

Virtualização como Transformação Digital aplicada ao Desenvolvimento de Peças e Processos de injeção plástica na indústria automobilística: benefícios da abordagem preventiva na otimização de custo, “timing”, dimensional e aparência
(Virtualization as Digital Transformation applied on Parts and Process of injection molding at automotive industry: benefits of preventive approach to optimization of cost, timing, dimensional and appearance)

Adriana Fernanda Cerri
Luiz Carlos Sá
Fábio Monegatto
Mário Zigon
General Motors Brasil

Victor Eleutério
Giovanna Ramos
Fausto Martins
OP Mobility Taubaté

Erick Damião
HRS Group

RESUMO

Durante as atividades de desenvolvimento de processos de produção para fabricação de peças plásticas na indústria automobilística, a utilização de ferramentas virtuais e simulação com foco preventivo é um meio para atendimento dos requisitos, bem como prática inovadora para busca contínua de eficiência e eficácia nos resultados práticos durante a fase de “*launch*” e produção que resultam em redução de custos, “timing”, convergência dimensional e aparência.

Com o objetivo de garantir um desenvolvimento eficiente com atendimento de especificações do projeto relativas a aparência, funcional e dimensional é fundamental levar em consideração um conjunto de variáveis durante o APQP [1]. Entre essas variáveis para o desenvolvimento de processos de peças plásticas podemos ressaltar como prioritárias: o estudo de DFM (análise de manufaturabilidade do produto e tolerâncias), matéria-prima, definição de máquina injetora, ferramenta de injeção e definição dos parâmetros de processos.

Nesse presente estudo referente ao desenvolvimento da *Grade Frontal do Conjunto Para-choque* de um novo veículo *General Motors* é possível demonstrar a acuracidade dos resultados através das ferramentas virtuais de simulação quando utilizadas de forma estruturada e disciplinada.

Palavras-chave: Injeção plástica dimensional, simulação, aparência, desenvolvimento, processo, indústria automobilística.

ABSTRACT

During the development of production processes for manufacturing plastic parts in the automotive industry, the use of virtual tools and simulation with a preventive focus is a means of meeting requirements, as well as an innovative practice for the continuous search for efficiency and effectiveness in practical results during the launch and production phase, which result in cost reduction, “timing” reduction, dimensional convergence and appearance.

To ensure efficient development while meeting project specifications regarding appearance, functionality, and dimensions, it is essential to consider a set of variables during APQP (development phase). Among these variables for the development of plastic parts processes, we can highlight as priorities: the study of DFM (Design for Manufacturing), raw material, injection machine, injection tool and process parameters definition.

In this present study regarding the development of the Front Grille of the Bumper Assembly of a new vehicle launch at General Motors, it is possible to demonstrate the accuracy of the results through the virtual simulation tools when used in a structured and disciplined manner in the result.

Keywords: Injection Molding, dimensional, appearance, simulation, development, process, automotive industry.

INTRODUÇÃO

O projeto em questão busca demonstrar a necessidade e importância da transformação digital através da virtualização como ferramenta preventiva fundamental nos desenvolvimentos de novos produtos e peças plásticas do mercado automobilismo, cada vez mais competitivo em velocidade de novos lançamentos, custos de produção enxutos, qualidade cada vez maior dos produtos oferecidos num mercado repleto de escolhas ao consumidor final.

Nesse escopo a transformação digital através das ferramentas de Simulação Virtual, aplicado a peças plásticas, além de ser uma ferramenta preventiva, tem função complementar aos conhecimentos dos especialistas em desenvolvimento de peças plásticas, especialistas de ferramental de injeção trazendo objetividade nas avaliações e decisões baseada em dados mensuráveis e critérios objetivos para soluções de problemas que outrora eram realizados de forma subjetiva, e com base em tentativa e erro, testes sucessivos, na maioria das vezes já com a ferramenta construída sem um racional objetivo de análise de causa e

ação. Nessa condição anterior em muitos dos casos práticos, por alto custo ou alta complexidade das correções já em produção por problemas decorrentes de um desenvolvimento deficiente, os “issues” permaneciam ao longo do “life cycle” do veículo, impactando em qualidade percebida aparente para o cliente final.

Outro benefício importante a ser considerado é a redução de “timing” de desenvolvimentos em que com a virtualização permite a otimização das atividades pós construção de ferramental em até 80% para a aprovação final dos requisitos. Essa redução é um meio importante e vantagem competitiva frente a um mercado dinâmico com aos lançamentos e novidades de mercado.

Por fim não podemos deixar de ressaltar a oportunidade de “cost avoidance” com custos envolvidos de correções pós construção de ferramental, já que a ferramenta virtual tem função preventiva, na otimização do projeto do processo, molde, definição de máquina injetora, bem como otimização do design do produto trazendo assertividade na liberação de usinagem da ferramenta definitiva, ou seja, a custos reduzidos na fase virtual se comparados a custos após a construção da ferramenta com retrabalhos, recursos e “timing”, conforme Figura 1 [2].

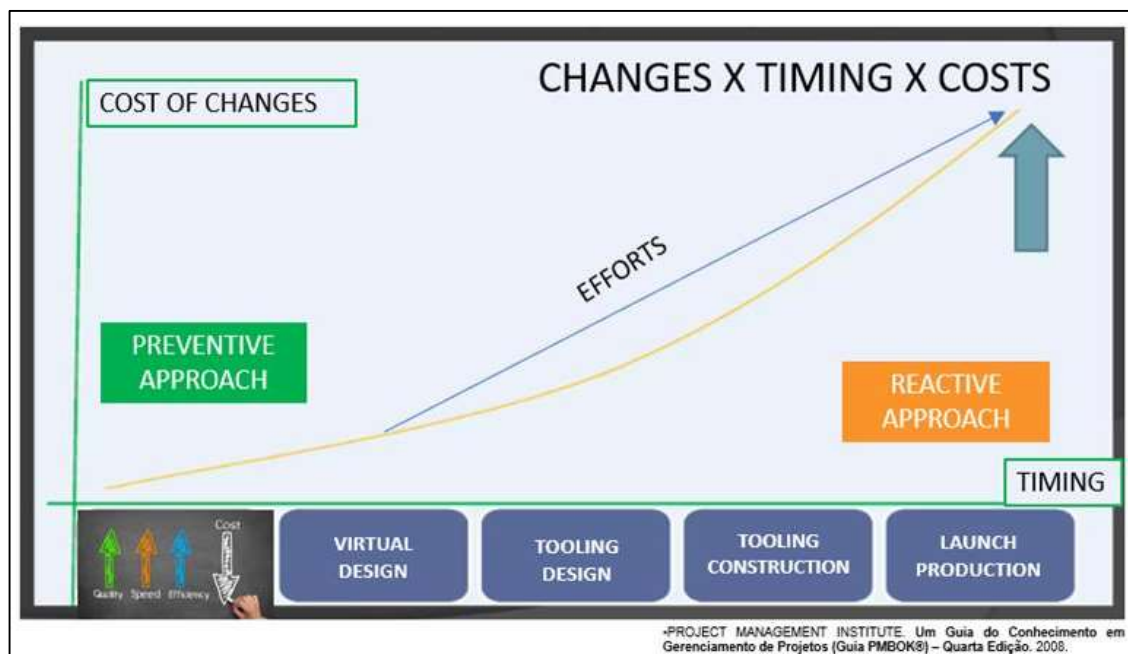


Figura 1. Gráfico adaptado PMI - Relação Custo de Mudanças ao longo do tempo

O Simulação Virtual, aplicada para peças e processos plásticos, é uma ferramenta virtual utilizada para suportar as análises de manufaturabilidade (DFM – Design for Manufacturing) durante a Fase 3 – Planejamento e Desenvolvimento do processo do APQP, (Advanced Product Quality Planning) como demonstrado na Figura 2.

APQP é uma metodologia estruturada de gestão e desenvolvimento de produto e processo aplicada desde a concepção do produto até a produção em série. Esse processo busca garantir a qualidade e a satisfação do cliente durante o desenvolvimento de novos produtos.

Ela inclui a definição de requisitos do cliente, identificação de riscos, planejamento de atividades e ações preventivas. Sempre visando assegurar que o produto atenda ou, até mesmo, exceda as expectativas e requisitos do cliente.

A IATF 16949:2016 [3], norma de sistema de gestão da qualidade automotiva, descreve o APQP como: processo de planejamento da qualidade do produto que suporta o desenvolvimento de um produto ou serviço que irá satisfazer os requisitos do cliente; o APQP serve como um guia no

processo de desenvolvimento e, também, uma forma padrão para compartilhar resultados entre as organizações e seus clientes. O APQP garante a robustez do projeto, os testes do projeto e a conformidade a especificação, o projeto do processo de produção, normas de inspeção da qualidade, a capacidade do processo, a capacidade de produção, a embalagem do produto, o teste do produto e o plano de treinamento do operador, entre outros itens.

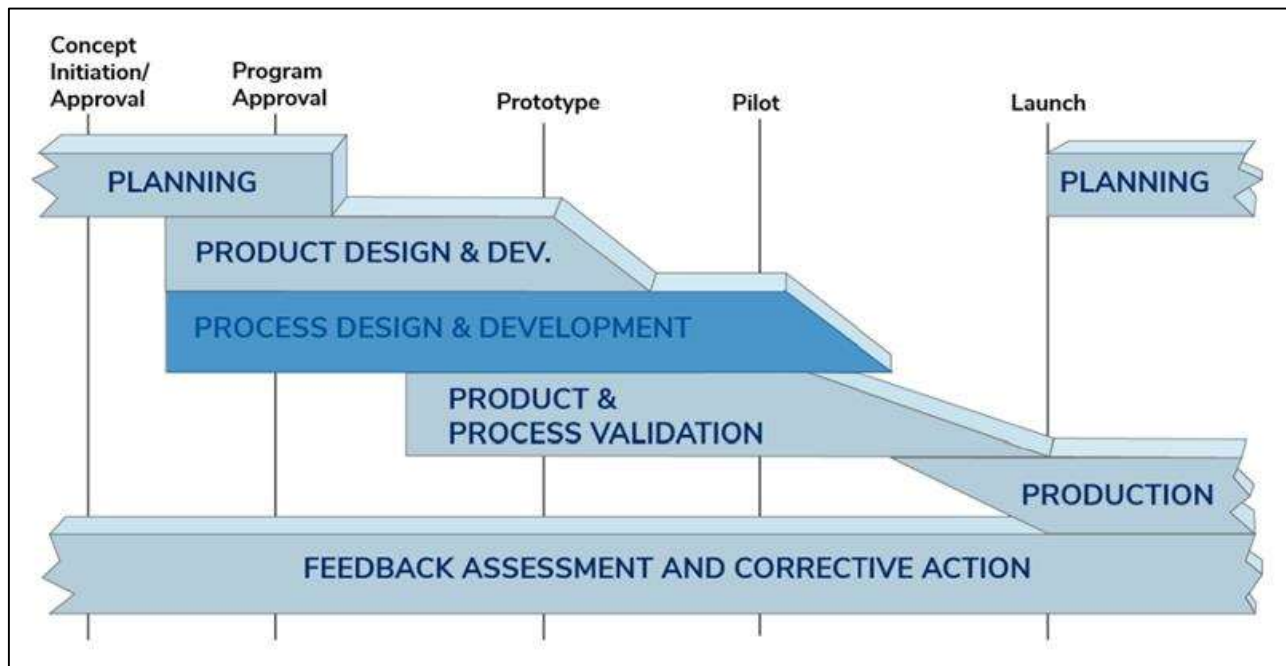


Figura 2. Chart do Fluxo APQP

No caso em estudo após a nomeação do fornecedor OP Mobility para desenvolvimento do processo de produção de injeção da Grade Frontal do Conjunto Para-choque – Figura 3, é realizada a Fase 2 do APQP. Essa fase consiste na concepção, definição e liberação dos modelos matemáticos congelados ao fornecedor, para que a Fase 3, seja iniciada. Nessa fase é indispensável a colaboração entre diversos “stakeholders”, entre eles GM Engenharia de Qualidade de fornecedores, Engenharia de Produto, Engenharia de Manufatura, Engenharia Dimensional. O sucesso e eficácia dessa fase, ainda de planejamento com o auxílio das ferramentas virtuais depende da interação do time envolvido, trabalho em conjunto de forma a mitigar todos os riscos identificados, “issues” através de análise crítica, tomada de ação e processo de melhoria contínua para garantir a definição e construção do ferramental definitivo com atendimento completo dos requisitos de aparência, funcional e dimensional em produção em série.

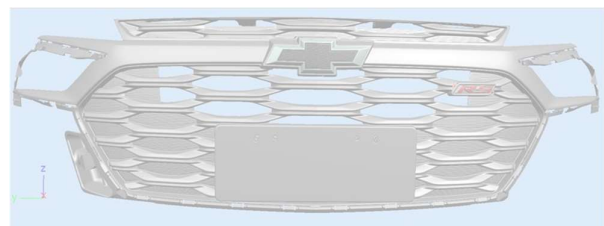


Figura 3. Grade Frontal do Conjunto Para-choque

Um dos “tasks” e atividades da fase do APQP é o DFM (Design for Manufacturing), estudo que tem como objetivo principal a mitigação de riscos e problemas de manufatura e produção do item em questão, verificação do projeto do produto de forma a garantir que é possível desenvolver um processo de produção factível para o produto a ser manufaturável e garante o atendimento de requisitos funcionais, dimensional e aparência.

Esse processo é estruturado com base no “know how” do fornecedor que é especialista nesse tipo de produto e processo, lições aprendidas com projetos anteriores.

Na figura abaixo podemos demonstrar o mapeamento realizado de itens de risco através do “*DFM Feasibility Chart*”, Figura 4, da *Grade Frontal*, onde no produto em questão demonstra a evolução da identificação de riscos

relacionados ao produto que podem impactar o desenvolvimento do processo. Esses riscos devem ser avaliados, tratados e corrigidos no projeto do produto quando aplicável para garantir o início da análise virtual e posteriormente a liberação da construção da ferramenta conforme fluxo de detalhamento da Fase 3 do APQP, Figura 5, garantindo assim atendimento dos requisitos de projeto de qualidade do produto e garantindo a satisfação do cliente final.

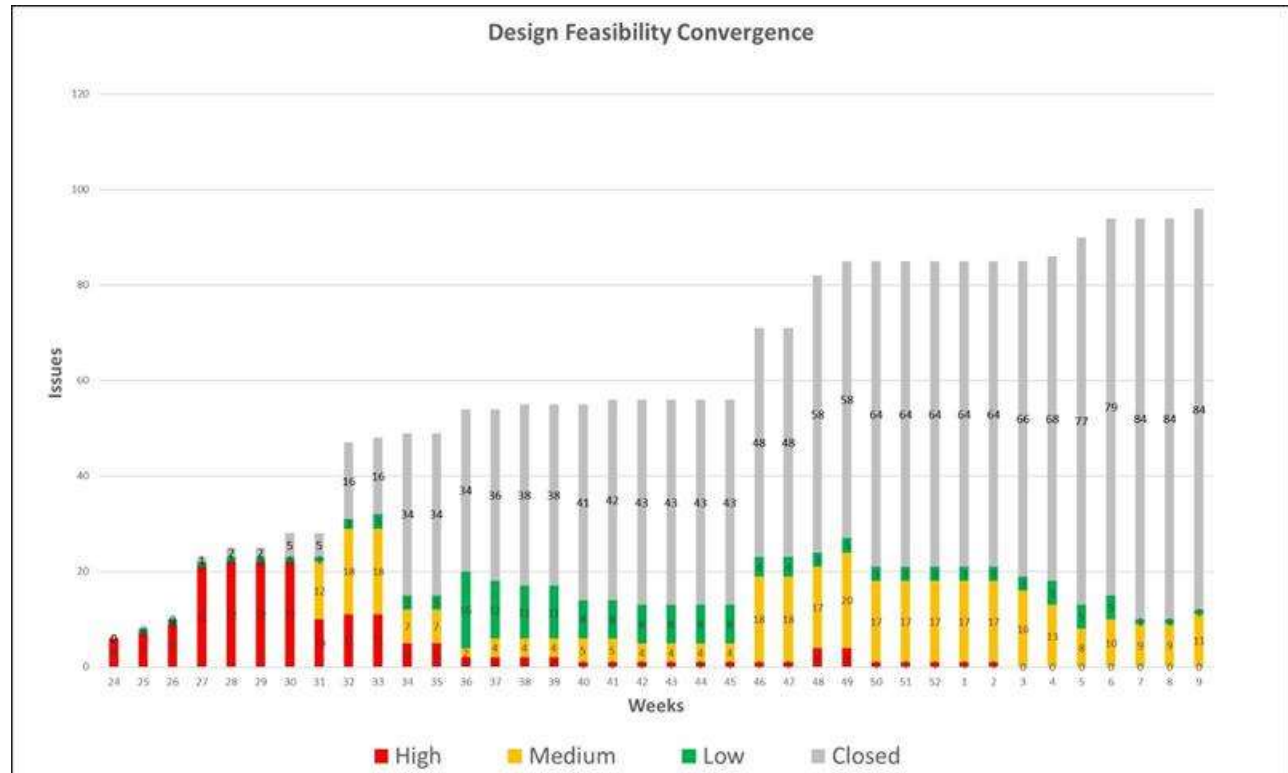


Figura 4. DFM Feasibility Chart

É importante ressaltar que o objetivo principal do DFM é garantir as correções aplicáveis em sucessivos loopings quando aplicável.

O desdobramento das ações e metodologia aplicadas na Grade Frontal serão tratadas e detalhadas posteriormente na seção Metodologia.

De acordo com o fluxo da Fase 3 do APQP, após a conclusão e convergência das análises de DFM incorporadas ao Design do Produto um novo modelo matemático do produto atualizado deve ser disponibilizado ao fornecedor para início da próxima etapa que é Simulação Virtual.

A Simulação Virtual [4] para desenvolvimento de peças plásticas consiste em processo estruturado e faseado, de 1 a 5, conforme figura 6.

Um dos principais objetivos e propostas da simulação virtual é realizar virtualmente a otimização do desenvolvimento de ferramentais e processos de injeção de peças plásticas com objetivo de atendimento dos requisitos de aparência e dimensional conforme especificações do cliente.

Um fator importante a ser considerado é que para um lançamento de sucesso para peças plásticas é necessário a interação e combinação de diversos fatores, entre eles os principais, conforme ilustrado na Figura 7:

- Design do produto;
- DFM;
- Matéria-Prima;
- Requisitos Aparência, Funcionais e Dimensionais;
- Projeto da Ferramenta;
- Parâmetros de Processo;

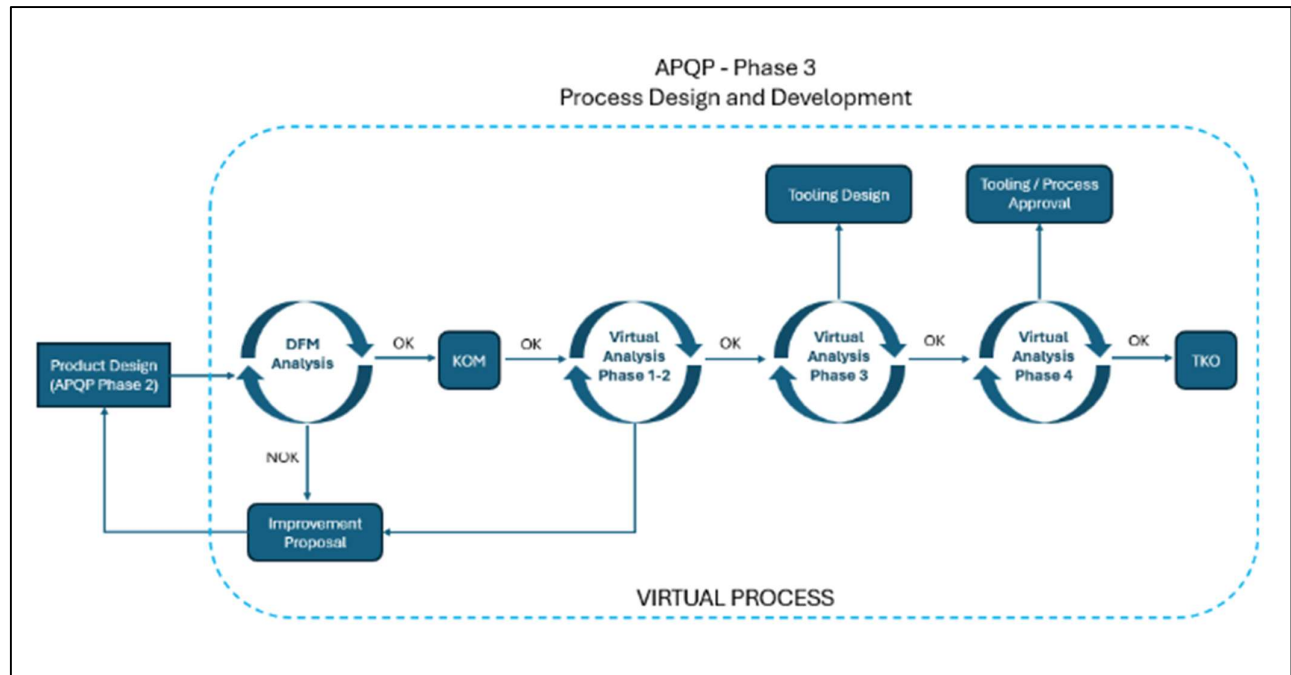


Figura 5. Chart detalhamento Fase 3 APQP

Outro fator importante que pouco se encontra na literatura disponível sobre Desenvolvimento de Projetos, Produtos e Processos de Simulação Virtual é o fator humano, interação dos diferentes pilares de conhecimento, bem como interação das áreas técnicas envolvidas em todo esse processo. Associado a transformação digital é necessário cada vez mais a interação entre áreas, entre times técnicos, pois o trabalho colaborativo técnico para identificação dos riscos, análise dos “outputs” e agilidade, bem como assertividade na tomada de ações foi um fator decisivo no resultado e condução das atividades do projeto em questão da Grade Frontal.

O gerenciamento de informações dentro do mundo corporativo e inter corporações é intangível, porém de grande valor, principalmente para questões de custo do projeto em si dentro da operação. De um lado sistemas virtuais, tecnologia em ferramentas e processos alinhados com a manufatura 4.0, de outro o recurso humano trabalhando de forma alinhada, dinâmica e focada no objetivo final com foco no atendimento do requisito e no cliente final complementa na tomada de decisões no tempo correto, nas análises de causa raiz baseada em dados, bem como tomada de decisões na solução de falhas identificadas com abordagem estratégica das corporações,

Dentre os benefícios da Simulação Virtual, segundo site mundo plástico [5], na indústria do plástico, o uso de um software de simulação garante uma série de benefícios que estimulam sua adoção.

Com um software de simulação de injeção, por exemplo, é possível prever defeitos do processo, além de testar melhor a interação de geometria, materiais sugeridos, parâmetros e o ponto ideal para realizar a injeção.

A redução do tempo de ciclo é outro benefício bastante interessante do uso de um software de simulação na indústria do plástico.

“Por meio do software de simulação conseguimos calcular a produtividade e o “payback” do produto ou do molde, ou seja, quanto tempo a empresa demandará para pagar esse produto/molde.”

Para esse segmento industrial, o uso de um software de simulação garante uma série de benefícios, dentre os quais merecem destaque:

- Maximiza a qualidade das peças a serem fabricadas;
- Otimiza o uso de diferentes matérias-primas, tanto para o desenvolvimento de peças quanto de moldes;
- Aumenta a produtividade do processo de moldagem;
- Minimiza o custo de fabricação;
- Reduz o tempo para lançamento de novos produtos;
- Melhora a comunicação entre os diferentes setores da empresa (engenharia, ferramentaria e produção) e seus fornecedores.
- Avaliar o projeto do produto levando em consideração a fabricação;

- Definir a matéria-prima mais adequada à fabricação;
- Quantificar os custos de fabricação ou promover melhorias no projeto do molde e do produto;
- Aperfeiçoar o projeto da ferramenta;
- Reduzir o número de testes de molde, reduzindo custos;
- Dimensionar adequadamente a máquina injetora;
- Implantar a simulação de soluções inéditas, validando-as;
- Facilitar o planejamento da produção e reduzir os custos da não qualidade.

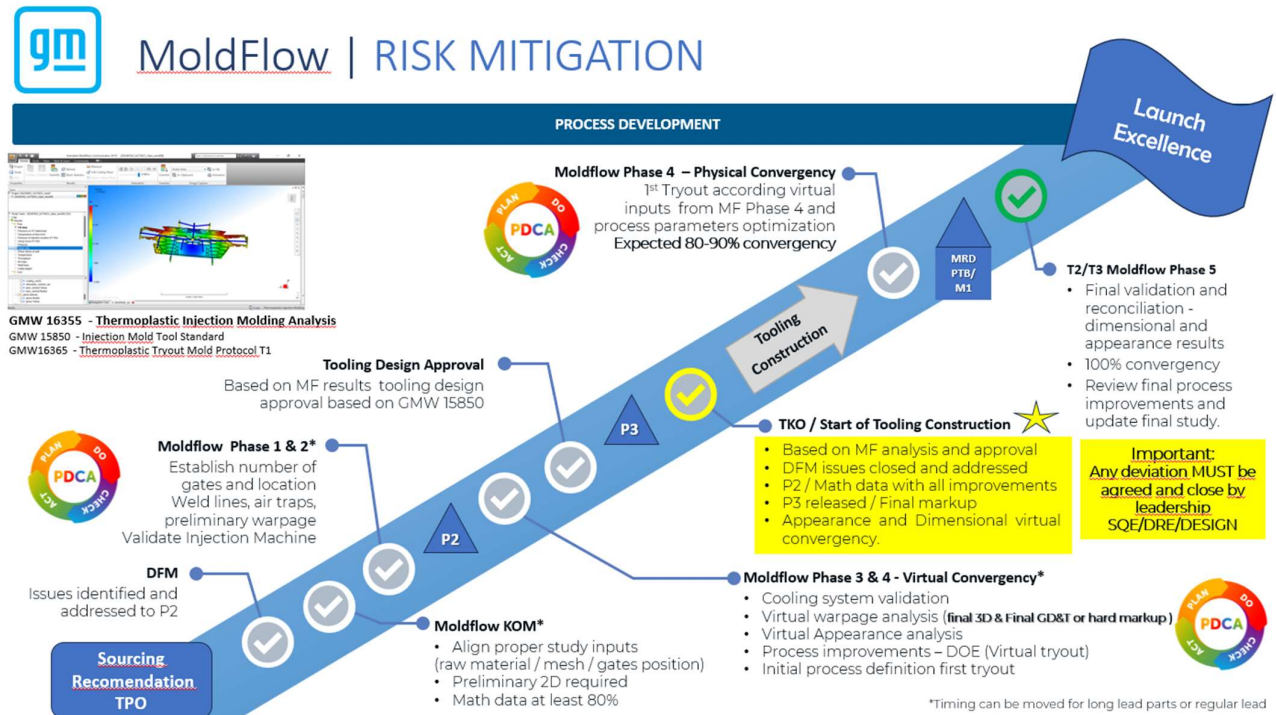


Figura 6: Chart de integração do APQP com o processo de simulação virtual

No mercado atual e seu dinamismo estão disponíveis diversas tecnologias preventivas, no nosso estudo a Simulação Virtual é uma fonte importante para estudos preventivos em um cenário industrial importante na realidade da indústria 4.0.

Importante ressaltar que os inputs para esse estudo virtual de otimização, estejam disponíveis, atualizados e condizentes com as condições reais da aplicação. O uso correto dos inputs para o estudo são fundamentais para garantir resultados de correlação completa. Alguns inputs importantes que podemos mencionar aqui, entre outros:

- Modelo matemático com DFM aplicado e convergente;
- Definições de critérios dimensionais, através do desenho 2D;
- Definições de critérios de aparência,
- Avaliação das regiões de interface com contra peças;
- Seleção da malha para realização do estudo;
- Matéria-prima especificada e definida devidamente categorizada virtualmente, disponível no banco de dados do software através do .udb que é o DNA da matéria-prima;

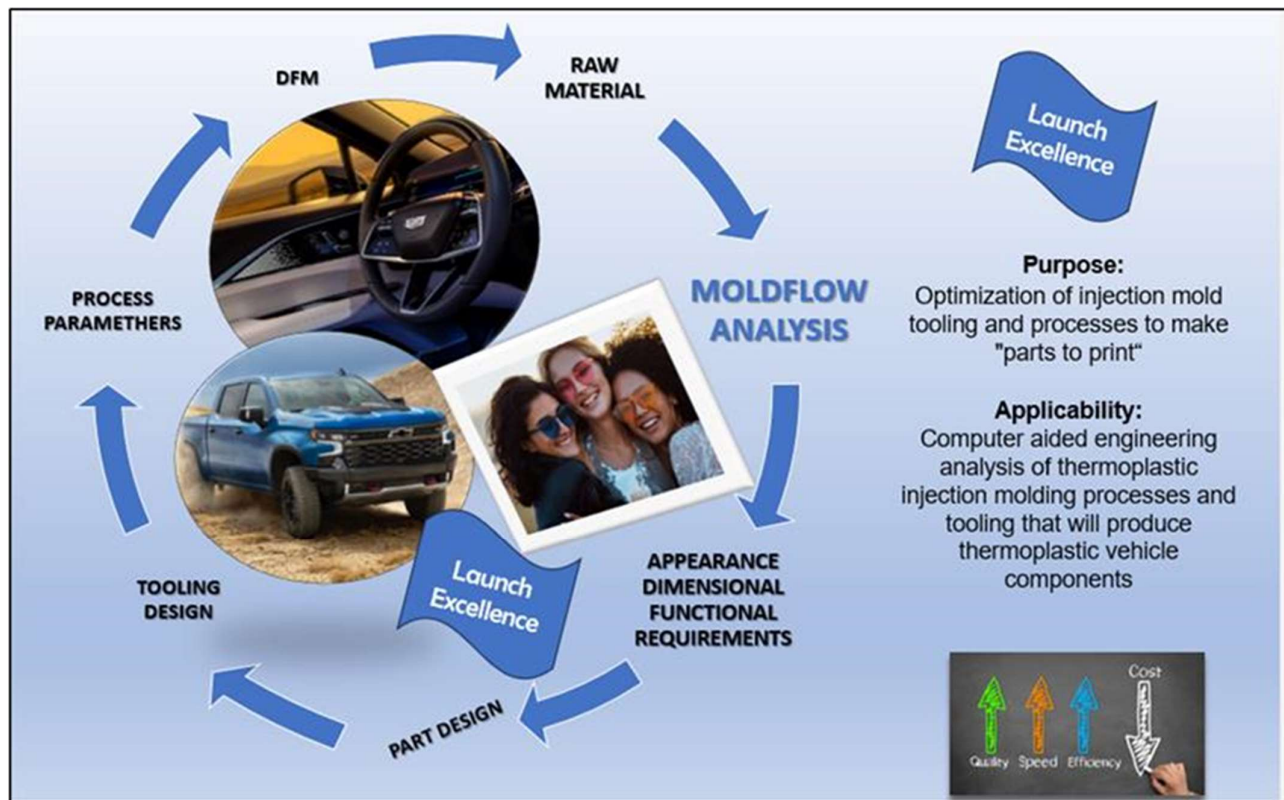


Figura 7. Fatores de sucesso envolvidos para desenvolvimento e lançamento de peças plásticas

Para demonstrarmos no trabalho realizado no projeto de desenvolvimento da *Grade Frontal do Conjunto Para-choques* precisamos entender antes as fases da simulação virtual aplicada a peças plásticas, mencionado na figura 02 da Fase 3 do APQP.

Para o sucesso do resultado baseado na utilização dos recursos virtuais é fundamental a convergência com o conhecimento técnico e interação entre diversas áreas e especialidades envolvidas para garantir a análise correta e tomada de ação adequada para solução dos problemas identificados em todas as fases do APQP e do processo de Simulação Virtual.

A etapa inicial desse processo é o chamada "Kick of Meeting" a Simulação que tem como objetivo realizar o alinhamento preliminar dos inputs requeridos e revisão da qualidade dos inputs de forma a evitar estudos incorretos. A correção dos resultados virtuais com os resultados físicos após a construção da ferramenta está direta e fortemente relacionada. Outro objetivo é de evitar retrabalho ao longo da execução do estudo.

Alguns pontos principais referente a inputs do estudo podemos considerar:

- Utilização da matéria-prima especificada pelo cliente, bem como a disponibilidade do ".udb", que

é o arquivo matemático referente a essa matéria-prima no banco de dados para realização do estudo;

- Modelo matemático último nível com as melhorias de DFM implementadas;
- Especificações definidas e congeladas de critérios dimensionais e aparência, bem como interfaces importantes e fixações com contra-peças;
- Revisão dos "timings" de estudo x "timings" do programa;
- Regiões permitidas ou proibidas para implementação dos canais de injeção.
- Definição dos parâmetros iniciais de processamento.

Após o alinhamento inicial e todos os inputs de acordo, o especialista em operar o software de simulação realiza os estudos nas Fases 1 & 2 e retorna ao time multifuncional envolvido com os outputs das Fases 1 & 2, que entre outras tem como principal objetivo:

- Recomendar e avaliar o número de "gates" a e posição para em time definir a posição ideal para próximas fases do estudo;
- Avaliar a frente de fluxo e preenchimento do material plástico, bem como balanceamento do fluxo;

- Avaliação de linhas de junção referente ao encontro da frente de fluxo levando em consideração especificações de aparência e funcional;
- Validação da máquina injetora a ser utilizada para processamento;

Com a aprovação da Fase 3, é possível dar o seguimento da Fase 3 tem como objetivo a validação do sistema de refrigeração do molde.

A refrigeração de um molde é um dos requisitos mais importantes para garantia da qualidade dimensional e estabilidade evitando problemas de contração irregular. No que abrange aparência permite a eliminação de marcas de fluxo e deformações superficiais, além da redução do tempo de ciclo em até 80%, pois acelera o congelamento do material plástico.

Nessa fase inicia-se a análise virtual de empenamento e deformação do produto baseado na ferramenta, processo, refrigeração inicialmente estabelecidos. Essa avaliação deve ocorrer conforme as especificações de projeto do produto.

Nessa fase ainda é possível mapear as causas de desvios encontrados virtualmente e correções em local, temperatura, tipo de refrigeração, parâmetros de processo.

Com o sistema de refrigeração aprovado, o projeto final do molde é revisado e concluído e na Fase 4 da análise virtual o objetivo é obter o planejamento ótimo dos parâmetros de processo, através de um DOE – “Design of experiments” que servirá de ficha técnica inicial para setup dos primeiros “tryouts” com a ferramenta concluída.

Ainda nessa fase, o objetivo principal é ter uma aprovação virtual dos requisitos dimensionais e aparência do projeto. Com o recurso virtual com análise de causas dos defeitos aliados ao conhecimento do fator humano técnico, é possível infinitos e sucessivos loopings de “tryouts” virtuais com o objetivo de convergência ao requisito do projeto.

Anteriormente a disponibilidade dos recursos e tecnologia virtual, esse processo era realizado fisicamente de forma subjetiva e empírica após a construção da ferramenta, com custos de ajustes, retrabalhos, horas, matéria-prima, recurso humano em sucessivos “tryouts” em busca do resultado conforme especificado.

Após a conclusão dessas etapas de planejamento e desenvolvimento através da simulação virtual está autorizado o início da construção do ferramental definitivo.

A disciplina na condução desse processo faseado da análise virtual, bem como o DFM, considerando o não seguimento para a fase seguinte antes de análise das causas e tomada de ações corretivas é fundamental para o sucesso de um desenvolvimento. Qualquer problema não avaliado e resolvido na fase adequada irá resultar em um problema na construção do molde ou mesmo em retrabalhos virtuais entre

as fases. Durante esses processos a colaboração dos profissionais e especialistas na análise e solução dos problemas é fundamental para a convergência do processo físico.

Durante o DFM e na análise virtual da Grade Frontal na fase de DFM, utilizando o Simulação Virtual, todos os outputs da análise foram identificados e levados consideração para melhorias antes do início da construção da ferramenta no que abrange injetora, dimensionamento da refrigeração e conceito do molde bem como definição dos parâmetros de processo otimizados. Contudo para as melhorias relacionadas com causa em projeto do produto, para questões de aparência, apesar de terem sido identificadas virtualmente, não foram implementadas na etapa virtual por questões que serão esclarecidas e detalhadas posteriormente.

Os resultados após a conclusão da ferramenta durante os primeiros “tryouts” foram convergentes ao identificado virtualmente, com aprovação dimensional, porém com falhas de aparência, que poderiam impactar na qualidade percebida pelo cliente final.

Considerando a complexidade, custo e tempo das modificações e intervenções envolvidas para correção do molde já construído, foram utilizadas novamente as ferramentas de simulação virtual para tomada de decisão em embasar a eficácia das ações propostas para solução dos itens de aparência, evitando efeitos colaterais ou impactos dimensionais inicialmente aprovados.

METODOLOGIA

Como abordado brevemente na introdução do trabalho em questão, no caso da *Grade Frontal do Conjunto Para-choque*, na fase de DFM, a partir do projeto do produto liberado pelo cliente, foram mapeados os itens que necessitavam de ajuste de produto para iniciar as análises virtuais que suportam o desenvolvimento do projeto da ferramenta e processo, conforme figura 03 (Chart Feasibility),

Os itens foram classificados em “High, Medium, Low Risk and Closed” a medida que as ações foram implementadas e o problema resolvido. Nessa fase o objetivo é garantir o fechamento dos itens em aberto da forma mais assertiva e com o menor “timing” possível de forma a não impactar o cronograma original do projeto e evitar atrasos nos gates de programa do veículo.

No case em questão da Grade frontal foram identificados 96 itens ao total, dos quais 84 foram fechados e 11 deles não foi possível um acordo entre os “steakholders” para fechamento antes do início das análises virtuais.

Podemos mencionar que conforme enfatizado anteriormente nesse case, todo desenvolvimento ou planejamento de engenharia é fundamental o trabalho

dinâmico de interação entre áreas de manufatura e engenharia de produto. O objetivo deve ser comum e compartilhado para estabelecerem uma relação balanceada entre produto menos complexo, que permita o desenvolvimento de um processo factível e que garanta o atendimento completo das especificações dimensionais, aparência e funcional. Frente a problemas e issues identificados é fundamental a agilidade na tratativa de implementação das ações de modo a não impactar o andamento das atividades das fases do projeto, pois a falta de disciplina nesse processo e interação, pode ter como consequência produto e ferramental mais complexos, riscos de não atendimento dos requisitos especificados, custos de retrabalhos a medida que se afasta da fase virtual. A

consequência impacta o negócio e sua viabilidade de custo, projeto em si e o cliente final.

Abaixo o detalhamento dos principais exemplos dos 11 itens não corrigidos antes do início da análise virtual, itens já identificados no DFM.

Item 1, figura 8 nas nervuras centrais, devido a geometria do produto apresentado, a altura das aletas centrais, a espessura reduzida e a falta de angulo de saída foi identificado risco de não preenchimento das aletas, que resultaria em não atendimento de requisito de aparência com marcas na classe “A” e funcional, já que a região tem interface com o conjunto “Baffle” do veículo.

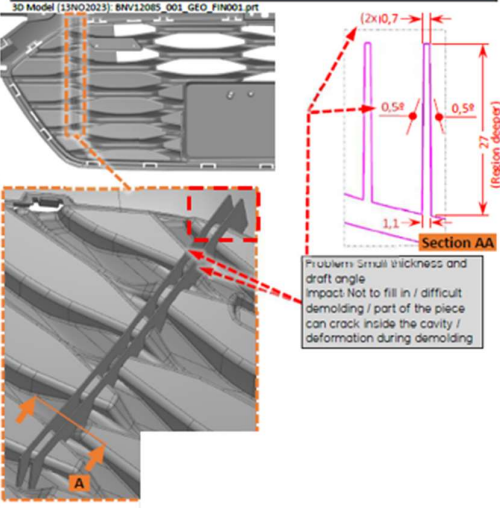
ISSUE N°	GM - JBUC - RS Grille - C01196	Risk Level	RESPONSE
29		MEDIUM	NON AGREED Adauto
PROBLEM / CAUSE / DETAIL		PROPOSAL / PO RECOMMENDATION	
		- Change ribs angle and design to allow extraction and material fill. - Reduce rib on upper area (critical appearance impact on main surface to final customer)	

Figura 8. Item 1 DFM Grade Frontal apontando risco de falha de material nas aletas laterais

Item 2, ilustrado figura 9, foi identificado acúmulo de massa na superfície B e na região da placa com geometria crítica reduzida pois não permite a aplicação de canais de refrigeração no projeto da ferramenta, que tem como risco,

temperatura excessiva, não congelamento da região na extração da peça do molde e marcas na superfície A impactando critérios de aparência perceptível a cliente final.

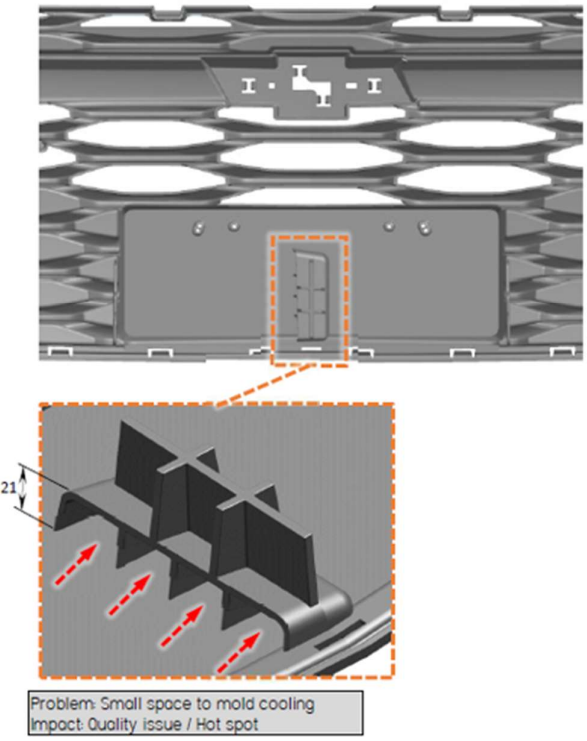
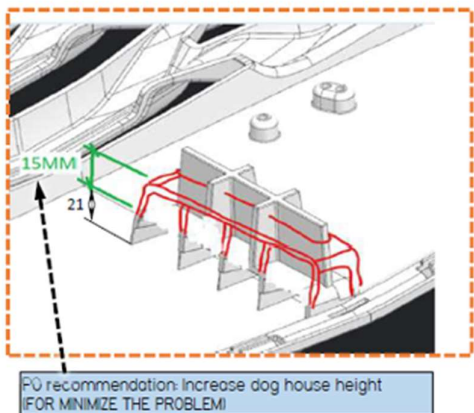
ISSUE N°	GM - JBUC - RS Grille - C01196	Risk Level	RESPONSE:	NON AGREED
92		MEDIUM	Adauto	
PROBLEM / CAUSE / DETAIL		PROPOSAL / PO RECOMMENDATION		
3D Model 23JA2024: 52175568_geo_fin001.002999.prt  Problem: Small space to mold cooling Impact: Quality issue / Hot spot		 PO recommendation: Increase dog house height (FOR MINIMIZE THE PROBLEM)		

Figura 9. DFM referente ao problema de acúmulo de massa na região da placa.

Item 3, demonstrado na Figura 10, o item mais crítico identificado no DFM, pois impacta na aparência da principal superfície da Grade Frontal. É a área mais importante, visível e de grande impacto ao cliente final.

Devido a quantidade de reforços na classe “B” do produto, a relação de espessura desses reforços com a classe “A”, bem como a região crítica por questões de espessura e geometria para frente de fluxo de material na região abas que contornam a contra peça (farol).

Esse é um exemplo importante para ser levado em consideração como lição aprendida pois simplificar o design de produto, garante um desenvolvimento de processo otimizado e consequentemente garante o atendimento de critérios de aparência, funcionais e dimensionais.

O trabalho colaborativo para identificação dos problemas e correções apropriadas são fundamentais para não colocar o andamento do projeto em risco.

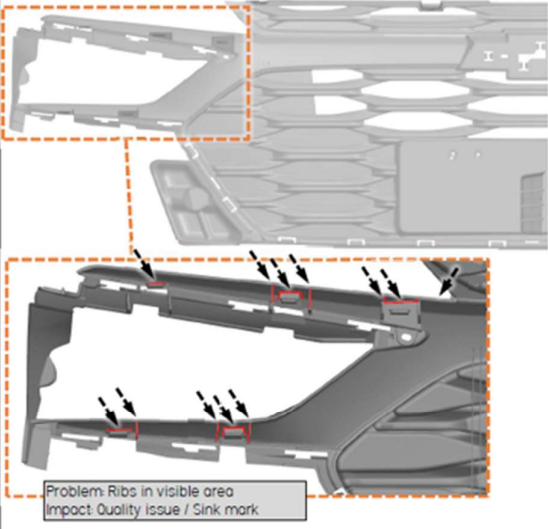
ISSUE N°	GM - JBUC - RS Grille - C01196	Risk Level	RESPONSE	UNDER DISCUSSION
71		High	Adauto	
PROBLEM / CAUSE / DETAIL		PROPOSAL / PO RECOMMENDATION		
3D Model 26NO2023: BNV17535_001_GEO_FIN001.prt  Problem: Ribs in visible area Impact Quality Issue / Sink mark		- Change design of ribs / features on B Surface to eliminate risk of sink marks on main painted surface; - High risk / high impact on main surface for customer .		

Figura 10. Item crítico de aparência devido aos reforços no conceito do Produto

Com a falta de acordo na em correção dos problemas identificados nessa fase por solicitação do time de design de produto do cliente foi iniciada a análise virtual conforme figura 7.

Importante ressaltar a incorporação e a padronização das ferramentas virtuais alinhadas ao processo de desenvolvimento de novos produtos no ramo automobilístico com o objetivo preventivo. Podemos destacar também a importância da disciplina no sistema padronizado e disciplinado de melhorias continua, da mentalidade de resolução de problemas ainda nas fases iniciais de gerenciamento de projeto com proposito de reduzir retrabalho.

Mesmo sem a concordância referente aos problemas do DFM iniciou-se o trabalho de Simulação Virtual que tem com o objetivo suportar o desenvolvimento otimizado do processo e ferramenta de injeção plástica.

Foi realizado o KOM da Simulação Virtual com o time multifuncional a fim de garantir os inputs apropriados ao estudo virtual.

Nesse estágio os técnicos de processo já realizam o planejamento dos parâmetros preliminares de processo figura 11, bem como nível de 3D, 2D, informações técnicas da máquina injetora definida para “tryout” e produção,

malha, posição, quantidade, dimensionamento dos “gates” de injeção, áreas proibidas de inclusão de “gates” de injeção, dados de contração do material para estudo e projeto do molde. Todos esses dados são registrados em reunião no documento TIS3.1 e são utilizados como base de input para o início dos estudos virtuais a serem realizados pelo provedor homologado pelo cliente em conjunto com a ferramentaria e com o time técnico do fornecedor.

O “software” homologado pela GM para esse tipo de análise em peças plásticas é Autodesk Moldflow [6] e os critérios gerais para realização e análise são estabelecidos pela GMW16355 – “Thermoplastic Injection Molding Analysis” [7], que deve ser utilizada em conjunção com a GMW15850 - “Injection Mold Tool Standard”[8], normativo que guia o projeto de desenvolvimento de ferramentas conforme padronização global da GM com o objetivo de garantir e guiar desenvolvimento de ferramentas de injeção plástica com alta qualidade e custo otimizado.

Importante ressaltar algumas recomendações no que devem ser seguidas para o processo do estudo virtual que vai desde o KOM até a Fase 4 virtual para garantir disciplina e outputs adequados na realização do estudo:

1. Não iniciar o estudo sem o KOM concluído com a TIS 3.1 e os inputs requeridos;

2. Não avançar para etapas seguintes sem todas as pendências fechadas baseados em análise de causa apropriada;
3. O início da usinagem da ferramenta é permitido somente com todos os itens identificados,
4. Requerido desenho 2D preliminar ou final para suportar o início das análises;



Global ME Body Polymers

MOLDFLOW INPUT CHECKLIST

Program: GM

Part Name: Grille

Team Member	Category	Company	Contact Name	Job Title	Attend
	OEM	General Motors	Adriana Cerni	GM	Yes
	OEM	General Motors	Moacir Veiga	GM	Yes
	Tier 1	Plastic Omnium	Fausto Martins	Tooling Engineer	Yes
	Tool Shop	Aeromatizes	Malcon	Project	Yes
	Moldflow Source	Oerlikon HRS Flow	Erick Damilão	Moldflow Analyst	Yes
	Hot Runner Supplier	Oerlikon HRS Flow	Guilherme Conti	Supervisor Sales Engineering	Yes
	Tool Shop	Aeromatizes	Gelson	Project	Yes
	Tier 1	Plastic Omnium	Yann Benech	Tooling Expert	Yes
	Tier 1	Plastic Omnium	Luiz Leony	Product Engineer	Yes
	Tier 1	Plastic Omnium	Adarta Azarias	Design	Yes
	Resin Supplier	INEOS	Jorge Junior	Technical	Yes

OEM, Tier 1, Molder, Tool Shop, and Moldflow Source are all required to attend Moldflow Kick off meeting
Resin Supplier and Hot Runner Supplier are recommended to attend

Description	Value	Comments
Completion Date	Flow & Pack (date)	29/09/2023
	Cool & Warpage (date)	31/10/2023
	Final Report (date)	15/11/2023
Part Design Information	Math Data File Name	3D last level: 2023AG28 - 52175568 geo_fin001.001.0058058.prt
	Math Data File Version/Date	
	Math Data Volume (cm³ or in³)	
	Data in Tool Position (Yes/No)	Yes
	Data Expanded to Shrink Rate (Yes/No)	No
	Data Design Frozen? (Yes/No)	Yes
	If no, when?	
Moldflow Version	2021.1	
Define Modeling Requirements	Mesh Type: ☐ Mid-plane ☐ Dual Domain ☒ 3D ☐ Using more than 1 type, describe in comments	
	Initial Element Global Edge Length	
Define Molding Process	Process: ☒ Injection ☐ Gas assist ☐ Co-Injection ☐ Injection/Compression ☐ 2-shot ☐ Other - Please note in comments	
Mold Information	Define Mold Status Mold Status: ☐ Existing Mold ☒ New Mold	
	Define Mold Type Mold Type: ☒ 2-Plate ☐ Family ☐ Inserts ☐ Stack ☐ Other - Please note in comments	
	Define Cavity Mold Material Grade Name	1,2738
	Define Core Mold Material Grade Name	1,2738
	Define Insert Mold Material Grade Name	1,2738
	Define the Number of Part Cavities (#)	1

Figura 11. Check list Kick off Meeting Simulação Virtual

Ao final dessa reunião de KOM o provedor homologado inicia os estudos da fase 1 e 2 da simulação virtual. A fase 1 estabelece o número mínimo e a posição dos

“gates”. Essa fase é requerida para estudos e análise de preenchimento, congelamento, refrigeração e empenamento, conforme Figura 12, tabela 4 demonstrada na GMW 16355.

Describe Best Gate Location(s) Selection Criteria	Weld/Meld Lines with Temperature
Fiber Orientation (if fiber filled material is used)	Air Trap Location
Grow From	Pressure at Transfer
Filling Pattern Versus Time (Fill Time)	Pressure Distribution at End of Flow (EOF)
Time to Reach Ejection Temperature	Shear Rate
Velocity	Flow Front Temperature
Warpage Results (Isothermal Cooling)	Clamp Force: XY Plot
Pressure: XY Plot (at all post gates and end of fill)	Pressure at Injection Location: XY Plot (Pressure vs. Time)
Dimensioned pictorial showing proposed gate location(s)	

Figura 12. Outputs Fase 1 conforme GMW16355

Já a fase 2 tem como objetivo estabelecer o layout e dimensionamento do sistema de entrada de material para injeção. O sistema deve ser modelado em conjunto com a interface da máquina injetora e o sistema de abastecimento

de material. Fase requerida para estudos e análise de preenchimento, congelamento, refrigeração e empenamento, conforme Figura 13, tabela 5 referenciada na GMW 16355.

All Phase 1 Outputs	Frozen Layer vs. Time
Shear Stress in Part (95%)	Bulk Shear Rate in Gate
Volumetric Shrinkage	Sink Mark Depth
Dimensioned pictorial showing manifold bore and drop diameters, drop locations, runner and gate geometries	

Figura 13. Outputs Fase 2 conforme GMW16355

A definição do sistema de injeção da grade pode ser ilustrada na Figura 14.

No caso em estudo, é possível verificar parte dos resultados das análises do estudo virtual da Grade Frontal, fase 1 e fase 2, confirmam virtualmente o não atendimento de critérios de aparência, devido ao acúmulo de massa que tendo como causa o projeto do produto e sugerem implementação de ações específicas no sistema de refrigeração do molde que trataremos mais adiante na Fase 3, ilustração nas figuras 15 e 16.

Outro resultado já identificado em DFM é o risco de falha de injeção em regiões com alta profundidade de nervuras, que conceitualmente são geradas pelo produto, porém sugere implementação de “air vents”, saída de gases que são gerados nas extremidades de frente de fluxo resultantes do movimento do material dentro da cavidade do molde que ocorre do centro para as extremidades de forma a minimizar as falhas de injeção do produto.

Com a fase 1 e 2 concluídas, os resultados de análise e pendências foram debatidos nos times envolvidos nesse tema. As oportunidades de otimização do projeto da ferramenta, como ações de melhoria de eficiência de refrigeração, como projeto de saída de gases foram identificadas e direcionadas para a conclusão do projeto da ferramenta que é um dos “inputs” para a Fase 3 e 4 da simulação virtual, que antecede a liberação de usinagem da ferramenta.

Do ponto de vista dos itens conceituais de produto, por processo deveriam ter sido considerados e deveriam ter tido ações de correção para os correções mapeados em DFM e confirmados nos outputs das fases 1 e 2 contudo por restrições de “timing” do projeto de desenvolvimento, bem como pela desconexão cultural de um trabalho preventivo antecipado, com a mentalidade de evitar retrabalhos em fases avançadas, as fases 3 e 4 foram iniciadas com o argumento que o sistema de refrigeração poderia compensar tais definições no projeto do produto.

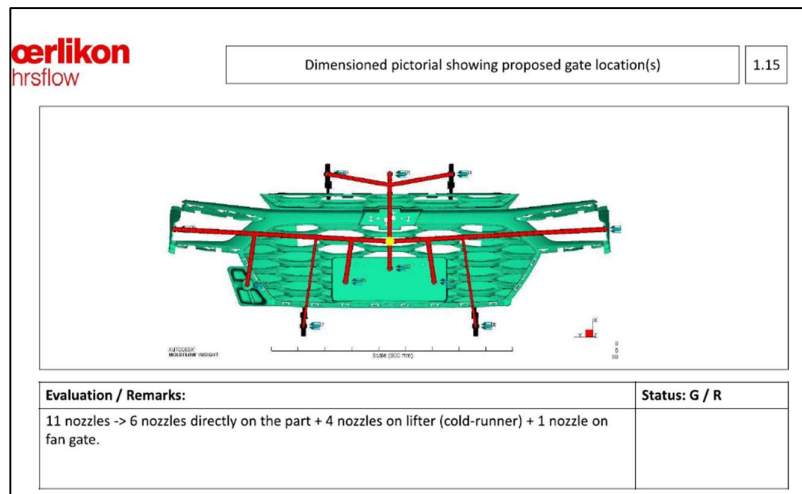


Figura 14. Definição do layout de injeção da ferramenta da Grade

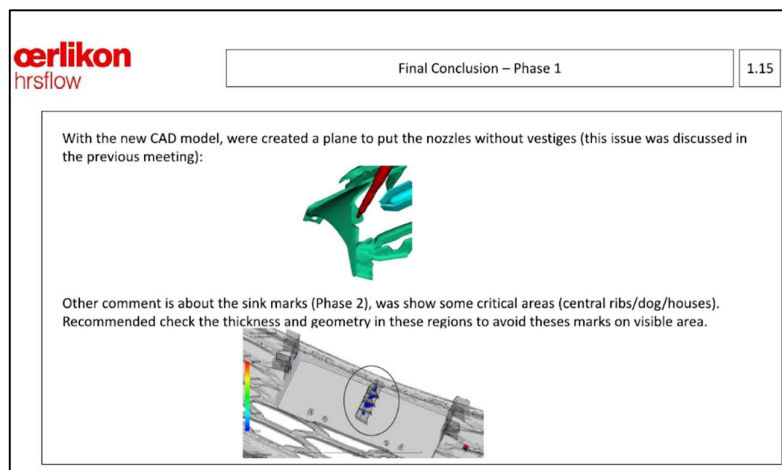


Figura 15. Resultados fase 1 e 2 da simulação virtual da Grade

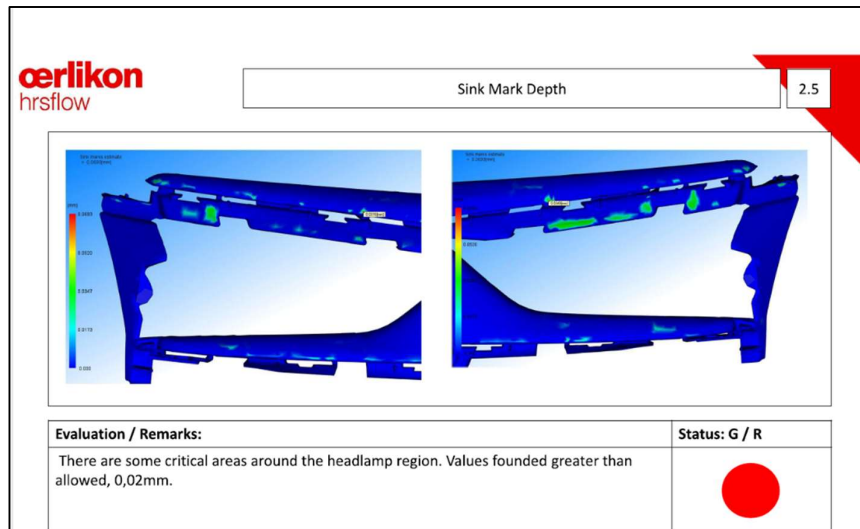


Figura 16. Output Fase 1 e 2 com problemas de aparência na região importante do produto

A fase 3, tem como objetivo principal estabelecer e validar o sistema otimizado de refrigeração do projeto do molde, bem como concluir análises sobre atendimento dos

critérios de aparência e dimensional, detalhados na Figura 17.

All Phase 2 Outputs	Circuit Reynolds Numbers
Cavity/Core Mold Temperature (Identify Hot Spots)	Circuit Coolant Temperature
Average Part Temperature	Thermal Insert Locations
Required Flow Rates	Required Inlet Pressures
Dimensioned pictorial showing all waterline diameters, baffle sizes, thermal pins and thermal insert locations	

Figura 17. Outputs Fase 2 conforme GMW16355

Um dos critérios importantes da fase 3 é a análise do número de Reynolds. Com esse critério avalia-se o sistema do fluido de refrigeração do macho e da cavidade do molde que garantir que trabalhe em regime turbulento e assim garantir a eficiência do sistema de injeção. No case da Grade considera-se aprovado o dimensionamento do sistema de refrigeração conforme figura 18.

É importante ressaltar que nesse caso esse critério não é atendido nas regiões de acúmulo de massa, identificados no DFM, fase 1 e 2 e confirmados nessa fase.

Outra dificuldade técnica é a falta de área técnica disponível para incremento das linhas de refrigeração de modo a reduzir e eliminar esses hot spots.

Outro critério importante da fase 3 é a avaliação de valores absolutos entre as identificações de hot spots na cavidade e macho. O delta de variação de temperatura dentro não pode exceder 11°C e devem ser eliminadas pois altas temperaturas podem resultar em problemas dimensionais ou aparência.

Os resultados e problemas identificados e confirmados no case da Grade Frontal são demonstrados nas figuras 19, 20 e 21 respectivamente.

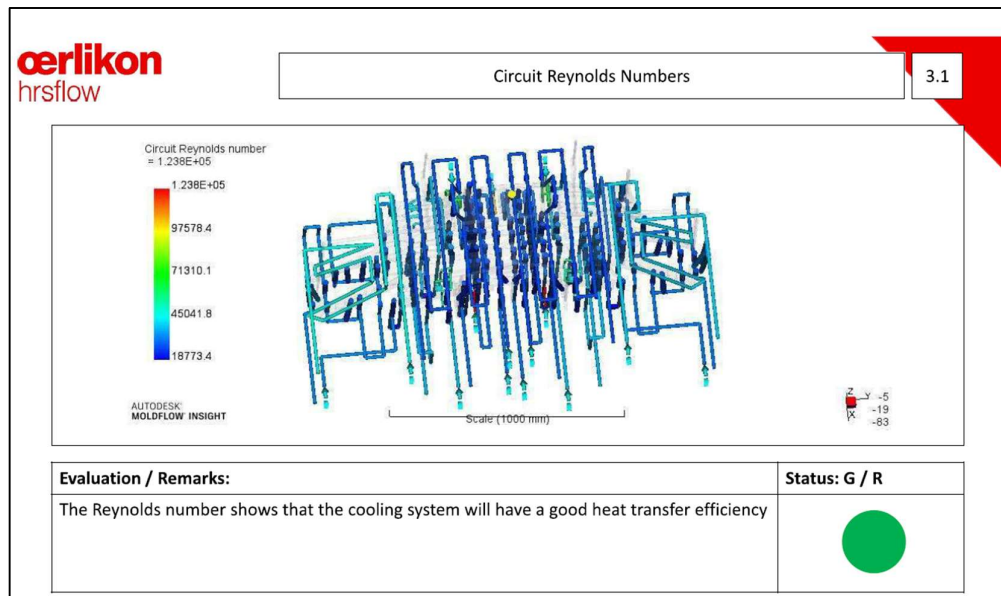


Figura 18. Dimensionamento do número de Reynolds do sistema de refrigeração da Grade

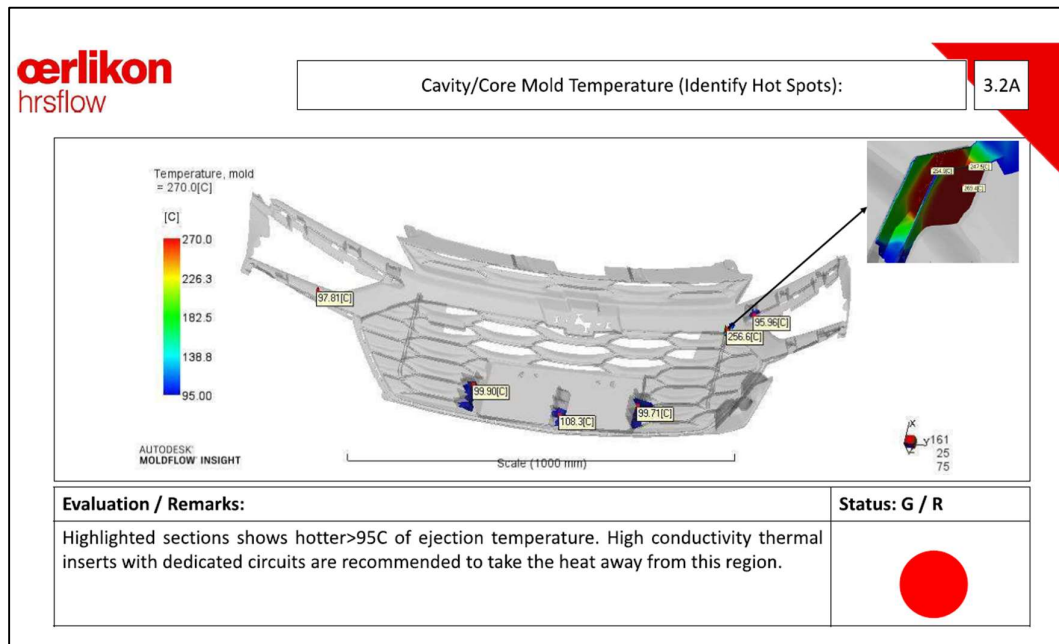


Figura 19. Áreas de acúmulo de calor identificados na Grade Frontal

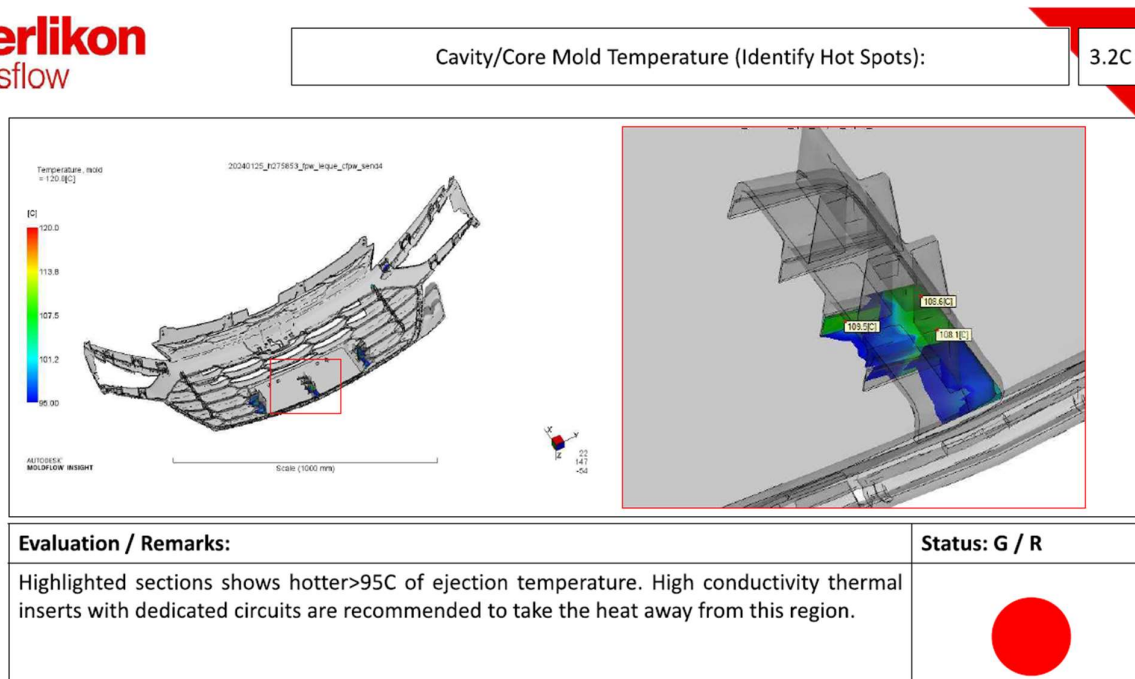


Figura 20. Áreas de acúmulo de calor identificados na Grade Frontal

oerlikon
hrsflow

Cavity/Core Mold Temperature (Identify Hot Spots):

3.2

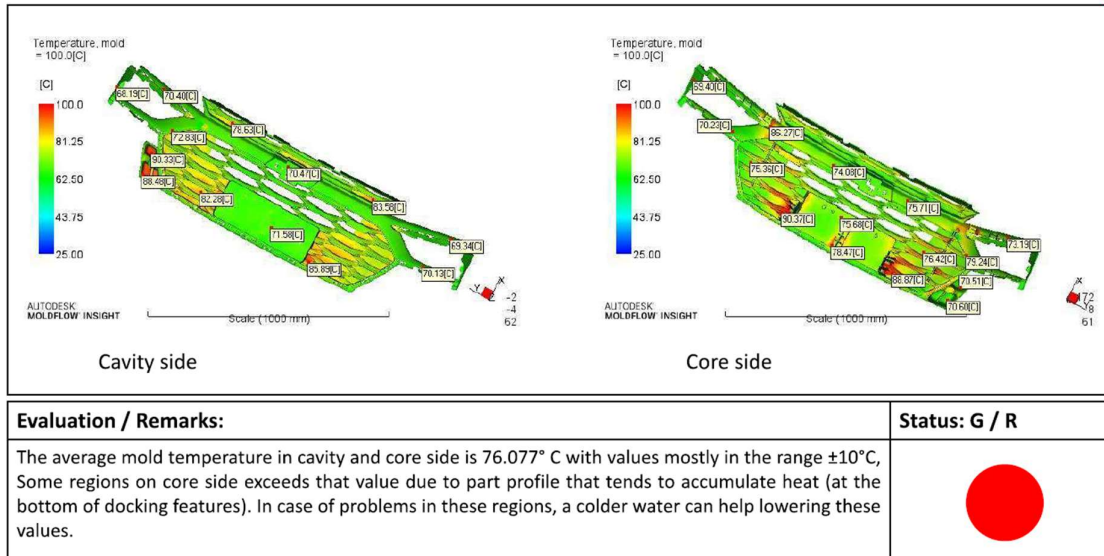


Figura 21. Áreas de acúmulo de calor identificados na Grade Frontal

Nas figuras 22 e 23, é possível demonstrar outro critério que avalia a eficiência do circuito de refrigeração, sendo eles critérios de Vazão e Pressão. Nessa análise com valores aprovados, é possível garantir que o dimensionamento físico está ok Figura 24, e que demonstra

que a causa dos hot spots não está relacionada ao dimensionamento do sistema de refrigeração do molde e sim da falta de alcance da refrigeração de aquecimento devido ao acúmulo de massa.

oerlikon
hrsflow

Required Flow Rates

3.7

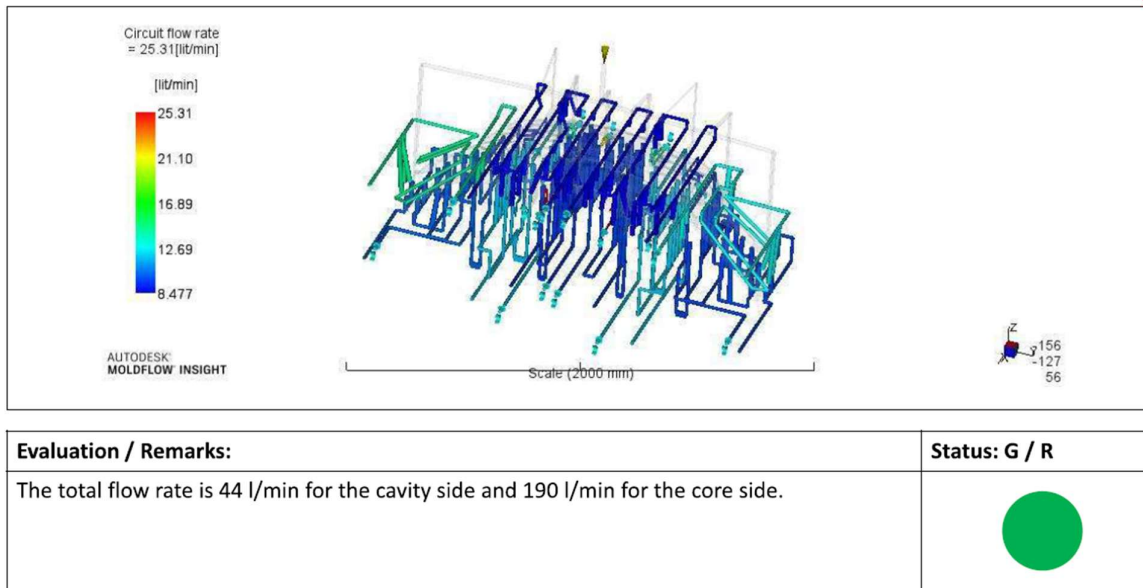
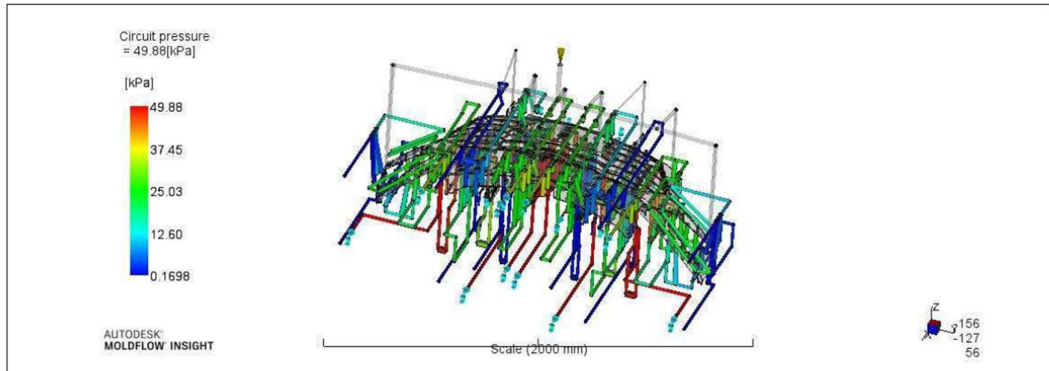


Figura 22. Resultados de Vazão do sistema de refrigeração da Grade



Evaluation / Remarks:

The minimum pressure on the cooling circuits is 0,5bar (cavity) and 0.37bar (core) to guarantee the turbulent flow and a good heat transfer.

Status: G / R



23. Resultados de Pressão do sistema de refrigeração da Grade

Figura



Evaluation / Remarks:

Channels = $\varnothing 15\text{mm}$, $\varnothing 10\text{mm}$
Baffles = $\varnothing 22\text{mm}$, $\varnothing 15\text{mm}$
As per the given CAD dimensions

Status: G / R



Figura 24. Dimensionamento do sistema de refrigeração do ferramental da Grade

Com base nas análises dos resultados pelo time multifuncional principalmente aos problemas de acúmulo de calor, chamado “hot spots”, definiu-se um plano de melhoria no projeto do sistema de refrigeração do ferramental.

Esse processo do PDCA é uma metodologia de gestão de melhoria contínua, largamente utilizado em diversas áreas e ramos de atuação. Em nosso estudo e no projeto apresentado nesse case, também estendido aos processos de

APQP, DFM, análise virtual. É uma ferramenta de sucessivos loopings com o objetivo de otimizar o fluxo de melhoria contínua. Podemos esclarecer as etapas do Ciclo PDCA de forma sumarizada, conforme abaixo:

1. Planejar (Plan): Identificação do problema e planejamento de ações para correção do problema;
2. Fazer (Do): Implementação do plano de ação definido.
3. Verificar (Check): Avaliação dos resultados e ações planejadas.
4. Agir (Act): Análise das causas dos problemas e proposta de novas ações com o objetivo esperado, no nosso case em questão foi o de eliminação dos hot spots.

Dentre as melhorias realizadas e implementadas no sistema de refrigeração podemos observar que apesar dos esforços e ações definidas pelos técnicos e engenheiros envolvidos, os resultados das melhorias não foram suficientes para aprovação dentro dos critérios esperados da

análise virtual, bem como a eliminação dos hot spots conforme figuras na sequência.

As melhorias com o objetivo de refinamento do circuito de refrigeração com foco nas regiões de acúmulo de calor apresentaram anhos pouco significativos em aproximadamente 2°C, ainda excedendo o limite máximo de 11°C de especificado, em algumas regiões apresentando um delta superior a 20°C, conforme demonstrado nas ilustrações das figuras 25 a 32.

Esse resultado se deu basicamente porque as ações implementadas no PDCA foram focadas no efeito, nesse caso, as altas temperatura no molde e não na causa raiz que é o acúmulo de massa no conceito e projeto do produto, conforme identificado nos estudos de DFM, Fases, 1, 2 e 3 da análise virtual.

Novamente reforço como causa sistêmica desse case, resistência cultural de trabalho em time, solução de problemas com foco de causa fundamental.

oerlikon
hrsflow

Final Conclusion – Phase 3

4.0

Update – 08/02/2024

- To reduce the hot-spots, were added more baffles and thermal pins in critical areas. About the thermal pins, the MF software cannot simulate the gas effect that it has internally so, the results in practical is better than found in simulation. In simulation is possible to check a reduction in $\pm 2^{\circ}\text{C}$ in some regions.

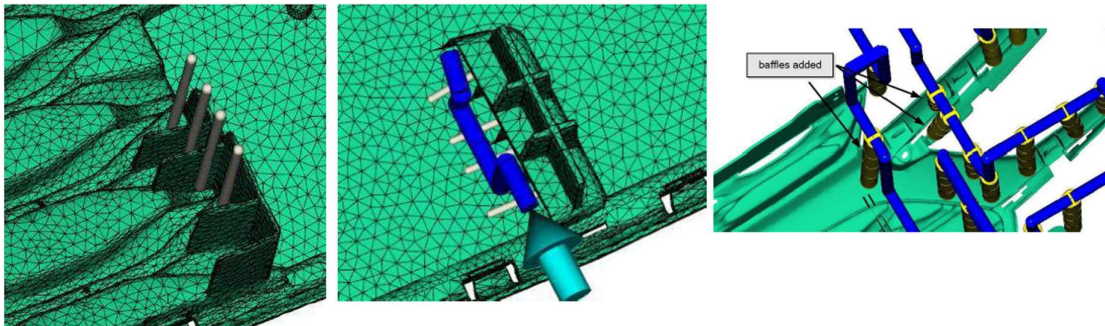


Figura 25. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

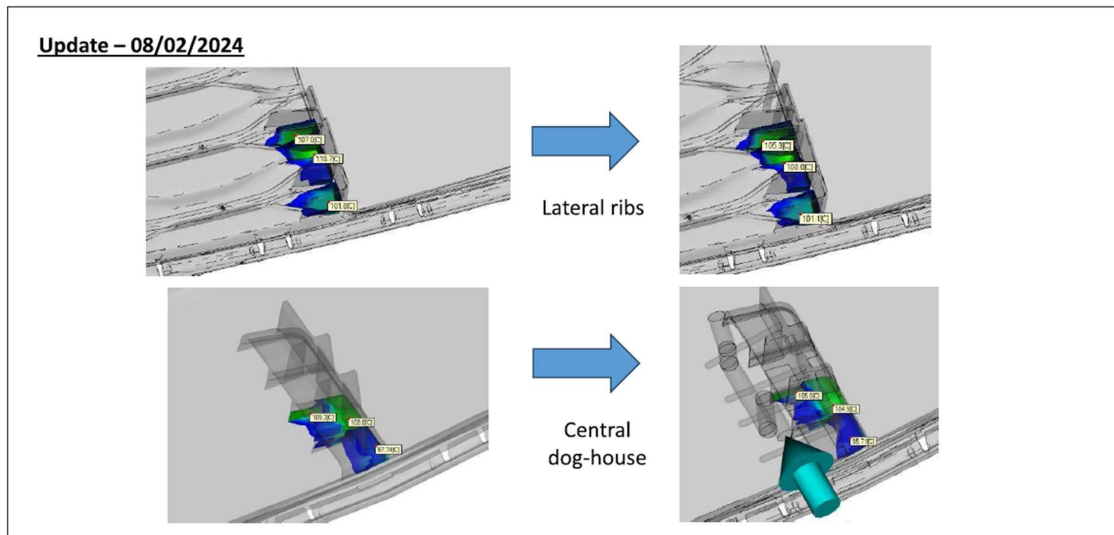


Figura 26. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

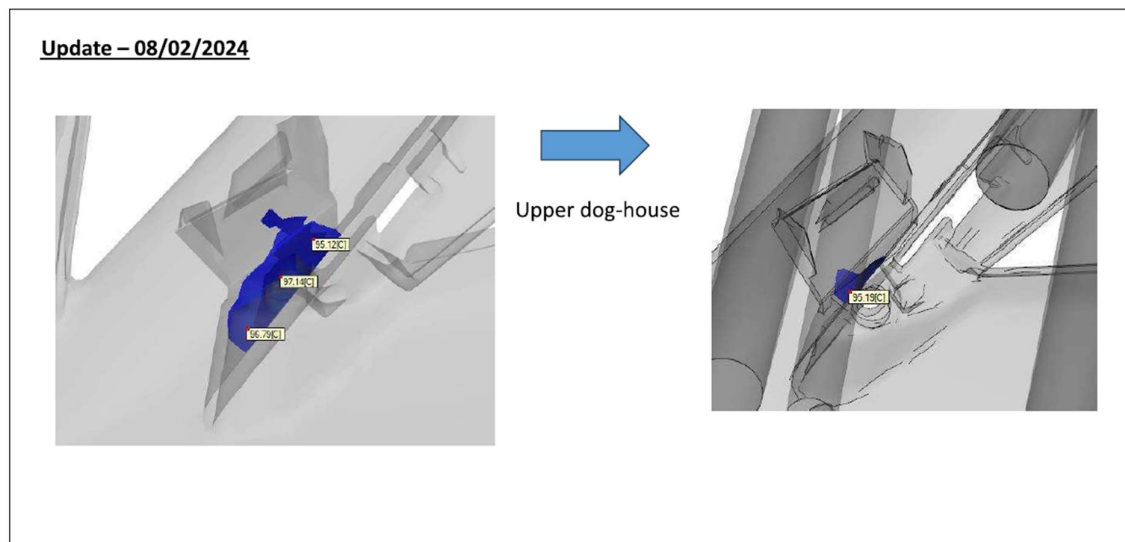


Figura 27. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

Update – 01/03/2024

- Change the coolant temperature on cavity side to 60°C;
- Increased the thermal pins diameters
- Improvements in cooling channels in core side:

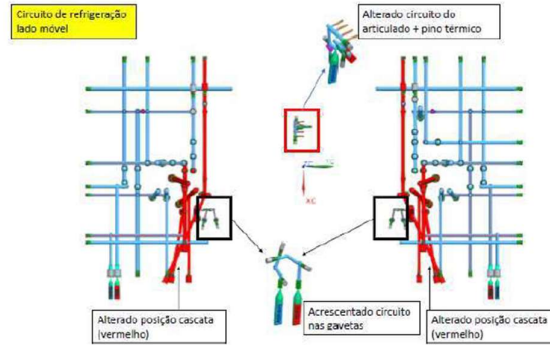
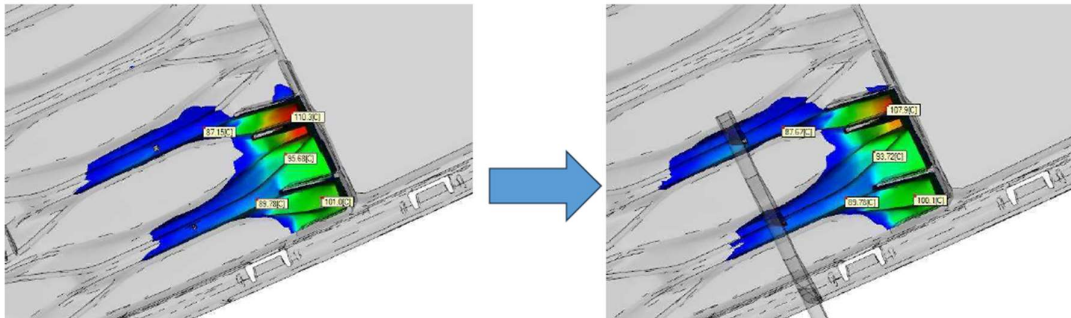


Figura 28. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

Update – 01/03/2024 – lateral ribs (core side)

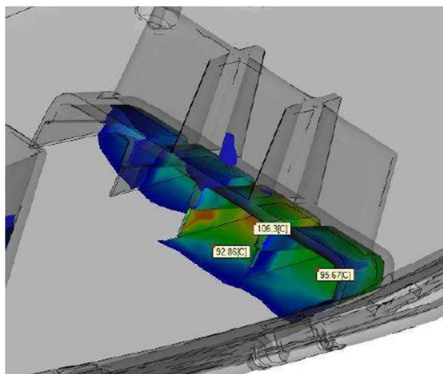


Last results (08/02/24)

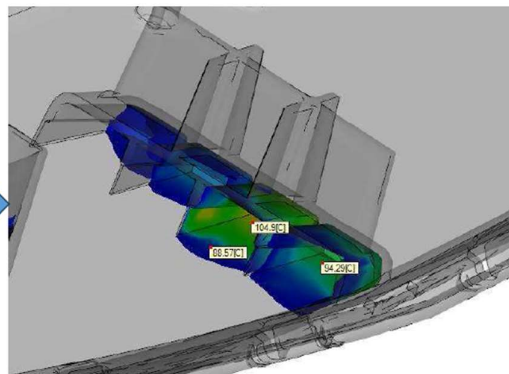
Update cooling (01/03/24)

Figura 29. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3

Update – 01/03/2024 – central dog-house



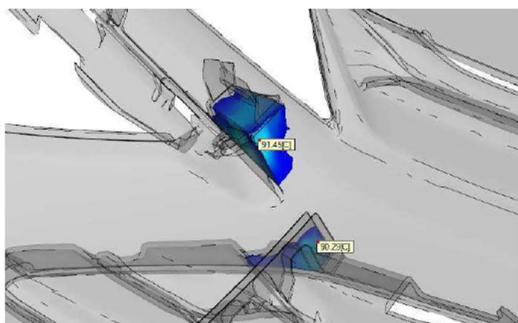
Last results (08/02/24)



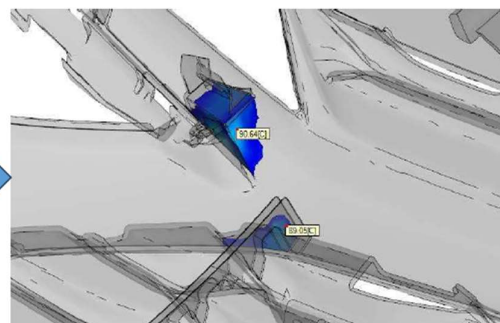
Update cooling (01/03/24)

Figura 30. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

Update – 01/03/2024 - internal ribs



Last results (08/02/24)



Update cooling (01/03/24)

Figura 31. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

ærlikon
hrsflow

Final Conclusion – Phase 3

4.0

Update – 12/03/2024 – 3D update and improvement in central ribs

01/03/2024 – last results

12/03/2024 – last results

20240312_h275853_cfpw_send07.mfr

Figura 32. Resultado do refinamento do circuito de refrigeração do molde da Grade na fase 3.

Com a conclusão da etapa virtual Fase 3 e as otimizações de ferramenta para suportar foi possível concluir o projeto do molde e estudo na definição do processo otimizado antes do início da usinagem da ferramenta

definitiva, foi realizada a Fase 4, que consiste em estabelecer o processo otimizado, etapa requerida para validação final dos critérios dimensionais e funcionais, conforme figura 33, conforme tabela 7 da GMW16355.

All Phase 3 Outputs	Anchor Plane Map (as needed)
Warp All Effects	Warp in X to Axis
Warp in Y to Axis	Warp in Z to Axis
Total Part Weight (Gate Freeze)	Top two (2) variables from Design of Experiments (DOE) simulation.
X-Direction shrink determined through a query of warp in X-direction mesh	
Y-Direction shrink determined through a query of warp in Y-direction mesh	
Initial Processing Conditions	
Injection Rate Profile	Pack and Hold Profile (Pressure and Time)
Core Temperature	Cavity Temperature
Melt Temperature	Cooling Time
Valve Gate Opening	Fill Time (confirmed by simulation DOE)
Valve Gate Closing (Time)	Clamp Tonnage
Filling/Packing Phase– Re-opening/closing of Sequential Valve Gates (if applicable)	
Sequential Valve Gate opening/closing speed (if applicable)	

Figura 33. Tabela 4 com requisitos para Fase 4 da simulação virtual

Nessa etapa é sugerido pelo processo padronizado de análise virtual do cliente, um DOE “Design of Experiments”, que deve ser analisado virtualmente para possível avaliação das variáveis de processo com maior influência e definição da melhor configuração dos parâmetros de processo para o início do primeiro “tryout” após a construção da ferramenta.

Um dos benefícios dessa etapa é aplicação do PDCA dos parâmetros de processo virtualmente e seus respectivos outputs dimensionais, reduzindo e evitando custos com diversos testes físicos em máquina. Antes da existência de ferramentas virtuais eram realizadas no ambiente fabril com o uso de horas da máquina injetora, gasto de matéria-prima,

tempo, ou seja, custos altos podem ser reduzidos ao custo das horas do analista ainda antes da construção da ferramenta.

Apresento na tabela abaixo, figura 34, o DOE de parâmetros de processo avaliados virtualmente e proposto para análise dimensional virtual do produto.

Nas figuras 35 a 39, é possível demonstrar a convergência dimensional da análise virtual versus as especificações de produto 2D e as tolerâncias estabelecidas pelo cliente. Esses estudos são realizados após a conclusão do projeto da ferramenta após todas as melhorias, bem como a otimização de processo.

Moldflow Settings	Unit	Loop 1	Loop 2	Loop 3	Final to 1st tryout
Maximum pressure	bar	85	90	120	125
Melt temp	°C	270	260	255	260
Water cavity temp	°C	65	65	60	55
Water core temp	°C	65	65	50	55
Fill time	s	5.6	8.5	9.5	7
Pack/Hold time	s	20	18	7	15
Hold Pressure	bar	50	65	65	65
Cooling Time	s	46.4	25	32	20
Injection Cycle	s	105	84.5	81.5	75

Figura 34. Tabela de DOE para análise virtual de parâmetros de processo da Grade Frontal

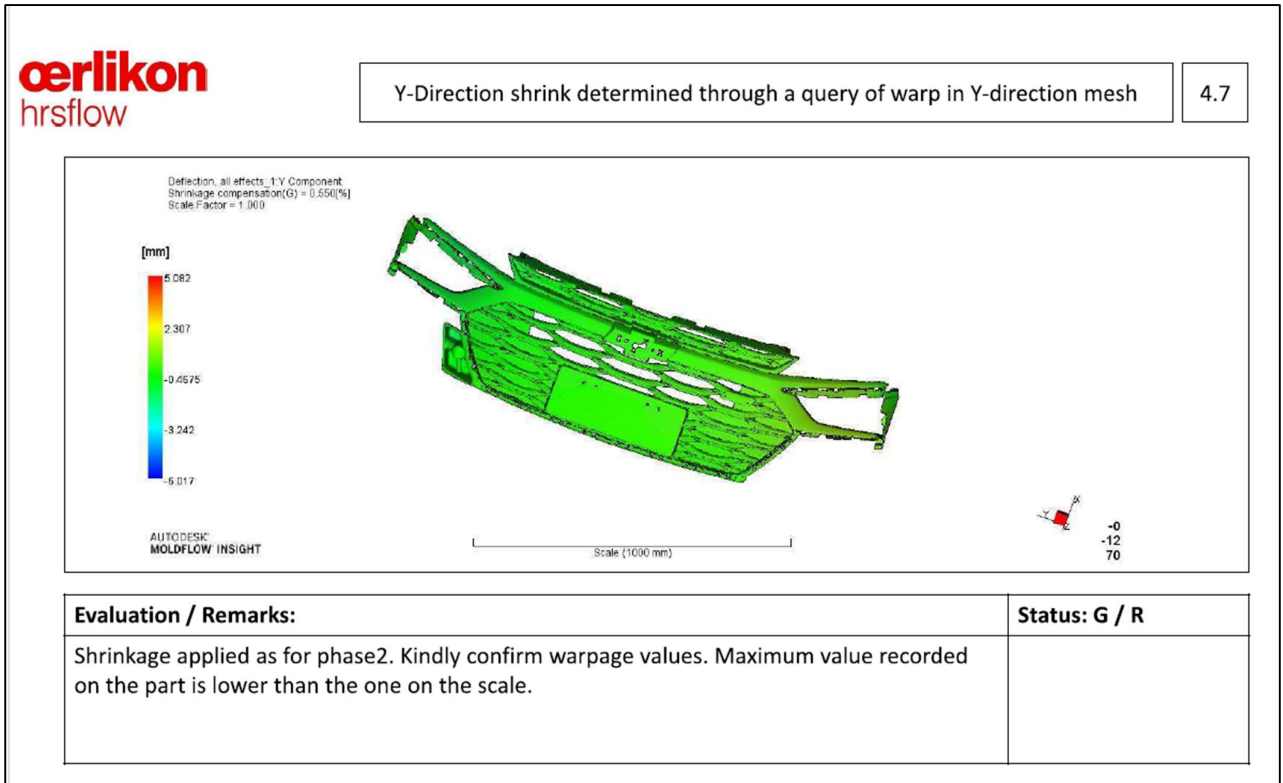


Figura 35. Resultado dimensional realizado virtualmente

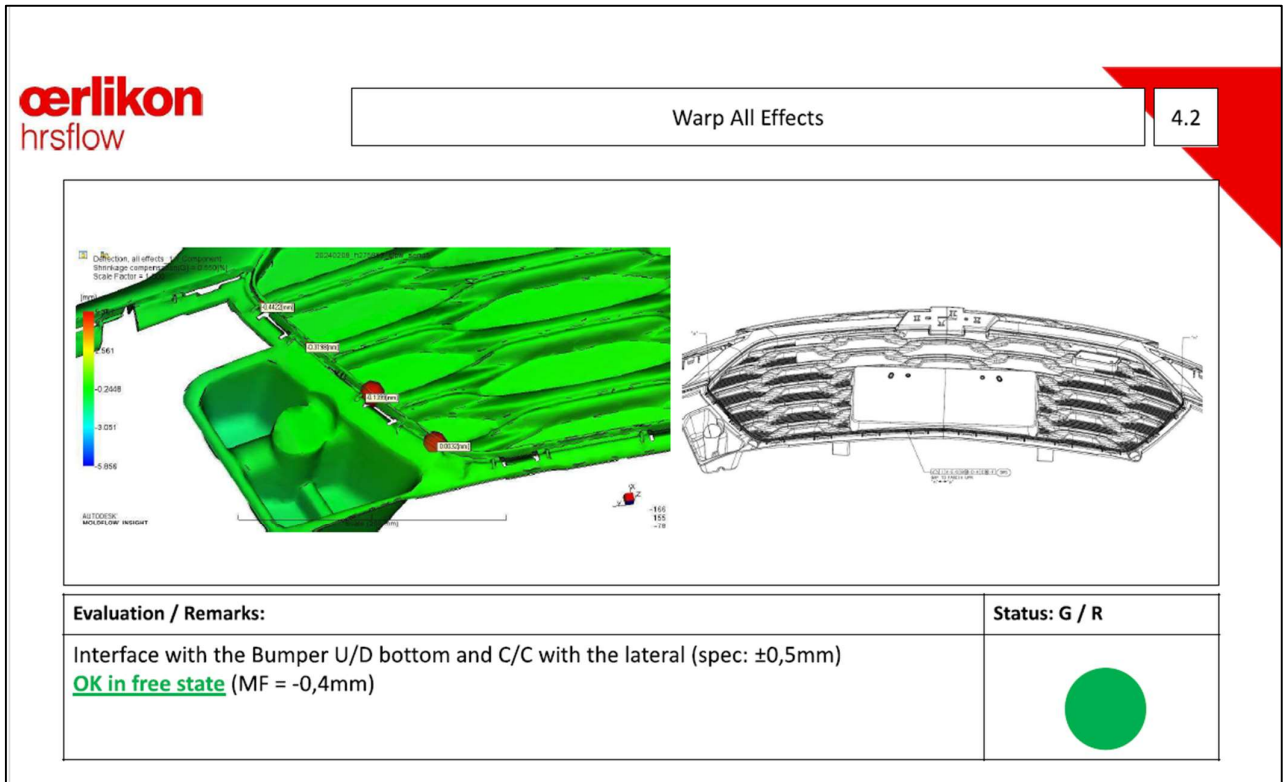


Figura 36. Resultado dimensional realizado virtualmente

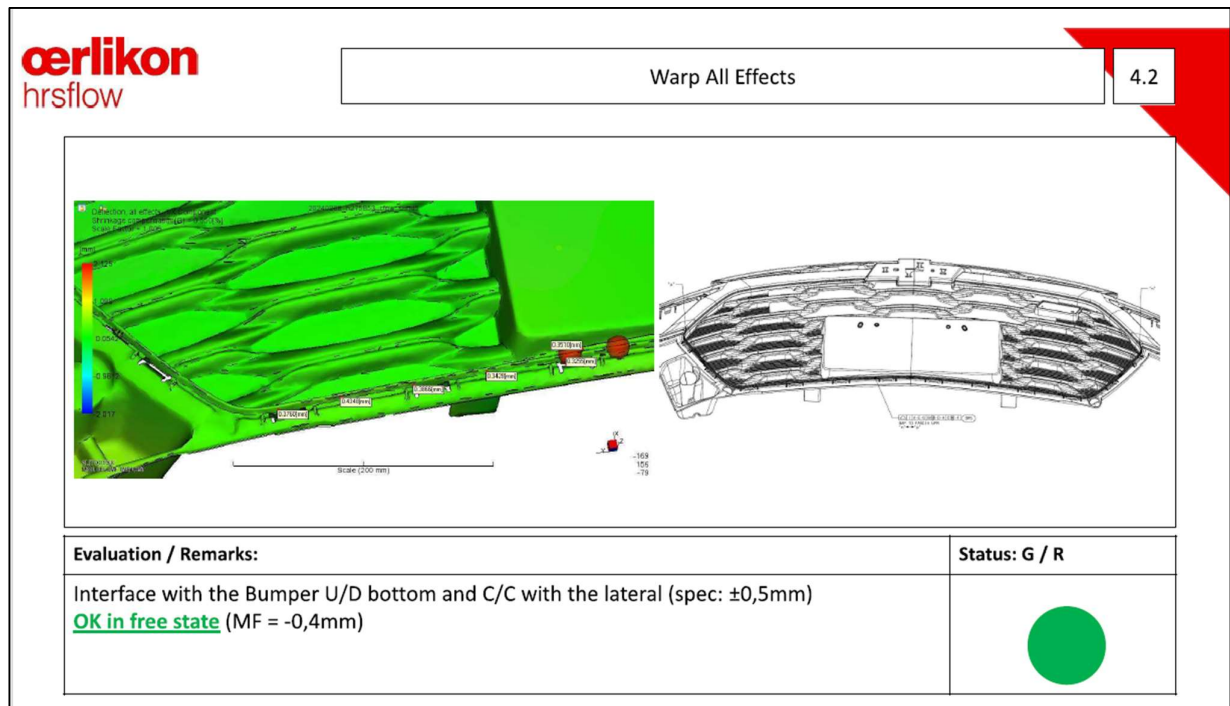


Figura 37. Resultado dimensional realizado virtualmente

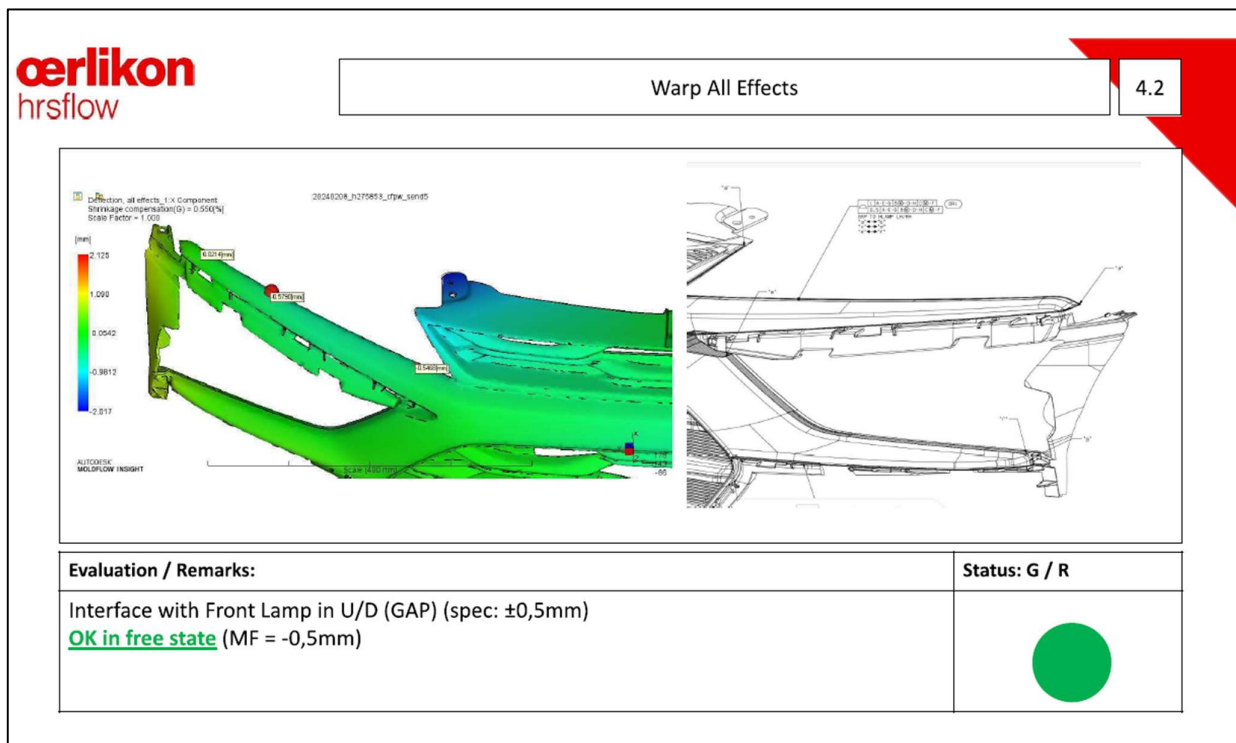


Figura 38. Resultado dimensional realizado virtualmente

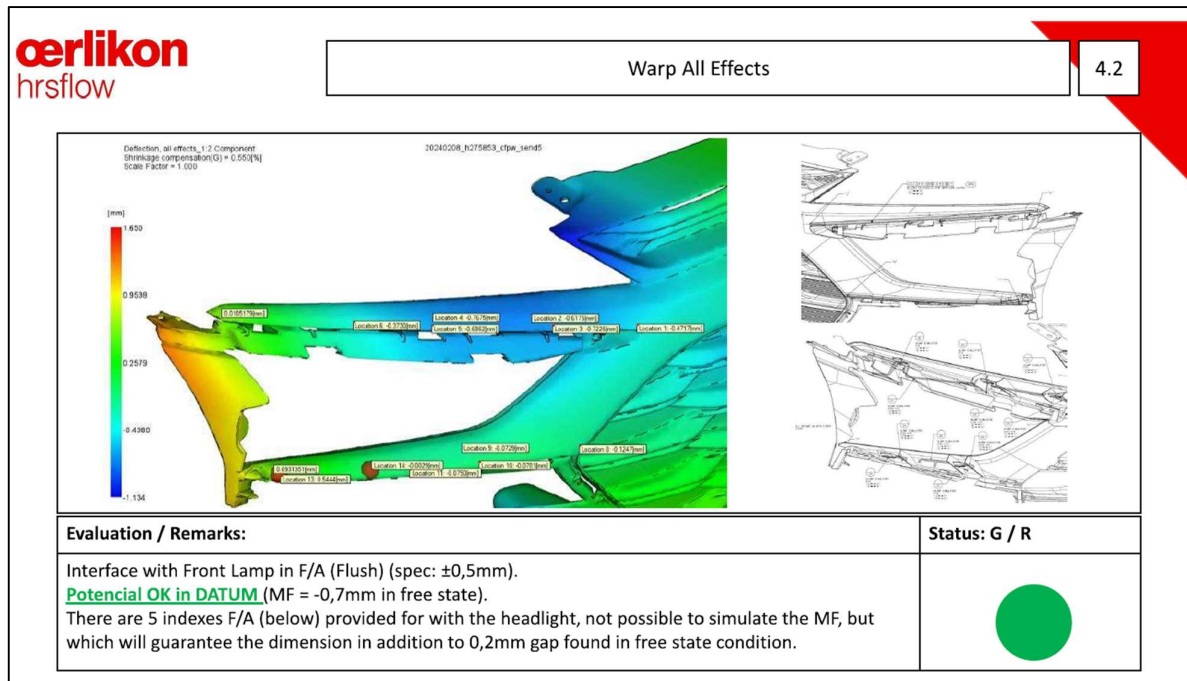


Figura 39. Resultado dimensional realizado virtualmente

Com a conclusão da fase 1,2,3 e 4, os resultados dimensionais foram aprovados virtualmente, porém mesmo após as melhorias realizadas no sistema de refrigeração e a otimização dos parâmetros de processo, os problemas de aparência que impactam a qualidade percebida do cliente final ainda permaneceram. Devido as restrições de “timing” do projeto foram realizadas diversas reuniões com as lideranças das áreas pois não seria possível o lançamento do veículo com tais problemas de aparência caso os problemas identificados virtualmente tivessem correlação com a peça física após as primeiras injeções da Grade. Fluxo demonstrado na Figura 40.

Nesse case foi fundamental os resultados para mapear a convergência virtual com o resultado. Na indústria automobilística, conceitos consolidados como princípios de gerenciamento de projetos, trabalho em time multifuncional, análise de dados objetivos e tomada de ações apropriadas

com foco na redução de custo e prevenção, bem como ações baseada em causa raiz, garantem alinhamento por completo desse processo.

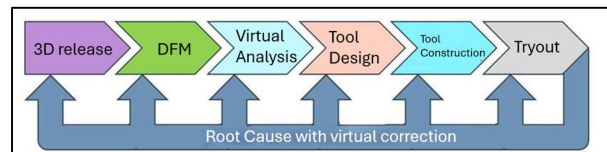


Figura 40. Fluxo de análise e correção Fase 3 APQP

A construção da ferramenta foi concluída e já nos primeiros “tryouts”, a peça física apresentou uma correlação de 98% entre os itens previstos na análise virtual conforme ilustrações comprobatórias na sequência, figuras 41, 42, 43.

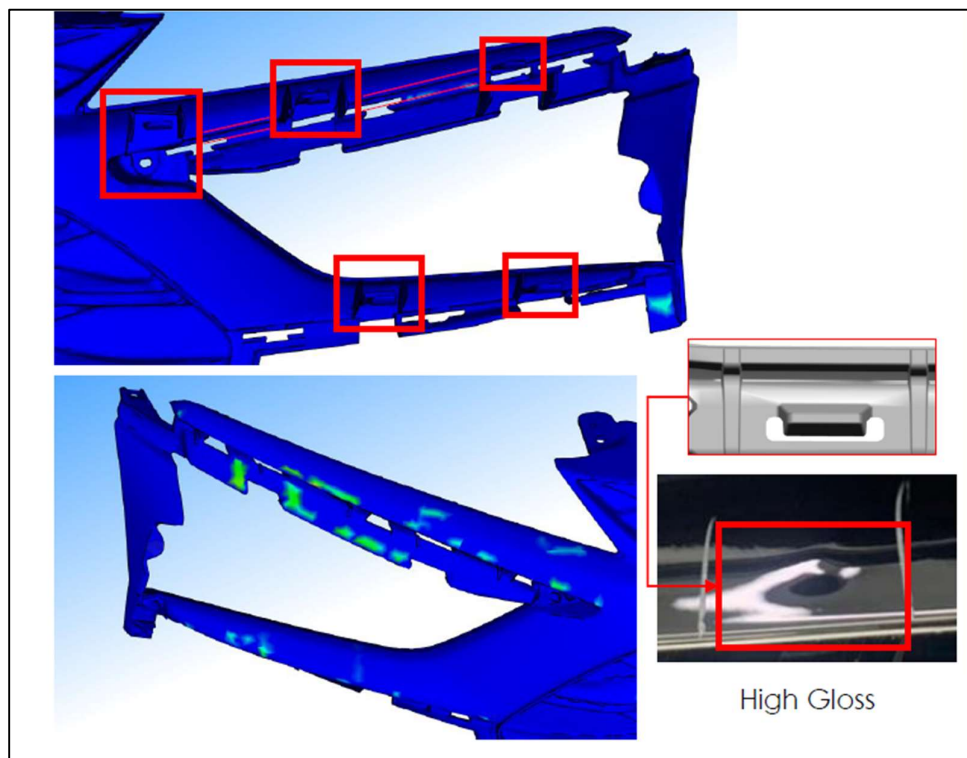


Figura 41. Correlação virtual x física do acúmulo de massa na região do farol.

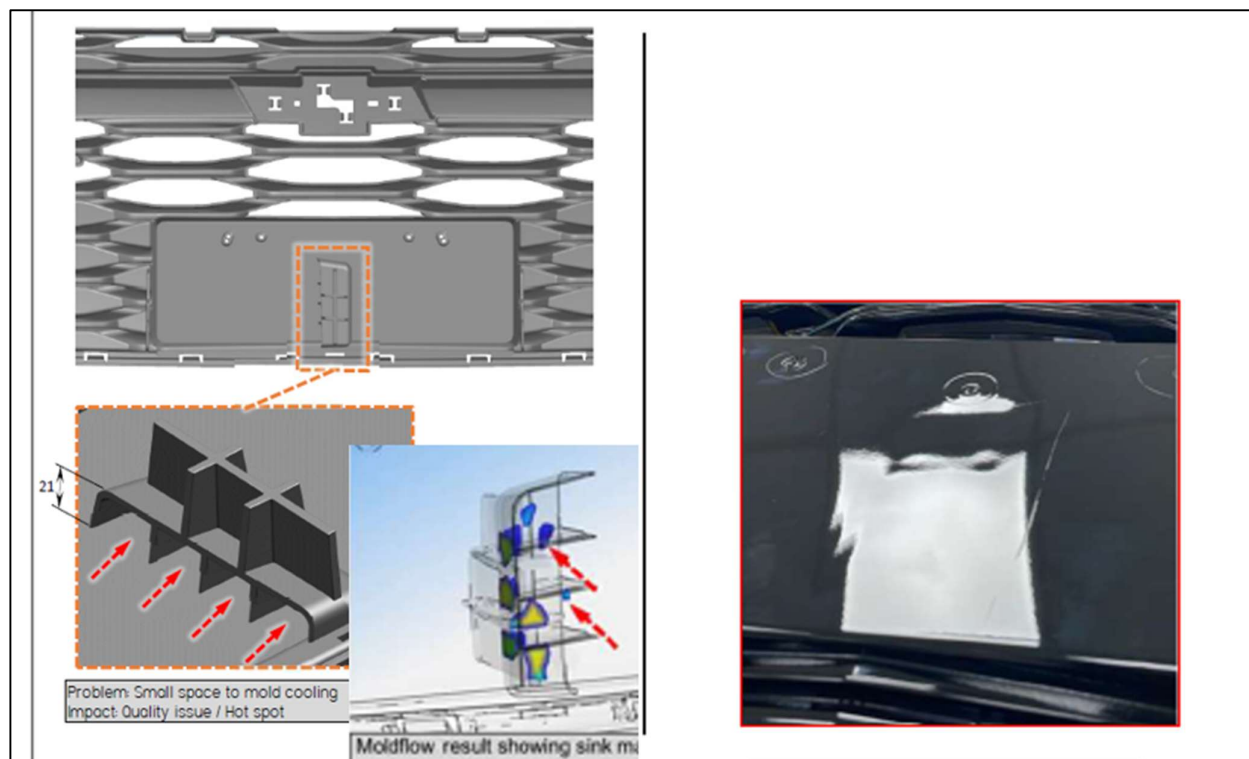


Figura 42. Correlação virtual x física do acúmulo de massa e hot spot na região da placa sem acesso da refrigeração para resfriamento adequado.

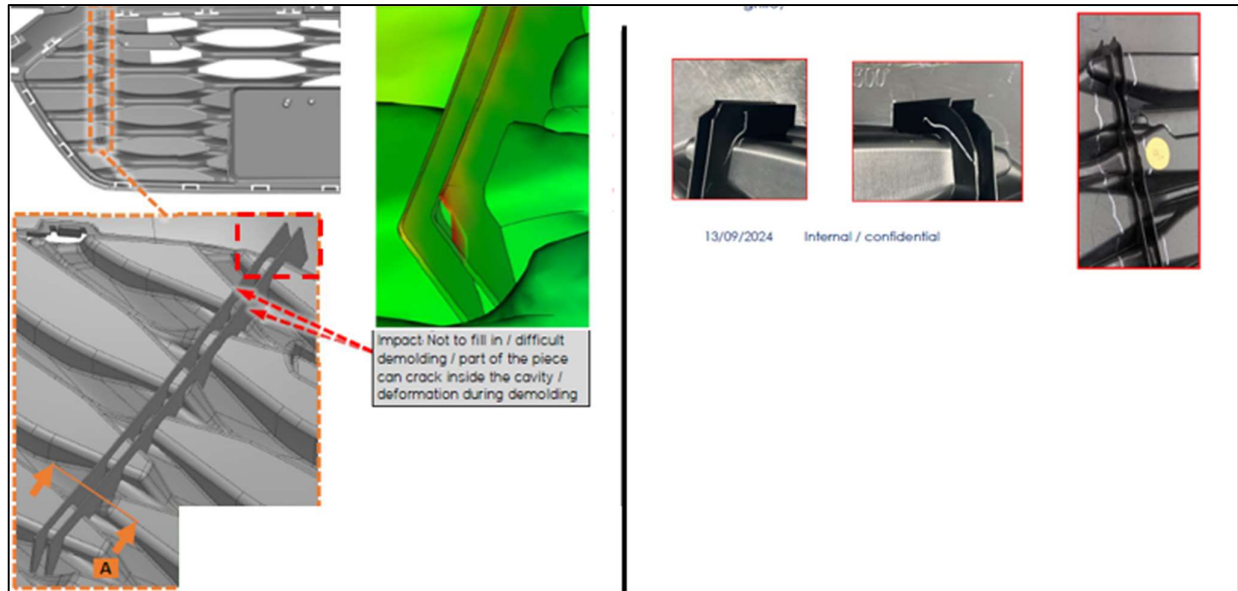


Figura 43. Correlação virtual x física do design das nervuras que não permitem preenchimento causando falhas de injeção em regiões funcionais do produto.

Com a correlação dos problemas identificados na fase virtual após a construção foi necessário um novo trabalho de correção realizado agora com foco no conceito do produto já que todas as melhorias virtuais em ferramental já haviam sido implementadas, testadas e melhoradas no processo.

Foram realizados 5 diferentes “loopings” de propostas técnicas e respectiva avaliação virtual para escolha do melhor cenário na resolução do problema de aparência para posterior revisão do projeto da modificação e melhoria da ferramenta.

Abaixo demonstramos com algumas imagens nas figuras 44 a 50 o planejamento das correções técnicas propostas finais, validadas pelo time e pelo estudo virtual para correção dos problemas de aparência.

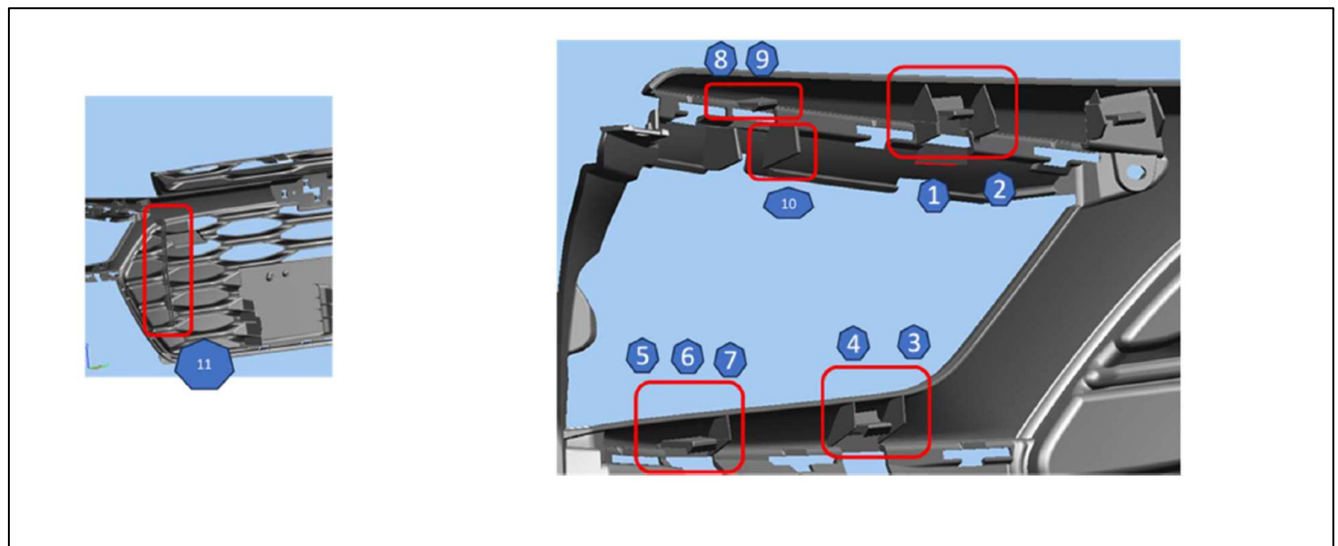


Figura 44. Condição de conceito de produto previo, motivo de correção do conceito do produto

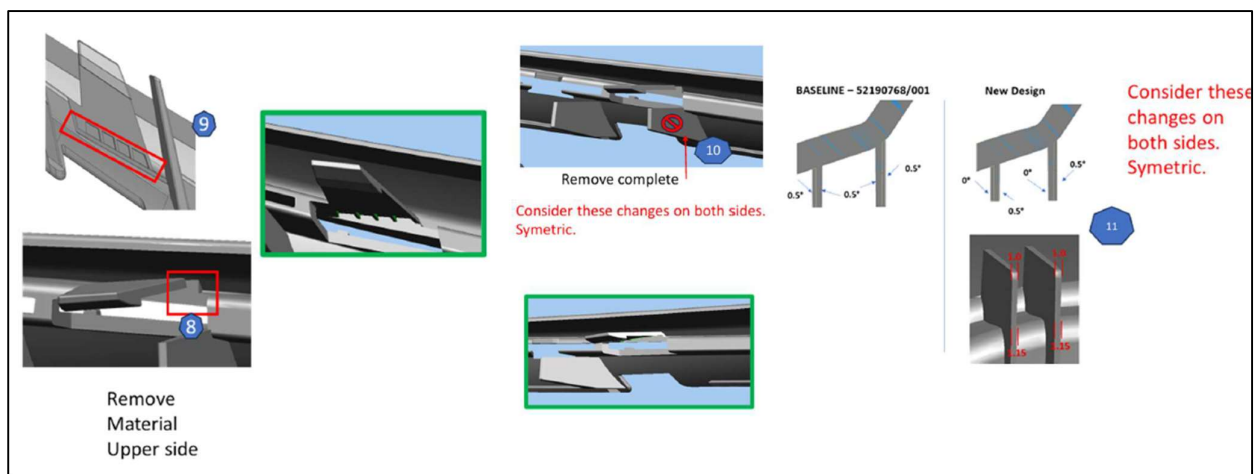


Figura 45. Mapeamento das propostas para solução definitiva do problema no conceito do produto

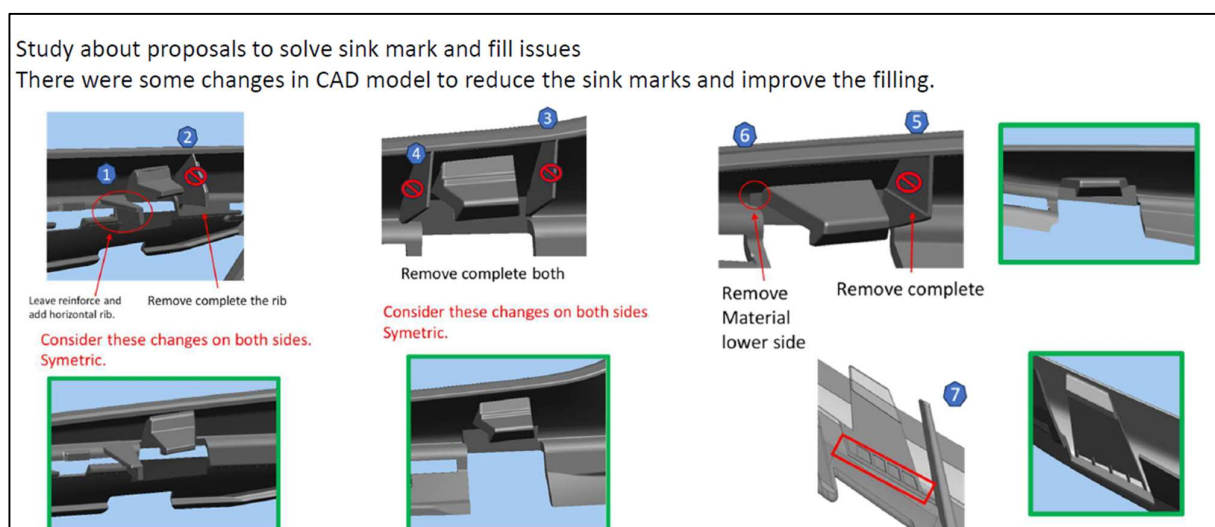


Figura 46. Mapeamento das propostas para solução definitiva do problema no conceito do produto

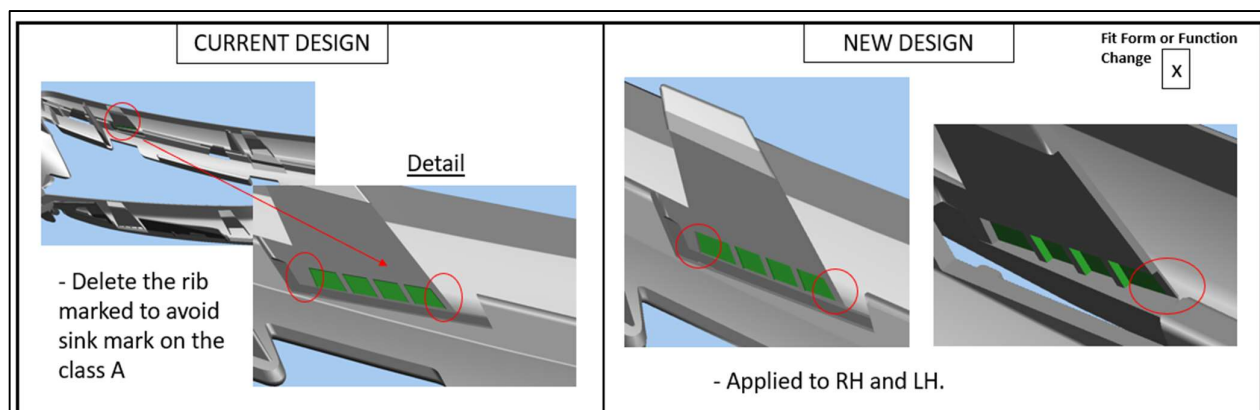


Figura 47. Mapeamento das propostas para solução definitiva do problema no conceito do produto

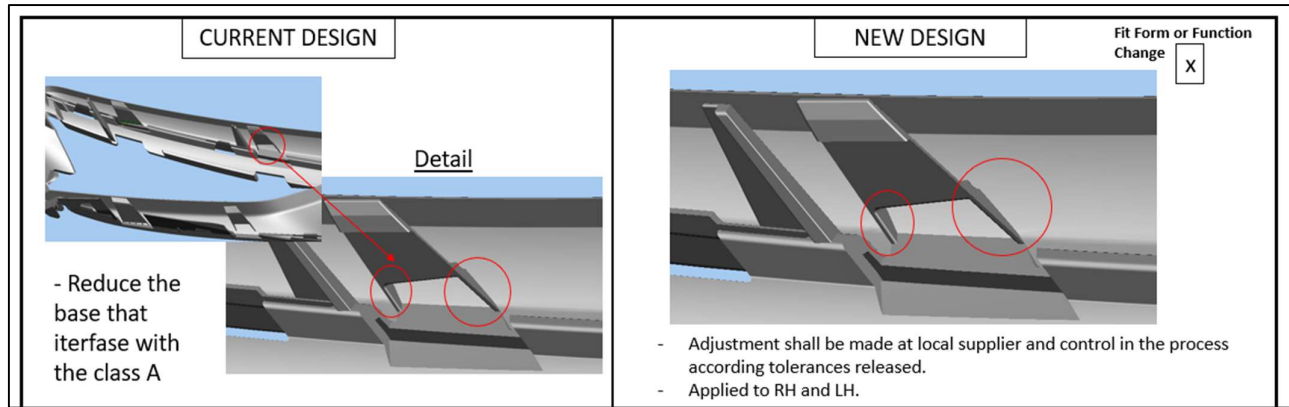


Figura 48. Mapeamento das propostas para solução definitiva do problema no conceito do produto

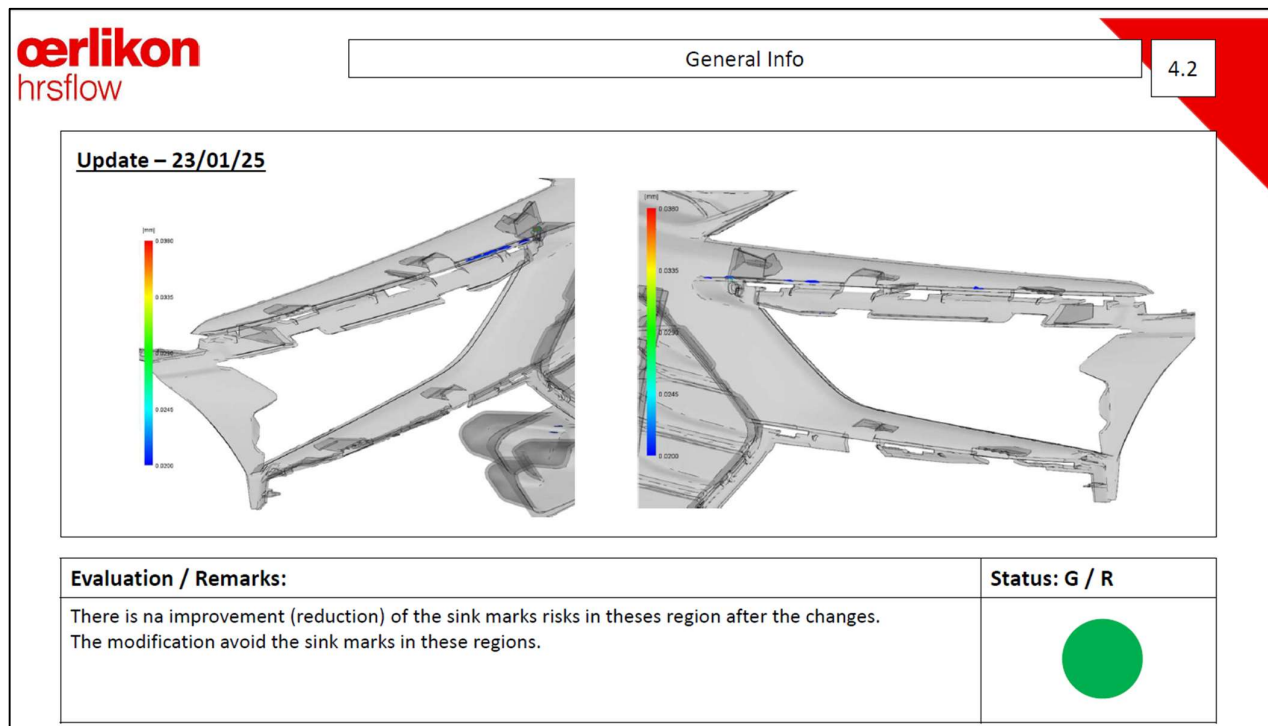
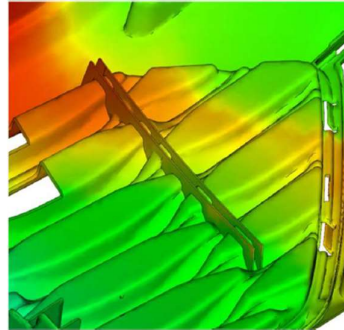


Figura 49. Validação virtual final aprovada após todas as melhorias implementadas



Status: G / R

With changes, in these regions (ribs) there is not a risk to occur short shot during filling. The temperature at flow front is within the recommended by material supplier.



32

CONCLUSÃO:

A finalização das modificações último nível da ferramenta foram implementadas na ferramenta de injeção da Grade após as confirmações das simulações virtuais e os resultados obtidos garantiram a aprovação dos critérios de aparência, sem comprometer os resultados dimensionais.

Não é possível deixar de mencionar que os resultados provenientes da padronização e disciplina da ferramenta virtual nesse processo garantiu proteger o cliente interno e final desde antes do lançamento.

O grande aprendizado nesse case podemos destacar a importância da transformação digital e seu desdobramento cultural e sistêmico entre os profissionais dentro das organizações.

As novas tecnologias e inovações têm surgido todos os dias com grande velocidade, no ramo automobilístico e em todos os mercados e ramos de atuação suportam as atividades dos processos técnicos para a transformação digital que vem trazer eficiência e assertividade na tomada das decisões e impactando os resultados do negócio como um todo.

A combinação do conhecimento dos especialistas alinhados a utilização das ferramentas de simulação virtual associadas são fundamentais. Um pilar não é sustentável sem o outro, caminham juntos na preparação das informações, dados de entrada, bem como, robustez nas análises e tomada de ações com base em causa raiz e no tempo apropriado, sempre focando o “move left” das ações, correções e melhorias nas fases preliminares do projeto com o objetivo de reduzir os impactos envolvidos nas mudanças, principalmente em otimização de custo e não comprometimento dos cronogramas do projeto.

O estudo virtual suporta e assegura abordagens preventivas durante todo o processo de desenvolvimento de veículos, bem como no processo de desenvolvimento de produto e processo,

abordagem inevitável e decisiva para sobrevivência no mercado atual e futuro.

REFERÊNCIAS:

- [1] APQP – Manual APQP AIAG. 3a Edição 1/3/2004
- [2] PMI – Chart Adaptado- The Standard for Program Management – Fifth Edition | PMI
- [3] IATF 16949 Manual. 1a edição. 1/10/16
- [4] GMW 16355 – General Motors do Brasil
- [5] Site:
<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/artigos/software-de-simulacao-na-industria-de-plasticos-usos-e-beneficios/>
- [6] Software Autodesk Moldflow, site:
https://www.autodesk.com/br/products?cjdta=MXxOfDB8WXww&mktvar002=afc_br_nmipi_ppc&AID=12904993&PID=8299320&SID=jkp_EAIaIQobChMI9OyX37XsjAMV-0FIAB05myEgEAAAYASAAEgJOP_D_BwE&cjev ent=adc031041fb311f08307017f0a82b820&affname=8299320_129049993
- [7] GMW 16355 – “Thermoplastic Injection Molding Analysis” – General Motors do Brasil.
- [8], GMW15850 - “Injection Mold Tool Standard” – General Motors do Brasil.

CONTATOS

Adriana Cerri	adriana.cerri@gm.com
Luiz Sá	luizcarlos.sa@gm.com
Fabio Monegatto	fabio.monegatto@gm.com
Mário Zigon	mario.zigon@gm.com
Vitor Eleutério	vitor.eleuterio1_ext@opmobility.com
Giovanna Ramos	giovanna.ramos@opmobility.com
Fausto Martins	fausto.martins@opmobility.com
Erick Damião	Erick.Damiao@oerlikon.com