

CANAIS DE REFRIGERAÇÃO EM MOLDES MECÂNICOS: TIPOS E FUNCIONALIDADE

Cleiton Tamanini (Universidade de Taubaté - UNITAU), E-mail: CleitonTamanini@hotmail.com
Filipe Wiltgen (Universidade de Taubaté – UNITAU, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP Campinas e Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC Pindamonhangaba), E-mail: ProfWiltgen@gmail.com

Resumo: Visando a eficiência produtiva as indústrias constantemente buscam novos métodos e processos de produção, na qual grandes quantidades de objetos similares são produzidos diariamente. Para tanto, se utilizam da manufatura formativa, quando a matéria-prima é injetada em um molde para se conseguir um formato desejado. Os moldes mecânicos industriais são muito utilizados por conseguir atingir de forma satisfatória as demandas industriais, mas dependem de uma série de cuidados para realizar suas tarefas adequadamente, um dos principais pontos de atenção está na refrigeração do molde, que deve ser cuidadosa, pois refrigerações inadequadas produzirão produtos defeituosos e de baixa qualidade, além de poderem aumentar o ciclo produtivo. Para a produção de moldes com seus devidos sistemas de refrigeração podem ser utilizadas a manufatura subtrativa ou aditiva, cada qual com suas vantagens e desvantagens, mas de modo geral, qualquer objeto que apresente alguma complexidade maior necessita de manufatura aditiva para a confecção de um molde eficiente, pois ela é capaz de construir canais que tem maior proximidade com a peça produzida. Um melhor desenvolvimento do projeto, baseado em simulações, leva os canais conformados a canais ramificados e capilares, que direcionam melhor o fluido refrigerante e conseguem gerar peças com maior qualidade em ciclos menores de injeção.

Palavras-chave: Manufatura Formativa, Manufatura Aditiva, Moldes Mecânicos, Canais de Refrigeração, Ciclo Produtivo.

REFRIGERATION DUCTS IN MECHANICAL MOLDS: TYPES AND FUNCTIONALITY

Abstract: Looking at the productive efficiency, industries are constantly looking for new production methods and processes, in which large quantities of similar objects are produced daily. For this, they use formative manufacturing, when the raw material is injected into a mould to achieve a desired shape. Industrial mechanical moulds are widely used for being able to satisfactorily meet industrial demands, but they depend on a range of factors to perform their tasks properly, one of the main points of attention is in the mold cooling, which must be careful, because inadequate cooling will produce defective and low quality products, and may increase the production cycle. For the production of moulds with their proper cooling systems, subtractive or additive manufacturing can be used, each with its advantages and disadvantages, but in general, any object that presents some greater complexity needs additive manufacturing to make an efficient mould, because it is able to build channels that are closer to the object produced. A better project development, based on simulations, leads to changing the shaped channels to branched and capillary channels, with better direction of the refrigerant fluid and can generate objects with higher quality in smaller injection cycles.

Keywords: Formative Manufacturing, Additive Manufacturing, Mechanical Molds, Refrigeration Ducts, Production Cycle.

1. Introdução

A Manufatura Formativa (MF) é uma importante forma de produção em escala no mundo. Seu principal componente é baseado na utilização de moldes mecânicos com diversas cavidades para a fabricação de muitas peças ao mesmo tempo, os quais permitem alcançar um grande volume de produção em escala, muitas vezes chamado de produção em massa (LOPES e WILTGEN, 2020, 2021A, 2021B, 2021C e 2022).

Os moldes mecânicos, quase sempre são fabricados em metal. Podem ser produzidos para possuir uma ou mais cavidades em seu interior. Essas cavidades são espaços vazios

nas formas geométricas do que se deseja produzir, neles é injetada a matéria-prima na forma pastosa ou líquida que após se solidificar toma a forma da cavidade do molde, e assim, se torna o produto (LOPES *et al.*, 2022; TAMANINI e WILTGEN, 2022).

Um ciclo de produção em MF é na verdade o preenchimento do molde com a matéria-prima quente que deverá se esfriar e se solidificar para tomar a forma do produto. Assim sendo, observa-se a importância em retirar o calor da matéria-prima dentro do molde para obter a solidificação rápida do produto. Quanto mais rápido e uniforme for esta refrigeração, mais rápida é a produção. É por isso que em uma MF ter um sistema de refrigeração do molde eficiente é tão importante (TAMANINI e WILTGEN, 2022A e 2022B).

O processo de refrigeração é um processo que exige uma série de cuidados, uma refrigeração inadequada pode resultar em peças defeituosas, quebradiças, empenadas ou com os mais diversos problemas estruturais os quais são responsáveis por descartar muitas peças (GRIES *et al.*, 2021; HARADA, 2004; WANG *et al.*, 2015; VASCONCELOS, 2014; VIETEN *et al.*, 2021; BROTAN *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2022; TAMANINI e WILTGEN, 2022).

Tendo em vista a importância da refrigeração para os moldes mecânicos industriais, este artigo discorre sobre os tipos de circuitos de refrigeração, quais os tipos de fabricação possíveis para um molde e seus canais de refrigeração, mostrando as vantagens e desvantagens, funcionalidades e viabilidades.

2. Canais de Refrigeração em Moldes Mecânicos

Os canais de refrigeração são dutos formados no interior do molde mecânico por onde passa um fluido refrigerante. Dentre estes diversos tipos de fluidos refrigerantes o mais comum é a água gelada. Sua principal função é retirar eficientemente o calor da matéria-prima contida no molde e permitir que se solidifique dentro da cavidade em seu interior de forma uniforme para evitar eventuais problemas estruturais.

Estes canais de refrigeração podem ser divididos de acordo com a forma que o fluxo do fluido refrigerante percorre o molde e/ou a forma como são fabricados no molde.

Quanto ao tipo de fluxo estes se dividem em:

- *Canais de refrigeração em série* – Quando existe apenas uma entrada e uma saída, resultando em um único sentido para o fluxo. Normalmente não são muito eficientes, pois o fluido recebe calor ao longo do circuito, diminuindo a troca de calor e a uniformidade na distribuição da refrigeração na peça (FENG *et al.*, 2021, MARQUES *et al.*, 2013; MARQUES *et al.*, 2014; MARQUES *et al.*, 2015);
- *Canais de refrigeração em paralelo* – Podem existir várias entradas e saídas, isso permite ao fluido refrigerante ter vários caminhos pelos quais pode seguir na troca térmica, auxiliando na distribuição da refrigeração e aumentando a eficiência no molde (FENG *et al.*, 2021).

Quanto a forma como são fabricados como:

- *Canais Lineares* – Estes são canais retilíneos, basicamente furos retos interconectados no interior do molde, com o auxílio de tampões para direcionar o fluxo conforme necessário. Esse tipo de canal é fabricado via MS, a eficiência na refrigeração das peças é baixa e quase sempre não uniforme, pois os canais lineares não conseguem acompanhar a forma geométrica da cavidade do molde,

resultando em aumento do tempo do ciclo produtivo e proporcionando eventuais defeitos no produto final (GRIES *et al.*, 2021; MARQUES, 2013).

- *Canais Conformados* – São canais que acompanham a geometria na cavidade do molde, mesmo em uma peça extremamente complexa, a fabricação de canais conformados demanda a utilização da MA. Canais conformados conseguem distribuir de uma forma eficiente o fluido refrigerante no molde, favorecendo a troca de calor, resultando em solidificação mais rápida e com qualidade reduzindo significativamente o tempo de produção (LOPES *et al.*, 2022, TAMANINI e WILTGEN, 2022).

Os canais de refrigeração, independentemente de serem lineares ou conformados, podem formar circuitos em série ou paralelo, dependendo apenas das necessidades de cada projeto.

3. Canais de Refrigeração Construídos via Manufatura Subtrativa

A Manufatura Subtrativa (MS) consiste em retirar matéria-prima, esculpindo-o para se obter o produto desejado. Neste processo os moldes mecânicos, assim como, os canais de refrigeração, são fabricados com formatos lineares, pois só é possível fazer furos retos para compor os canais de refrigeração na MS (MARQUES, 2013).

A tentativa de utilização da MS em peças muito complexas, quando viáveis, são demoradas e o resultado quase sempre é pouco eficiente devido a distância entre os canais e a própria cavidade. A utilização de ângulos retos e tampões podem produzir vibrações indesejadas na fabricação e afetar as peças produzidas (GRIES *et al.*, 2021). Utilizar a MS deixa o molde restrito a limitações de complexidade. Entretanto, por se tratar de um tipo de manufatura de baixo custo pode ser interessante dependendo do tipo de peça a ser produzido. Na Figura 1 pode ser visto um exemplo de peças fabricadas via este processo.

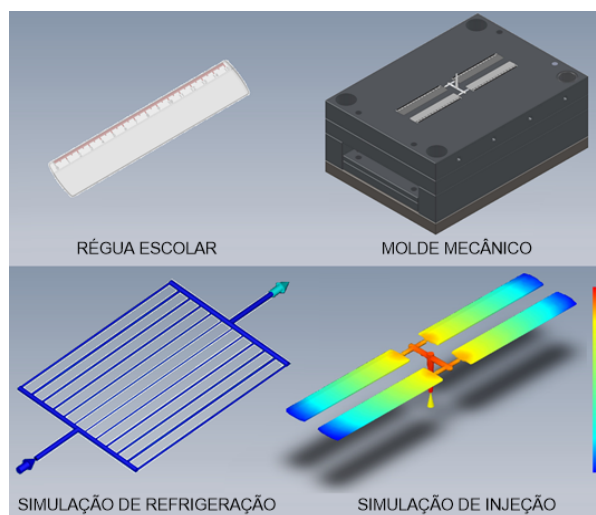


Figura 1 – Molde mecânico para a fabricação de peças simples como régua em plástico.

Fonte: Adaptado Plates (2022) e Próprios Autores (2022).

Como pode ser visto na Figura 1, para uma peça muito simples, um molde mecânico com canais de refrigeração lineares fabricados via MS, pode ser viável.

4. Canais de Refrigeração Construídos via Manufatura Aditiva

O modo de construção da Manufatura Aditiva (MA) é baseado na adição de

matéria-prima para se obter o objeto a ser fabricado. Este processo possui diversos tipos de equipamentos, cada qual com diferentes técnicas de fabricação, tecnologias e matéria-prima diversa. Por ser uma manufatura no qual o material é adicionado para formar o objeto, apresenta vantagens intrínsecas tais como: redução do custo e o desperdício de material, aumento de resistência e estanqueidade, diminuição de peso, entre muitas outras (ALCALDE e WILTGEN, 2018; GOMES e WILTGEN, 2020).

O ponto mais importante na fabricação de moldes mecânicos via MA consiste em construir peças com geometrias diferentes intrincadas e complexas. Observando isso, tanto o molde, quanto os canais de refrigeração conseguem ser construídos de acordo com as necessidades do projeto, sem impossibilidades de fabricação (TAMANINI e WILTGEN, 2021A, TAMANINI e WILTGEN, 2021B, ALCALDE, 2019, ALCALDE e WILTGEN, 2018).

É possível construir canais de refrigeração que acompanham a geometria da cavidade no molde, que além de favorecer a troca de calor, não possuem ângulos retos evitando estagnação e turbulência excessiva nos dutos tornando o sistema mais fluido e diminuindo consideravelmente as vibrações indesejadas (ALBA *et al.*, 2020; TAMANINI e WILTGEN, 2022A e 2022B).

A MA permite maior liberdade no projeto dos moldes tornando-os mais eficientes. Possibilitando a construção de peças com grande complexidade como a que pode ser vista na Figura 2.

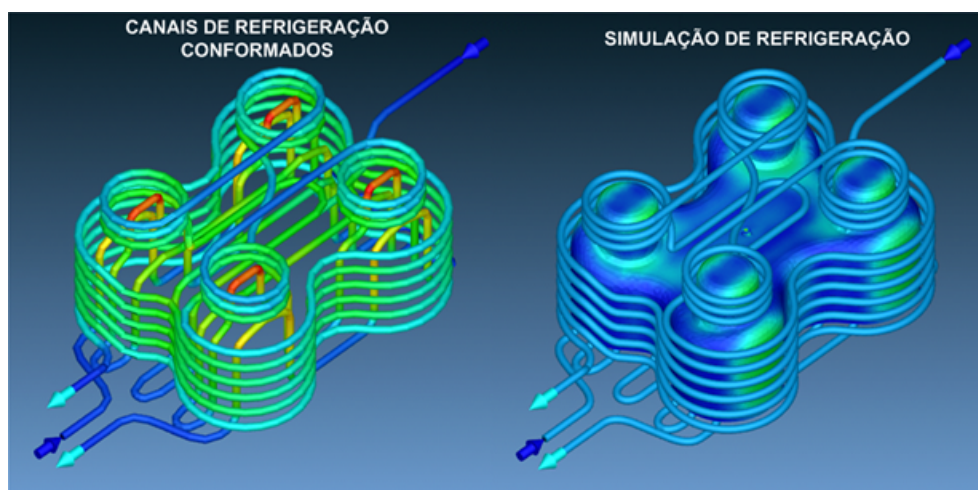


Figura 2 – Canais de refrigeração conformados via MA.
Fonte: Próprios Autores (2022).

Como pode ser visto Figura 2, os canais de refrigeração conformados, seguem, ou acompanham perfeitamente o formato da peça a ser produzida, sua proximidade com a cavidade que formará a peça auxilia a troca de calor, tornando a refrigeração e o molde mais eficientes. Note também que esta peça representada na Figura 2 seria inviável no método de fabricação via MS.

Mesmo um sistema de refrigeração conformado pode apresentar pontos no qual existam áreas mais quentes na peça. Essa diferença de temperatura pode resultar em peças defeituosas, por isso torna-se necessário realizar simulações computacionais para aprimoramento dos projetos de canais de refrigeração em moldes mecânicos. Tornando possível realizar melhorias nos projetos. Parte destas melhorias estão no aperfeiçoamento de canais de refrigeração do tipo ramificações e em casos mais

especiais e áreas mais difíceis a construção de canais capilares, a fim de direcionar o fluido refrigerante nestas áreas mais quentes (FU, 2015; BERGER *et al.*, 2019).

Na MA construir canais conformados simples, ou fazê-los complexos, ramificados e/ou capilares, depende apenas do projeto. Na Figura 3 é possível ver um exemplo de simulação de um molde em operação com a utilização de canais ramificados e capilares.

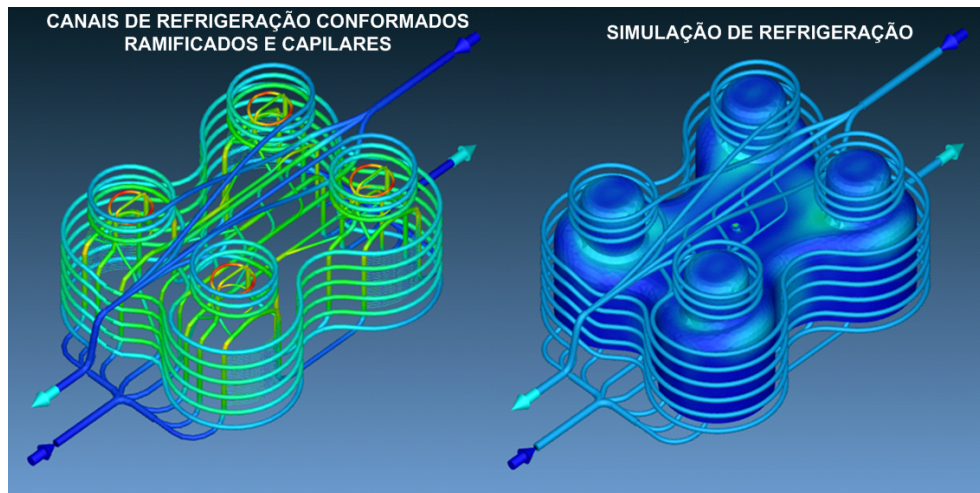


Figura 3 – Canais de refrigeração conformados ramificados e capilares.
Fonte: Próprios Autores (2022).

Com um sistema ramificado e capilar, a distribuição do calor na peça se torna bastante uniforme, o que reduz significativamente o risco de defeitos estruturais, além de reduzir o tempo do ciclo produtivo, e aumentar a qualidade do produto. O que sempre justifica o tempo extra dispendido nas simulações dos projetos de moldes mecânicos.

4. Considerações Finais

A produção em massa é uma forma de produção adotada em todo o mundo com a finalidade clara de aumentar a produção reduzindo o custo de fabricação e priorizando o lucro.

A MF é essencial para a produção em escala e sua utilização com os moldes mecânicos é um seu diferencial. Assim sendo, para garantir uma velocidade de produção significativa é essencial que os moldes mecânicos tenham um sistema de refrigeração muito eficiente. O que justifica pesquisas na área de construção de canais especiais para realizar a extração eficiente do calor nestes moldes industriais de alta produção.

Para a produção de peças complexas é vital utilizar a MA na construção dos canais de refrigeração, fato de que é a única forma de produzir um canal que seja eficiente em acompanhar a geometria das peças dentro dos moldes nas cavidades. Pesquisas em canais de refrigeração complexos, conformados, ramificados e/ou capilares são uma forma de aumentar a produção na MF. Isso impacta diretamente no aumento da qualidade das peças produzidas e em uma significativa redução no tempo do ciclo produtivo industrial.

Referências

AGARWAL, V.; JAWADE, S.; ATRE, S.; KULKARNI, O. *The Role of Mechanical Testing in Additive*

Manufacturing: Review. Material Science, Engineering and Applications v.1(2), pp.21-31, 2021.

ALBA, A. T.; COLMENERO, J. M. M.; PERETE D. D.; DOÑATE C. M. *A New Conformal Cooling Design Procedure for Injection Molding Based on Temperature Clusters and Multidimensional Discrete Models*. MDPI Polymers, v.12, pp.1-35, 2020.

ALCALDE, E.; WILTGEN, F. *Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro*. Revista de Ciências Exatas Universidade de Taubaté. v.24(02), pp.12-20, 2018.

ALCALDE, E. *Prototipagem Rápida Aditiva: Aplicação em Dispositivo Funcional de Auxílio Humano para Membros Superiores*. Dissertação (Mestrado), Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, 142p. 2019.

ALTIPARMAK S. C.; YARDLEY V. A.; SHI Z.; LIN J. *Challenges in Additive Manufacturing of High-Strength Aluminium Alloys and Current Developments in Hybrid Additive Manufacturing*, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, v.4(02), pp.246-261, 2021.

BARETA, D. R. *Estudo Comparativo e Experimental de Materiais Aplicados a Insertos Machos de Moldes de Injeção Dentro do Conceito de Molde Híbrido*. Dissertação (Mestrado), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 158p. 2007.

BERGER, G.R.; ZORN, D.; FRIESENBICHLER, W.; BEVC, F.; BODOR, C. J. *Efficient Cooling of Hot Spots in Injection Molding. A Biomimeticcooling Channel Versus a Heat-Conductive Mold Material and a Heat Conductive Plastics*. Polymymer Engineering & Science, v.59, pp.180–188, 2019.

BROTAN V.; BERG O. A.; SORBY K. *Additive Manufacturing for Enhanced Performance of Molds*. 6th CLF - 6th CIRP Conference on Learning Factories. Trondheim, 29-30 June, pp.186-190, 2016.

CHUNG, C. Y. *Integrated Optimum Layout of Conformal Cooling Channels and Optimal Injection Molding Process Parameters for Optical Lenses*. Applied Sciences. v.9(20), pp.1-17, 2019.

CITARELLA R.; GIANNELLA V. *Additive Manufacturing in Industry*, Applied Sciences, v.11(02), pp.1-3, 2021.

COLMENERO, J. M. M.; ALBA, A. T.; REQUENA, J. C.; DOÑATE, C. M. *A New Conformal Cooling System for Plastic Collimators Based on the Use of Complex Geometries and Optimization of Temperature Profiles*. MDPI Polymers. v.13(2744), pp.1-27, 2021.

DIMLA, E.; TRINIDAD, J.R.; GRANADA, A. A. G.; REYES G. *Thermal Comparison of Conventional and Conformal Cooling Channel Designs for a Non-Constant Thickness Screw Cap*. Jornal of The Korean Society for Precision Engineering. v.35(01), pp.95-10, 2018.

DIMLA, D. E.; CAMILOTTO, M.; MIANI, F. *Design and Optimisation of Conformal Cooling Channels in Injection Moulding Tools*. Journal of Materials Processing Technology. v.164, pp.1294-1300, 2005.

DIZON, J. R. C.; VALINO, A. D.; SOUZA, L. R., ESPERA, A. H.; CHEN, Q.; ADVINCULA, R. C. *3D Printed Injection Molds Using Various 3D Printing Technologies*. Materials Science Forum. v. 1005, p.150-156, 2020.

FENG, S.; KAMAT, A. M.; PEI, Y. T. *Design and Fabrication of Conformal Cooling Channels in Molds: Review and Progress Updates*. International Journal of Heat and Mass Transfer, v.171 (121082), pp.1-29, 2021.

FU, J; MA, Y. *Mold Modification Methods to Fix Warpage Problems for Plastic Molding Products*. Computer-Aided Design & Applications. v.13, pp.138-151, 2016.

GOMES, J.; WILTGEN, F. *Avanços na Manufatura Aditiva em Metais: Técnicas, Materiais e*

Máquinas. Revista Tecnologia, v.41(01), pp.1-16, 2020.

GRIES, S.; MEYER, G.; WONISCH, A.; JAKOBI, R.; MITTELSTEDT, C. *Towards Enhancing the Potential of Injection Molding Tools Through Optimized Close-Contour Cooling and Additive Manufacturing*. MDPI Materials. v.14(3434), pp.1-18. 2021.

HARADA, J. *Moldes para Injeção de Termoplásticos: Projetos e Princípios Básicos*. Artliber, 308p. 2004.

LOPES, M.; WILTGEN, F. *Manufatura Aditiva em Moldes Mecânicos*. IX Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia (CICTED 2020). Taubaté, 21-23 outubro, pp.1-14, 2020.

LOPES, M.; WILTGEN, F. *Manufatura Aditivava na Indústria Automotiva Voltada para Sistemas de Segurança Veicular*. XLI ENEGEP Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 18-21 outubro, pp.1-16, 2021A.

LOPES, M.; WILTGEN, F. *Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva de Segurança Veicular*. X Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento (CICTED 2021). Taubate, 05-07 outubro, pp.1-19, 2021B.

LOPES, M.; WILTGEN, F. *Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva voltada para Sistemas de Segurança Veicular*. Coletânea Especial de Engenharia de Produção. Kreatik, v.2, capítulo 13, pp.183-195. 2021.

LOPES, M.; TAMANINI C.; WILTGEN, F.; CRUZ F. *A Importância das Simulações na Manufatura Aditiva de Moldes Mecânicos*. Revista Mundi, aguardando publicação, pp.1-24, 2022.

MARQUES, S.; SOUZA, A. F.; SANTOS, R. F. F. *Efeito do Conformal Cooling em um Molde de Injeção de Plástico por Simulação de Transferência de Calor*. 2º Seminário de Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade. Joinville, 27-29 novembro, pp.1-17, 2013.

MARQUES, S.; SOUZA, A. F.; MIRANDA, J.; SANTOS, R.F.F. *Evaluating the Conformal Cooling System in Moulds for Plastic Injection by CAE Simulation*. 9º International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies. Slovenia, 05-11 April, pp.1-7. 2014.

MARQUES, S.; SOUZA, A. F.; MIRANDA, J.; YADROITSAU, I. *Design of Conformal Cooling for Plastic Injection Moulding by Heat Transfer Simulation*. Polímeros. v.25(6), pp.564-574, 2015.

REDDY K. S. A.; DUFERA, S. *Additive Manufacturing Technologies*. International Journal of Management, v.4(07), pp.89-112, 2016.

REIS, N.; BARREIROS, F. M.; VASCO, J. C. *Conformal Cooling by SLM to Improve Injection Moulding*. Conference Polymers and Moulds Innovations, Portugal, 22 September, pp.1-7, 2018.

SHAYFULL, Z.; SHARIF, S.; ZAIN, A. M.; SAAD, R. M.; FAIRUZ, M. A. *Milled Groove Square Shape Conformal Cooling Channels in Injection Molding Process*. Materials and Manufacturing Processes. v.28, pp.884-889, 2013.

SHINDE, M. S.; ASHTANKA, K. M. *Additive Manufacturing-Assisted Conformal Cooling Channels in Mold Manufacturing Processes*. Advances in Mechanical Engineering. v.9(5), pp.1-14, 2017.

SINGH, L.; ARORA, N. *Design and Manufacturing Injection Mould Conformal Cooling Channels Using Additive Manufacturing: A Review*. International Journal of Mechanical and Prod. Engineering. v.7(03), pp.2321-2071, 2019.

SOUZA, A. F., MARQUES, S. *Análise da Influência do Conformal Cooling em Molde de Injeção de Plástico*. Tecnologias para Competitividade Industrial, v.7(02), pp.69-81, 2014.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. *Moldes com Múltiplos Canais de Refrigeração Via Manufatura Aditiva*. Workshop da UFABC em Engenharia Mecânica. São Bernardo do Campo, 27-29 setembro, pp.1-14, 2021A.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. *Fabricação de Moldes Mecânicos Via Manufatura Aditiva*. X Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia (CICTED 2021). Taubaté, 20-22 outubro, pp.1-20, 2021B.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. *Manufatura Aditiva e as Mudanças na Indústria Automotiva*. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia. v13(90), pp.104-118, 2022.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. *Canais de Refrigeração Ramificados e Capilares para Moldes Mecânicos Fabricados Via Manufatura Aditiva*. Congresso Nacional de engenharia Mecânica (CONEM 2022). Teresina, 07-11 agosto, pp.1-8, 2022B.

TUTESKI O.; KOČOV A. *Mold Design and Production by Using Additive Manufacturing (AM) - Present Status and Future Perspectives*. International Scientific Journal "Industry 4.0". v.18, pp.1-5, 2018.

VASCONCELOS, P. V. *Fabrico Rápido Indireto de Ferramentas Compósitas a partir de Modelos de Prototipagem Rápida*. Tese (Doutorado), Universidade do Porto. Porto, 415p. 2014.

VIETEN, T.; STAHL, D.; SCHILLING, P.; CIVELEK, F.; ZIMMERMANN, A. *Feasibility Study of Soft Tooling Inserts for Injection Molding with Integrated Automated Slides*. Micromachines – MDPI. v.12(730), pp.1-13, 2021.

VOJNOVÁ, E. *The Benefits of a Conforming Cooling Systems the Molds in Injection Moulding Process*. International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM. Slovakia, 6-10 June, pp.535-543, 2016.

WANG, Y.; YU, K. M.; WANG, C. C. L. *Spiral and Conformal Cooling in Plastic Injection Moulding*. Computer-Aided Design. v.63, pp.1-11 2015.

WILTGEN, F.; ALCALDE, E. *Prototipagem Rápida Aditiva Aplicada em Dispositivos Funcionais de Auxílio Humano*. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. São Carlos, 5-7 agosto, pp.1-6. 2019.

WILTGEN, F. *Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico*. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, UFSCar, São Carlos, 5 a 7 agosto, pp.1-4. 2019.

WILTGEN, F. *Técnica de Ensaio de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos*. Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas, v.4(01), pp.51-60, 2020.

WILTGEN, F. *Manufatura Aditiva em Metais - Leve, Forte e Inovador*. Revista de Engenharia e Tecnologia. v.13(02), p.1-12, 2021A.

WILTGEN, F. *Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas*. 26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM). Curitiba, 22-26 November, p.1-8, 2021B.

WILTGEN, F. *A Manufatura Avançada Precisa de uma Engenharia Avançada*. Revista Tecnologia, v.41(02), pp.1-11, 2020.