeção – (a) à direita PBT com TPC e (b) à esquerda PA6 com TPA. Fonte: Baseado nos dados do SolidWorks Plastics, elaborado pelo autor, 2017

A pressão de injeção é relacionada com a geometria da peça, pois partes com espessuras mais finas proporcionam resistência ao escoamento e favorecem a solidificação durante o processo de enchimento, como ocorre na parte côncava. No entanto, é evidenciado que as pressões de injeção foram suficientes, as análises simuladas não apresentaram falhas no preenchimento. A pressão maior encontra-se no cabo de PBT, tal como é exibido pela análise de pressão, aferindo até 45,01 MPa, como mostra na **Figura 28**, a maior pressão é indicada pela coloração avermelhada.

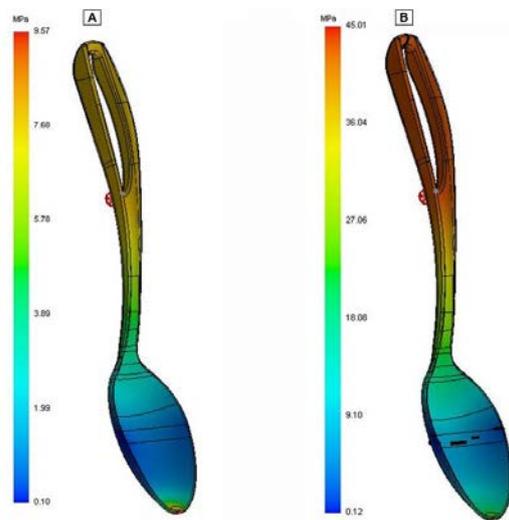


Figura 28 Simulação da pressão (MPa) de injeção – (a) à esquerda PA6 com TPA e (b) à direita PBT com TPC. Fonte: Baseado nos dados do SolidWorks Plastics, elaborado pelo autor, 2017

A fase de injeção é o momento de maior consumo de energia, conforme mostra a **Figura 29**. As alternativas analisadas (PBT com TPC e PA6 com TPA) estão diretamente ligadas ao consumo demandado, que está relacionado com a temperatura e a pressão exercida no momento do preenchimento da cavidade (SCHILLIG *et al*, 2017).

Ao final do preenchimento, a cavidade ficou completa, mas neste caso específico é importante saber de que forma isto ocorreu. Na **Figura 30**, para a co-injeção, o índice de cor indica a participação de cada ponto e apresenta a configuração final de cada material no produto. Segundo a simulação do *software*, como um resultado da utilização de

múltiplos locais de injeção, haverá uma linha de soldadura significativa, localizada onde as frentes dos fluxos se fundem. A linha de solda é na interface entre as regiões verdes e azuis, bem como é visto também na **Figura 60**, onde ainda é importante visualizar a região sem material algum em vermelho, apresentada na legenda, porém não visível no produto.

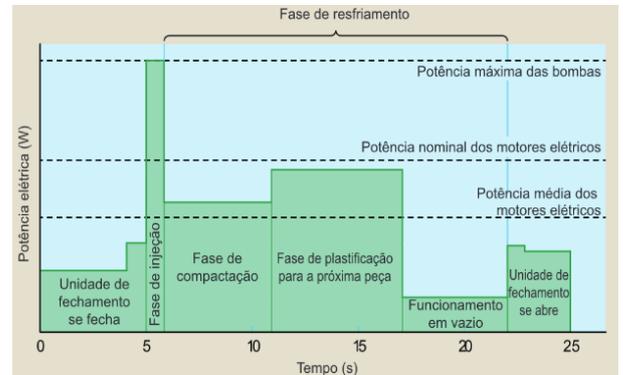


Figura 29 Consumo de energia durante o ciclo de injeção. Fonte: <http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/pi/2017/fevereiro/index.php>, 2017

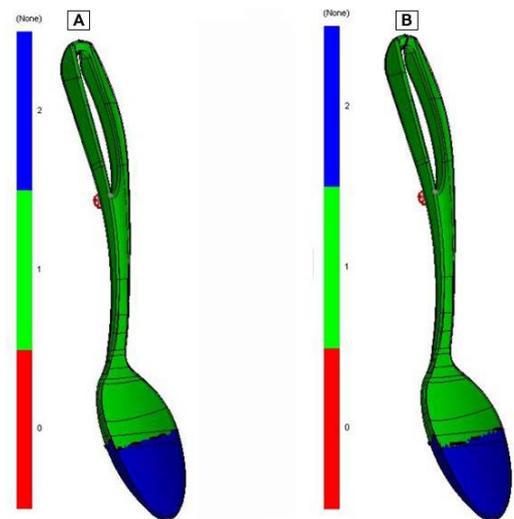


Figura 30 Simulação de injeção – (a) à esquerda percentual de PA6 (verde) em relação ao TPA (azul) e (b) à direita percentual de PBT (verde) em relação ao TPC (azul). Fonte: Baseado nos dados do SolidWorks Plastics, elaborado pelo autor, 2017

Desta forma, unindo os principais dados gerados pela simulação da injeção é possível comparar o processamento de cada conjunto de alternativas para possuir mais um critério relevante para a conclusão. Conforme constatado por Fernandes *et al* (2011), o recalque e velocidade de injeção influenciam as características das peças injetadas, tais como o peso e o dimensional, de modo que o tempo de recalque possui grande importância no processo de injeção. Isso deve-se ao fato de que na fase de recalque ocorre a injeção de mais material nas cavidades, à pressão controlada e constante. O polímero é compactado para dentro da cavidade da peça para compensar a contração do material durante a solidificação para minimizar rechupes.

Também o recalque eleva o peso da peça pela adição de mais material dentro da cavidade. Ainda Fernandes *et al* (2011) explica que o parâmetro velocidade de injeção apresenta somente efeito sobre a dimensão da peça, onde velocidades de injeção mais alta contribuem na redução do empenamento e contração das peças. A **Tabela 3** faz esse

comparativo com resultados do tempo de preenchimento, pressão de injeção e rechupes (apresentados na Figura 31) e outros dados pertinentes ao processo.

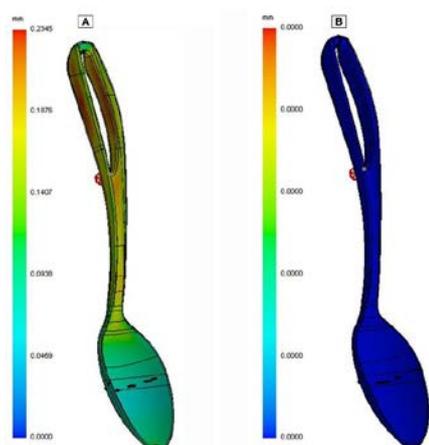


Figura 31 Simulação de injeção – (a) à esquerda rechupes PA6 com TPA e (b) à direita rechupes de PBT com TPC. Fonte: Baseado nos dados do SolidWorks Plastics, elaborado pelo autor, 2017

Na Figura 32, em sua parte superior apresenta o registro da simulação da propagação do fluxo de injeção partindo de dois pontos diferentes no instante que estão prestes a se encontrar e preencher totalmente a cavidade. Na parte central, é indicada a parcela preenchida por cada ponto de injeção. Com estas evidências a terceira imagem vislumbra o formato final.

A proposta de produto é ilustrada pela Figura 32, simulada pela modelagem virtual da colher em CAD e analisada em CAE. Na tentativa de ser mais fidedigno com o resultado final do aspecto do produto, esta imagem mostra a linha de soldadura entre os diferentes materiais. Como é possível perceber, a linha não é totalmente reta, mas arqueada, pois não há ferramentas de controle nesse ponto, que somente será controlado pelo padrão de fluxo que se propaga em círculos. Tampouco, pode-se garantir um padrão entre lotes, porque esta variação é decorrente de variáveis de *setup* de injeção. Entretanto, a escolha deste processo é justificada pelos critérios considerados para este projeto na escolha da seleção de processos. As vantagens econômicas são grandes quando comparadas ao resultado estético, uma vez que esta característica ainda pode ser usada como identidade do produto.

Tabela 3 Comparativo da simulação de injeção.. Fonte: Baseado nos dados do SolidWorks Plastics, elaborado pelo autor, 2017

Resultado da simulação de injeção	Unidade	PA6-TPA	PBT-TPC
Tempo de preenchimento	seg.	2,3709	2,3747
Pressão ao final do preenchimento	MPa	9,57	45,01
Temperatura ao final do preenchimento	°C	318,99	217,76
Temperatura central da frente de fluxo	°C	325,84	225,06
Tensão de cisalhamento ao final do preenchimento	MPa	0,87	0,64
Taxa de cisalhamento ao final do preenchimento	1/seg	400	430
Temp. de solidificação ao final do preenchimento	seg	2,3693	2,3737
Fração da camada de material ao final do preenchimento	taxa	1	1
Tempo de resfriamento	seg	8,0959	5,3747
Rechupes	mm	0,2345	0

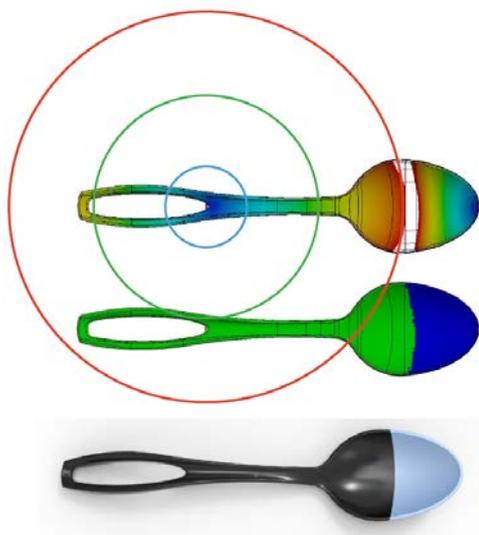


Figura 32 Simulação virtual do aspecto visual do produto. Fonte: Baseado nos dados do SolidWorks Plastics, elaborado pelo autor, 2017

4. CONCLUSÃO

Este trabalho concentrou-se em projetar um utensílio doméstico que reunisse atributos como técnico-funcionalidade, estético-formal e lógico-informacional. Além disso, objetivou aplicar um processo tecnicamente factível e viável financeiramente. O acessório escolhido foi uma colher para preparar e servir alimentos. A metodologia de projeto consistiu em etapas de análises, envolvendo muitas variáveis: função, formato, ergonomia, estrutura, aspecto visual, preço e estudos, a partir de produtos similares, identificando pontos criticáveis. No estudo de caso, os resultados provenientes das análises motivaram o desenvolvimento de um produto que pudesse oferecer maior funcionalidade e valor percebido pelo consumidor final.

A classe de materiais selecionada para a extremidade da colher foi a dos elastômeros termoplásticos por permitirem atributos funcionais pela flexibilidade no contato com a superfície de panelas ou recipientes e facilidade de processamento. As especificações demonstram que as temperaturas máximas de trabalho dos elastômeros termoplásticos mostram-se inferiores às borrachas termofixas para esse tipo de aplicação, dada as condições estipuladas de suportar temperaturas de 200°C ou mais. Embora muitos materiais utilizados no mercado, como o Nylon, tenham

valores de temperatura máxima de trabalho inferior, até 170°C.

O cabo da colher se confeccionado pela maioria dos termoplásticos atenderiam às propriedades mecânicas, quanto a tensão de escoamento apresentada, que proporcionou resistência, sem comprometer a rigidez necessária para a função exercida pelo utensílio. Dos materiais elastômeros termoplásticos analisados, considerando uma seleção focada no desempenho máximo de temperatura de trabalho, fator crítico do projeto, os candidatos mais promissores são o PEBA (TPA) e o TPC (TEEE).

O fator preço não auxilia no comparativo, pois ambos apresentam os maiores valores da categoria de TPEs. O limite e o módulo elástico beneficiam o TPA, pois ele apresenta uma resistência maior a ruptura e mesmo assim é mais flexível que o TPC. A energia incorporada, o total de energia necessária para a produção do TPC é a maior entre os termoplásticos e semelhante ao silicone que é um termofixo, fato que não contribui positivamente para a seleção pois sua escolha resultaria em um impacto maior nos recursos do planeta. Na questão temperatura de trabalho, o TPC possui o melhor desempenho entre os TPEs e o TPA fica em segundo lugar entre os TPEs. A diferença de coeficiente de expansão térmica é mais favorável na combinação TPC-PBT que possuem uma dilatação mais semelhante. Analisando o processamento, que é vinculado também ao material compatível e co-injetado na simulação, o PA mostrou uma demanda de menor pressão para preencher a cavidade em relação ao PBT, material correspondente ao TPC.

Desta forma, conclui-se que a combinação PA e TPA é a melhor alternativa para a confecção do produto, pelo processo da co-injeção com dois pontos, pois são resinas com afinidade, totalmente compatíveis. Além disso, essa combinação se apresenta muito interessante para uma seleção que considere o impacto ambiental e custos, que são variáveis cruciais na seleção de materiais, porque o processo e reciclagem são facilitados e a energia incorporada é menor que a do Silicone, material encontrado na maioria dos produtos presentes no mercado, que possui a maior energia incorporada e não permite ser reciclado. A desvantagem em relação ao Silicone é temperatura máxima de trabalho que não é exigida em sua totalidade, pois conforme o tempo de 14 segundo para atingir os 150°C encontrado na análise de uso colher não precisa ficar estática, em contato constante com a panela e que por isso, ao ser usada para misturar ingredientes, pode ser retirada antes de atingir equilíbrio térmico com uma temperatura acima da máxima tolerada pelo material.

Sendo assim, a combinação escolhida, mediante um processo de co-injeção atende aos requisitos mínimos. Ainda são necessários estudos com aditivos e testes mais aprofundados de síntese para promover uma performance ainda melhor dos polímeros termoplásticos selecionados, capazes de atender as expectativas traçadas na fase conceitual do desenvolvimento deste produto: a substituição plena dos termofixos, pelos elastômeros termoplásticos.

A simplificação de quantidade processos, de montagens e a otimização da co-injeção proposta no projeto vislumbra uma possibilidade totalmente exequível e com grandes vantagens. Essas vantagens certamente podem ser exploradas por outros produtos multicomponentes.

REFERÊNCIAS

1. ABREU, Flávia O. M. S.; FORTE, Maria Madalena de C. Propriedades mecânicas e morfologia de blendas de polipropileno com TPEs. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, vol.16, n.1, 2006.
2. ABREU, Flávia Oliveira da Silva Monteiro. *Blendas de Polímeros com elastômeros termoplásticos tipo SBS e SEBS*. 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Orientações sobre o uso de termômetro para aferição da temperatura de alimentos. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=3079988&_101_type=content&_101_groupId=33916&_101_urlTitle=orientacoes-sobre-o-uso-de-termometros-para-afericao-da-temperatura-de-alimentos-&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dalimentos%2Bpara%2Batletas%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true> Acesso em: 12 de mar. 2017
4. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Anvisa proíbe Bisfenol A em mamadeiras. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=2660023&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=anvisa-proibe-bisfenol-a-em-mamadeiras&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultado-de-busca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dbisfenol%2BA%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958&inheritRedirect=true> Acesso em: 10 de nov. 2016
5. ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara. *Materials and Design: the art and science of material selection in product design*. 1. ed. Burlington: Elsevier, 2002.
6. ASHBY, Michael.; SCHERCLIFF, Hugh.; CEBON, David. *Materials – engineering, science, processing and design*. 2. ed. Burlington: Elsevier, 2010.
7. ASHBY, Michael. *Materials selection in mechanical design*. 4. ed. Burlington: Elsevier, 2011.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO – ABIPLAST. *Perfil 2015: Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico*. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015.pdf> Acesso em: 20 jun. 2016
9. BAXTER, Mike. *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
10. BONSIPEPE, Gui. *Teoria y practica del diseño industrial: elementos para una manualística crítica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

11. CALLISTER JR., William D. Ciência e engenharia de materiais – uma introdução. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.
12. Cambridge Engineering Selector®. Cambridge: Granta Design, 2014.
13. CANEVAROLO JR, Sebastião V. Técnicas de Caracterização de Polímeros. São Paulo: Artliber, 2010.
14. CARVALHO, Anna Paula Azevedo de; SIRQUEIRA, Alex da Silva. Effect of compatibilization in situ on PA/SEBS blends. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, vol.26, n.2, 2016.
15. CHARRIER, J. M. Polymeric materials and processing: plastics, elastomer, and composites. New York, Oxford Univ. Pr. 1990.
16. DENT, Andrew H.; SHERR, Leslie. Material innovation: product design. London: Thames & Hudson Ltd. 2014.
17. DIAS, Guilherme et al. Comparing Different Synthetic Talc as Fillers for Polyurethane Nanocomposites. *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim*, 367, 136–142, 2016.
18. FERNANDES, Anderson de C. et al. Influência da “velocidade de Injeção” e “tempo de recalque” nas características de peças injetadas Em polipropileno. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, Caxias do Sul, p.1-8, 2011.
19. FERRANTE, Maurizio. Seleção de materiais. 2 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2002.
20. HARADA, Júlio. Moldes para Injeção de Termoplásticos. São Paulo: Artliber, 2004.
21. HOLDEN, Geoffrey; KRICHELDORF, Hans R.; QUIRK, Roderic P.. Thermoplastic Elastomers. 3. ed. Munich: Hanser, 2004.
22. LEFTERI, Chris. Como se Faz - 82 Técnicas de Fabricação para Design de Produtos. Editora Blucher, 2010.
23. OLIVEIRA, Carlos I. R. de et al. Propriedades mecânicas e morfologia de misturas de polipropileno e elastômeros termoplásticos. I Encontro de engenharia, ciência de materiais e inovação, Nova Friburgo, 2015.
24. OLIVEIRA, Daniel Elias Alberici. Projeto de Molde para Sobreinjeção de Polímeros. 2015. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2015.
25. REES, Herbet. Injection Molding Technology. New York: Hanser, 1994.
26. THOMPSON, Rob. Manufacturing processes for design professionals. London, UK: Thames & Hudson, 2010.