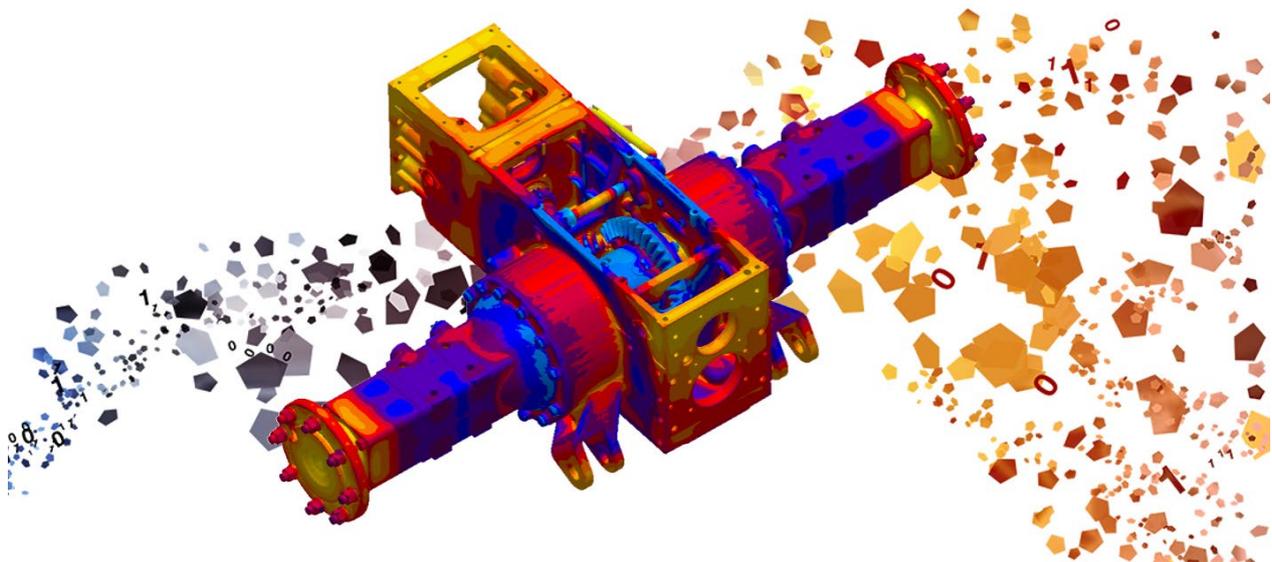


OTIMIZE SUAS PEÇAS AGRÍCOLAS FUNDIDAS

RESUMO

Devido à crescente demanda por redução de custos no segmento agroindustrial, fornecedores de componentes fundidos buscam cada vez mais soluções e parcerias para garantir competitividade no mercado e alcançar seus objetivos, beneficiando a indústria de fundição dentro desse seguimento sólido e em constante expansão. A redução de custos internos nas fundições, como ferramenta de competitividade, passa por uma série de etapas não consideradas anteriormente no desenvolvimento até a fabricação de peças fundidas. Este estudo propõe uma análise sobre a cadeia de fornecimento de componentes fundidos para o segmento agroindustrial e explora como o processo de simulação de fundição pode alavancar resultados para fornecedores e consumidores de fundidos. Para a análise foi utilizada uma “carcaça de semi-eixo” do diferencial traseiro de tratores, com objetivo de exemplificar as etapas envolvidas no processo de desenvolvimento e fabricação que podem ser otimizadas. O resultado obtido foi uma redução de 35% no custo de fabricação da peça fundida e um aumento de produtividade de 25%.



Palavras-chave: Agroindústria, simulação, otimização, fundição, redução de custos, competitividade.

1 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é mostrar como o processo de simulação de fundição pode ser aplicado nas etapas de desenvolvimento e fabricação de um componente fundido para o segmento agroindustrial, garantindo melhor aproveitamento da ferramenta e conseqüentemente, melhores resultados na redução de custos e aumento de produtividade.

2 INTRODUÇÃO AO MERCADO

O agronegócio se mantém em expansão nos últimos 25 anos (IBGE/2020) e mesmo com a crise do coronavírus, apresentou crescimento acima do esperado em 2020, com projeções para 2021 de crescimento de 3,2% (Ipea/2020), sendo atualmente responsável por 21,4% do PIB brasileiro (cnabrazil/2020).

O Brasil é uma potência mundial da agricultura, com projeções da USDA (departamento de agricultura dos Estados Unidos) que a grande contribuição para o atendimento da crescente demanda global por alimentos venha do Brasil. Mesmo com tamanho potencial o Brasil não é um dos países que detém maior frota de tratores, ficando atrás dos Estados Unidos por exemplo, a distribuição mundial é demonstrada na Figura 1.

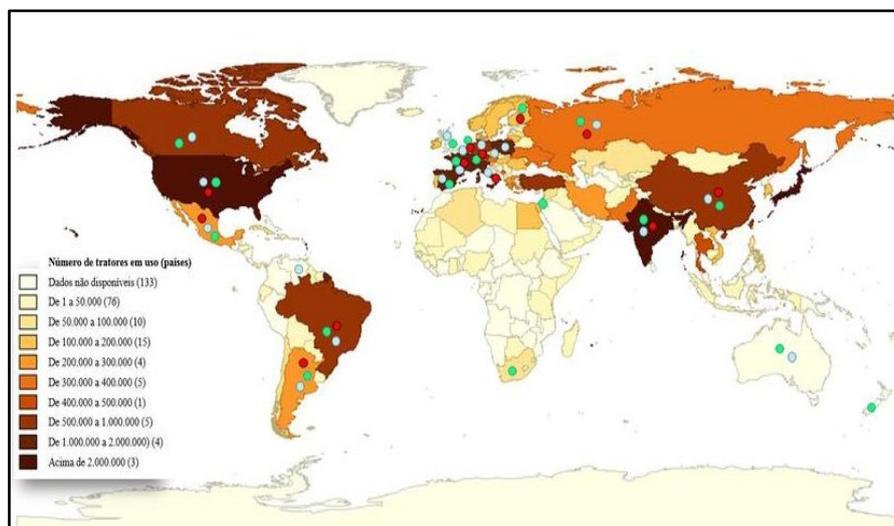


Figura 1 – Presença global das EMNs e distribuição dos tratores agrícolas em uso [1]

Em média 70% do peso de um trator é de peças fundidas. A agroindústria vem atraindo cada vez mais investimentos, a mecanização e automação dos processos necessita de componentes de alta tecnologia e confiabilidade aliados a um excelente custo-benefício. A estratégia no desenvolvimento e fabricação de componentes fundidos na agroindústria está em constante desenvolvimento, sendo o custo produtivo um fator chave para atender esse mercado de alta escala.

3 INTRODUÇÃO AO PROJETO

Carcaças de semi-eixo (Figura 2a), também conhecidas como “mangas” são componentes estruturais do diferencial traseiro (Figura 2b) de diferentes tratores. Estes componentes são fabricados em diversos tamanhos, formatos e processos de fabricação, sendo atualmente a fundição o principal deles.

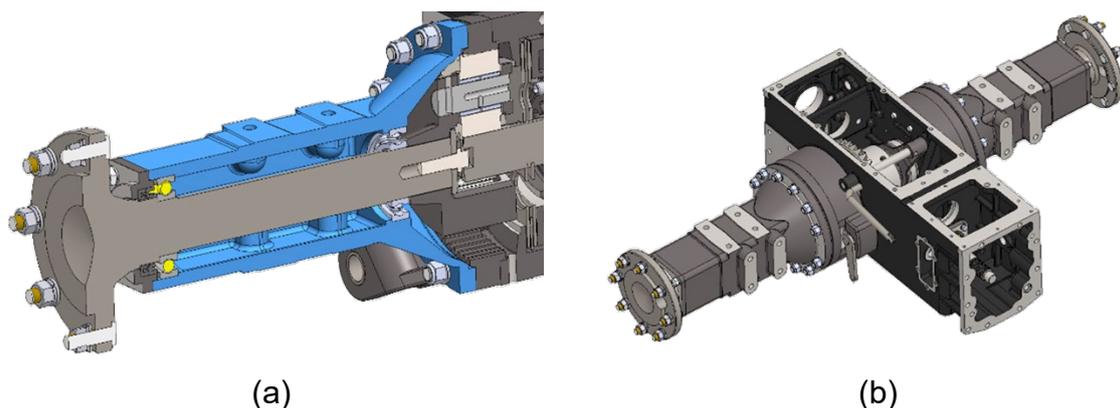


Figura 2 – Sub-conjunto do trator (a) detalhe do componente carcaça do semi-eixo e (b) diferencial traseiro

Em campo os tratores são submetidos a diversas condições de trabalho e esforços. O conjunto do diferencial traseiro é responsável por suportar maior parte das cargas (Figura 3a), que são transferidas para os componentes deste conjunto, os quais sofrem esforços em diferentes sentidos. A Figura 3b mostra a análise estática do componente estudado em um determinado momento.

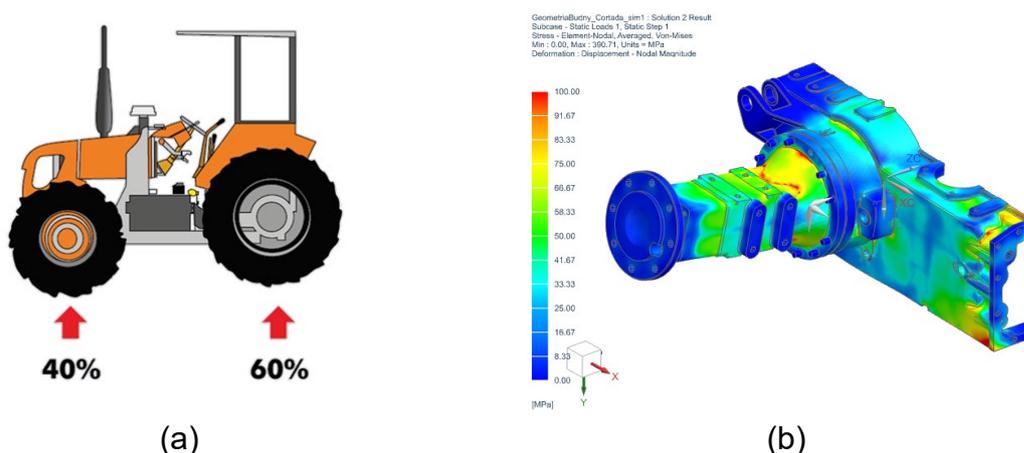


Figura 3 – Análise de esforços (a) distribuição de carga no trator [2] e (b) análise de carga no componente

O conhecimento sobre a aplicação e o processo de uso é fundamental para o desenvolvimento de um componente estrutural otimizado e que atenda às necessidades do projeto, proporcionando o resultado esperado em redução de custos e produtividade.

4 DEFINIÇÃO DO PROCESSO

Com os dados levantados, é possível definir o processo de fabricação para um determinado componente do conjunto, levando em consideração que o projeto deve atender as necessidades de aplicação e fabricação com o menor custo possível. Na Figura 4 podem ser observados componentes produzidos por meio de dois processos distintos.



Figura 4 – Diferentes processos de fabricação predominantes (a) caldeiraria e (b) fundição [2]

A fundição (por meio do processo de simulação) é o processo que proporciona melhores resultados considerando toda a vida útil da peça, com menores custos e maior produtividade.

5 SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Segundo Menne, Weiss, Brohme e Engner-Walter [3], a simulação é a base dos desenvolvimentos e a única maneira de atingir o nível de qualidade exigido, reduzindo tempo e custo. A Figura 5 mostra o processo de desenvolvimento de produtos no passar dos anos com o uso da tecnologia.

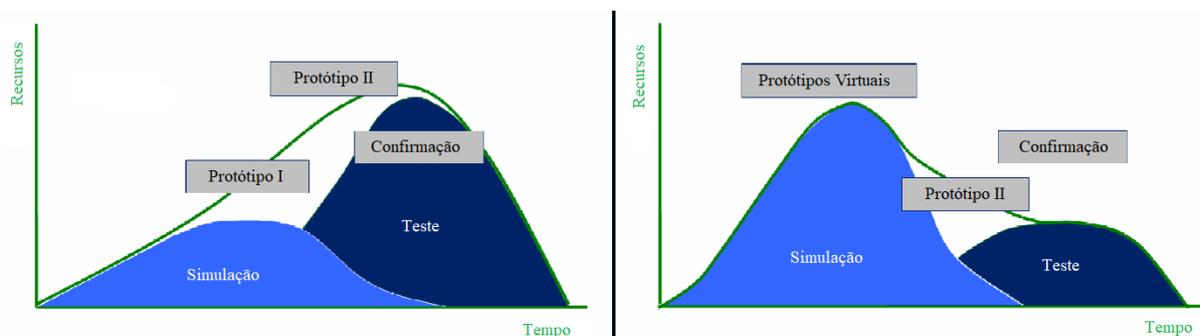


Figura 5 – Mudança de recursos após o processo integrado de desenvolvimento CAE [3]

Segundo Schmidt e Sturn [4], produzir peças de forma assertiva é essencial no segmento de fundição para evitar desperdícios de tempo e dinheiro que são fundamentais em um cenário cada vez mais competitivo.

Para confirmar conjuntos de parâmetros de projeto e processo e avaliar um determinado *layout* de fundição, os engenheiros utilizam ferramentas de simulação que possibilitam praticar e avaliar alterações, a fim de aproximar-se ao máximo dos objetivos pré-estabelecidos. Essa abordagem é descrita na Figura 6 [5].

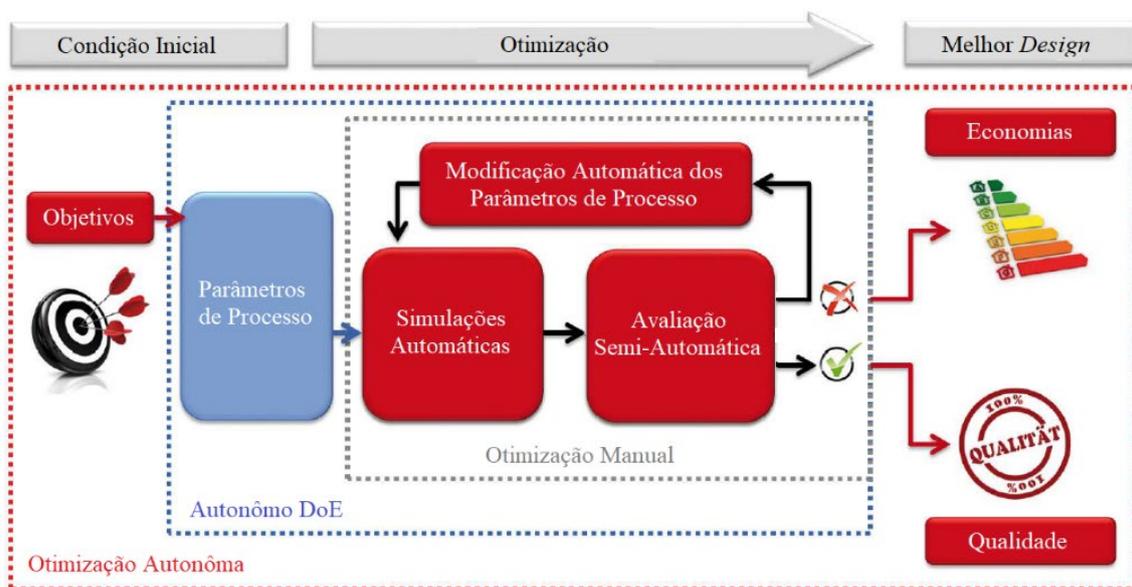


Figura 6 – Metodologia de otimização para definição de projetos por simulação numérica [5]

Projetistas utilizam *softwares* de simulação do processo de fundição para analisar e otimizar o *design* de peças fundidas, garantindo a integração dos objetivos e o máximo de desempenho do processo. A demanda por componentes de alta qualidade e baixo custo incentivou o desenvolvimento tecnológico na produção de peças fundidas em diversos setores da indústria [6].

6 ANÁLISES INICIAIS

6.1 ANÁLISE GEOMÉTRICA

No processo de fabricação de componentes fundidos a geometria do produto (topologia), a liga, a microestrutura, as propriedades mecânicas, as tensões residuais e o conhecimento sobre os resultados destes fatores combinados, são a chave para atender a necessidade do projeto de forma eficiente e com melhores resultados.

A peça utilizada neste estudo pode ser visualizada na Figura 7a, e com seu sobremetal para posterior processo de usinagem na Figura 7b. Na análise geométrica do processo de

fundição é importante considerar a geometria a ser fundida, que contempla além do sobremetal, a contração da liga utilizada.

Diversos tipos de materiais são utilizados no segmento agroindustrial e o mais comum é o ferro fundido, cinzento ou nodular. Dentro desse material, variações de composição química, tratamentos térmicos e microestruturas resultantes, podem ser estudadas dependendo da necessidade. O material definido para este estudo foi o Ferro Fundido Nodular GJS-500.

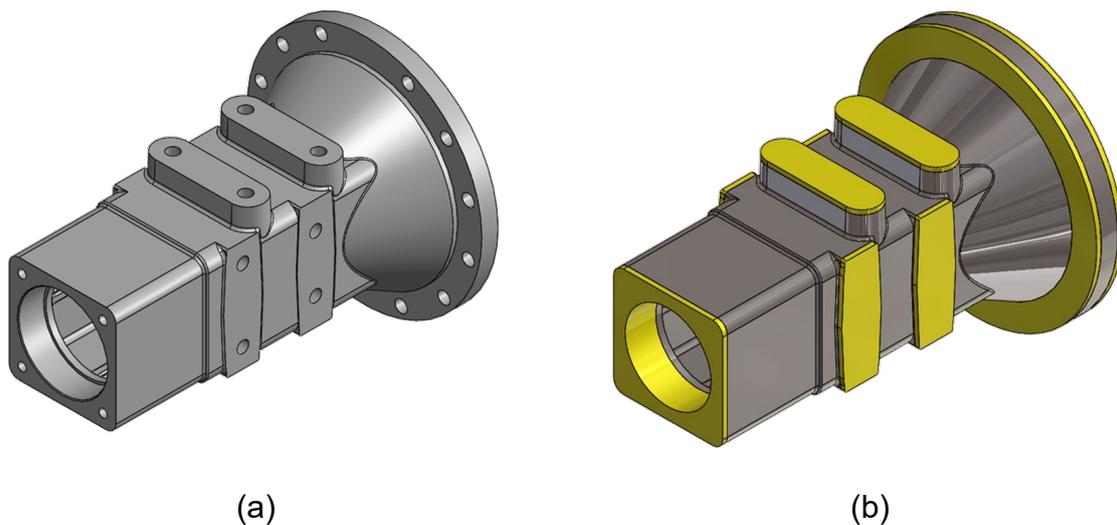


Figura 7 – Componente do estudo (a) peça final (b) peça com sobremetal

Todo estudo de desenvolvimento de um componente, alteração de processo produtivo ou redução de custos, deve levar em consideração objetivos pré-estabelecidos. Para este caso, por se tratar de um componente estrutural, o principal requisito é resistir aos esforços mecânicos em campo.

A vista em corte do componente estudado é mostrada na Figura 8, com destaque para as regiões críticas, que são aquelas que possuem massa excessiva concentrada em determinada região, ou regiões que isolem massa.

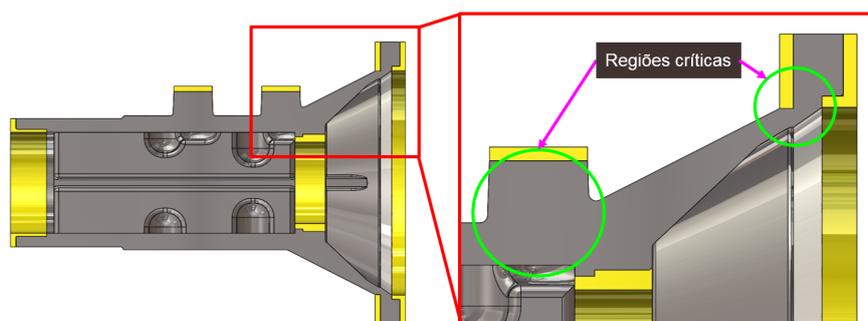


Figura 8 – Geometria inicial em corte e detalhe de regiões críticas para o processo de fundição

As simulações são realizadas por técnicos experientes e os resultados refletem o alto *know-how* desses profissionais. Os requisitos atuais para o desenvolvimento de um produto fundido exigem metodologias e ferramentas que maximizam a robustez e a lucratividade do processo [5].

6.2 SOLIDIFICAÇÃO NATURAL

Para a análise geométrica utiliza-se a “solidificação natural”, que é a análise térmica da geometria do componente (Figura 9). O resultado de “Hot Spot [s]” é analisado nessa etapa do processo e mostra regiões de ponto quente na peça, que possivelmente necessitem de alimentação para compensar defeitos posteriores.

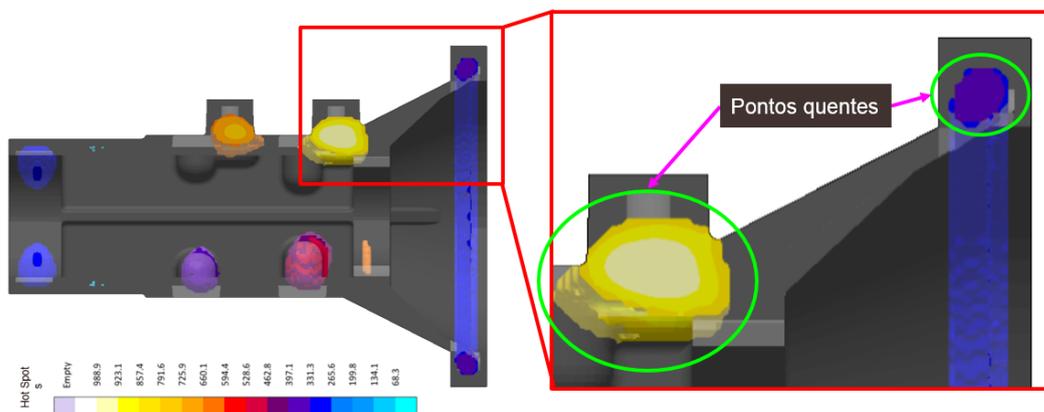


Figura 9 – Análise Hot Spot [s], Regiões críticas dependentes da geometria do componente

Segundo Hardin e Beckermann [7] as peças fundidas são subutilizadas devido as incertezas no desempenho e falta de conhecimento em projetos de fundição, por isso, engenheiros utilizam altos fatores de segurança no desenvolvimento de produtos fundidos para garantir confiabilidade dos mesmos.

Projetistas de fundição compensam regiões que possuem tendência a gerar defeitos (Figura 10), com projeto de alimentação, mas nem sempre essas tendências são eliminadas por completo, devido à geometria do componente, ou à inviabilização do processo pelo aumento de custo envolvido.

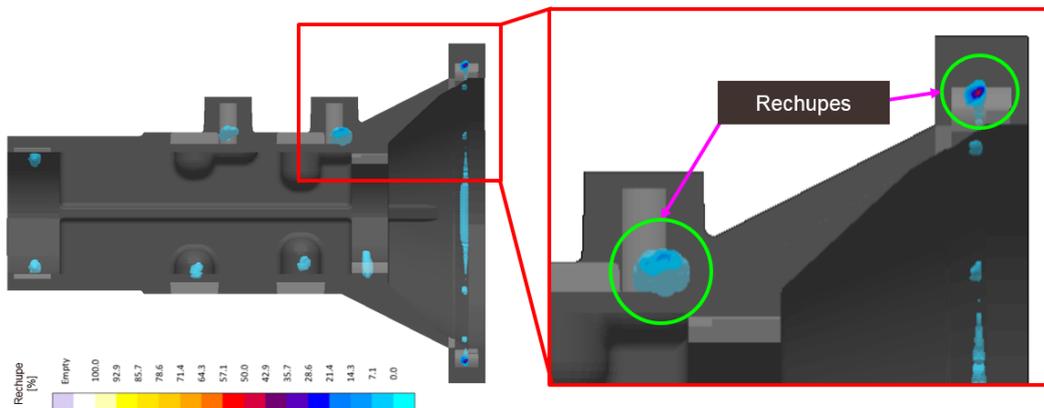


Figura 10 – Rechupe [%], regiões com tendência a defeitos de rechupes

Todo componente fundido está sujeito a defeitos intrínsecos do processo de fabricação. Componentes que possuem homogeneização estrutural para não concentrar pontos quentes, em regiões de difícil acesso ou formato que facilite o posicionamento e redução da quantidade de alimentadores posteriores, facilitam o processo de fundição e reduzem custos, devido a menor quantidade de metal necessário para a produção.

A otimização geométrica deve considerar a necessidade mecânica da aplicação e prever as necessidades do processo. Na agroindústria a redução de peso dos componentes pode não ser tão impactante no custo final quanto a redução do peso da árvore de fundição (sistemas de canais e alimentadores), devido a necessidade de um peso mínimo para os tratores, por exemplo. Desta forma, a redução da quantidade de metal necessária na produção reduz o custo de forma mais acentuada.

Casos de clientes MAGMA e estudos publicados, mostraram as possibilidades de aplicação e dos ganhos reais envolvidos com a utilização da tecnologia de simulação. A Figura 11 ilustra como a geometria de um componente fundido pode influenciar nas tensões residuais do processo de fundição e posterior aplicação em campo.

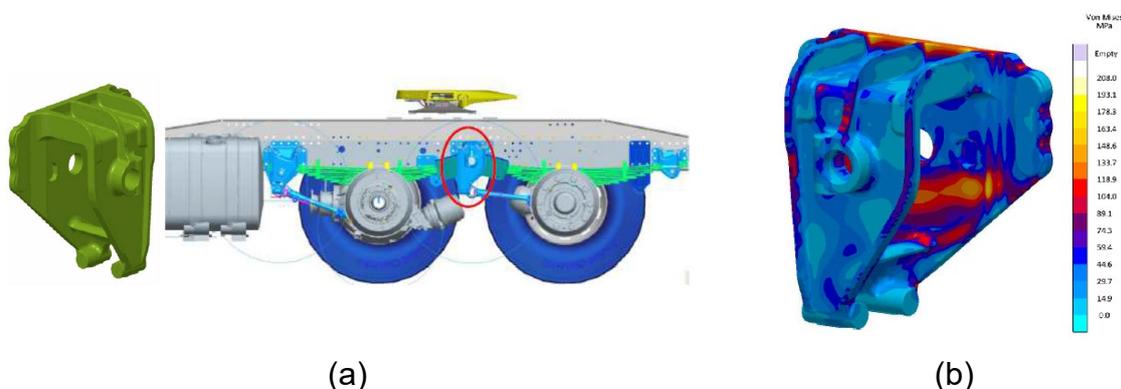


Figura 11 – Análise geométrica (a) análise da aplicação e (b) análise de tensões residuais após o processo de fundição [6].

O trabalho avaliou a relevância das tensões residuais, geradas no processo de manufatura durante o desenvolvimento de componentes fundidos que podem influenciar o comportamento mecânico local. Com essas informações, engenheiros podem avaliar regiões que necessitem de reforços ou que podem ser aliviadas de forma mais assertiva [6].

Devido à necessidade de componentes com melhor desempenho, a complexibilidade geométrica dos mesmos é crescente e componentes fundidos são submetidos a esforços mecânicos cada vez maiores. Componentes de geometria complexa apresentam estrutura heterogênea de propriedades mecânicas e tensões residuais, oriundas do processo de fundição, as quais possuem alta influência na aplicação dos mesmos [6].

6.3 ANÁLISE DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Após análise da geometria do componente, o sistema de alimentação utilizado na fabricação de peças em ferro é estudado para avaliar possíveis melhorias, visando a redução de custo.

A Figura 12 mostra a configuração inicial do projeto, denominado “Projeto original”, composto por funil de vazamento, canal de descida, distribuição, massalote, macho e indicações das regiões com sobremetal.

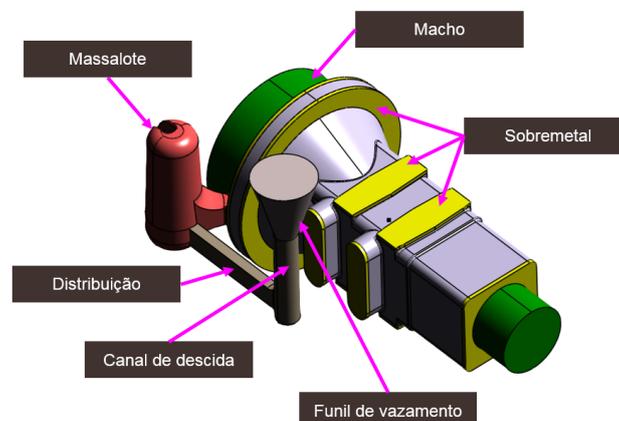


Figura 12 - Projeto de alimentação original

Na perspectiva de avaliação de resultados do MAGMASOFT® é possível fazer análise do processo de enchimento e solidificação. A Figura 13 mostra o resultado de temperatura [°C] em 50% (Figura 13a) e em 100% do enchimento (Figura 13b).

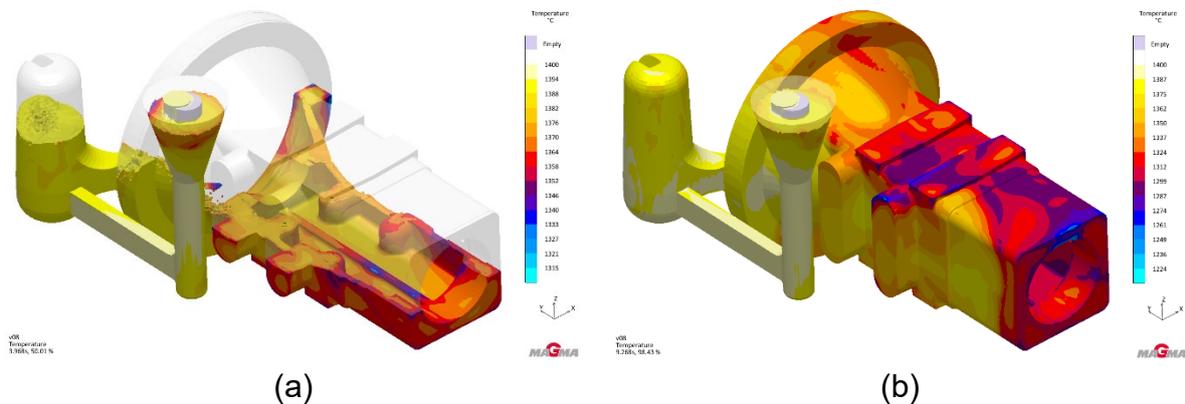


Figura 13 – Resultados de enchimento (a) Temperature [°C] em 50% do enchimento e (b) Temperature °C ao final do processo de enchimento

Resultados como o de temperatura auxiliam a identificar regiões críticas, as quais sofram maior perda de temperatura no decorrer do enchimento, causando defeitos como “juntas frias” ou até mesmo não preenchendo determinada região da cavidade do molde. Os resultados referentes ao processo de solidificação são demonstrados na Figura 14a, pelo resultado de fração líquida [%] e na Figura 14b pelo resultado de rechupe [%].

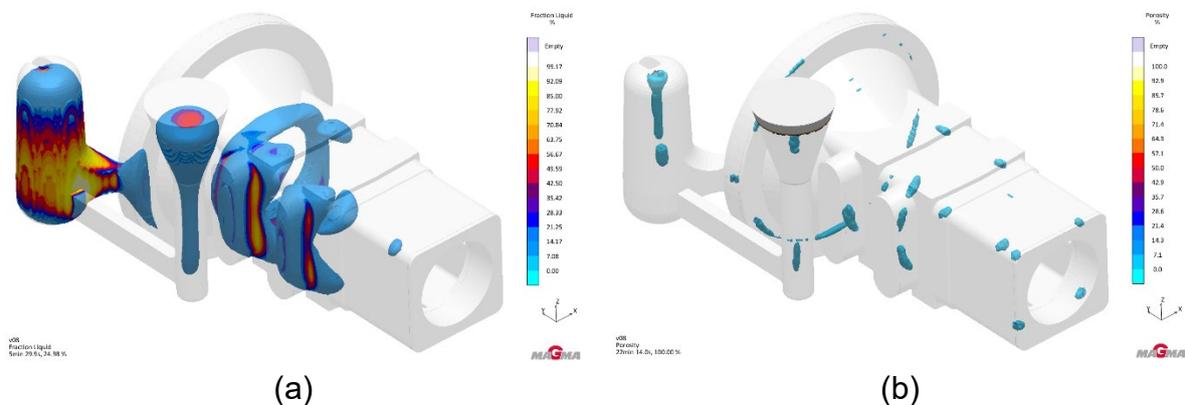


Figura 14 – Resultados de solidificação (a) Fração líquida [%] e (b) Rechupe [%]

Os resultados de fração líquida [%] e rechupe [%] são avaliados em conjunto para identificar a tendência de defeitos. A compreensão dos mecanismos de formação desses defeitos nos permite testar alternativas para minimizar a sua incidência com maior assertividade. A Fundição Batatais (Brasil) disponibilizou um trabalho, demonstrado na Figura 15, no qual fez a correlação entre simulação e prática de fundição, por meio do resultado de rechupe [%] são evidenciadas regiões com tendência ao mesmo.

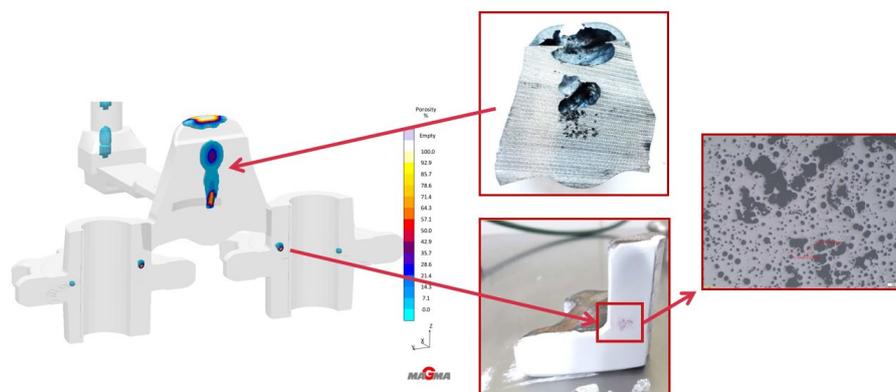


Figura 15 – Cubo de Engrenagem, correlação entre simulação e prática de fundição

Indicações como estas na peça final, requerem maior volume do sistema de alimentação e dificultam o processo de moldagem e, se não solucionadas durante a etapa de fabricação, resultam na fragilização do componente devido a concentração de tensões em uma estrutura heterogênea. Essa fragilização normalmente não é considerada na etapa de desenvolvimento de um produto e pode comprometer a aplicação final.

Como muitos isolamentos de massa foram observados, e são decorrentes da geometria da peça estudada (Figura 14), optou-se pela otimização da composição química, para prover uma melhor expansão gráfitica, já que “alimentar” todas essas regiões por meio de massalotes não seria viável financeiramente para o fornecimento do componente.

7 OTIMIZAÇÃO

7.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA (DOE)

Dentro da plataforma de simulação é possível estudar uma série de possibilidades para alcançar determinado resultado. A otimização da composição pode ser realizada de forma bastante simples e direta. A Figura 16a mostra a seleção de variáveis (*Design Variables*), e os *designs* possíveis com a alteração são visualizados em *Start Sequence*. A Figura 16b mostra a janela de avaliação de resultados, pelo gráfico de coordenadas paralelas.

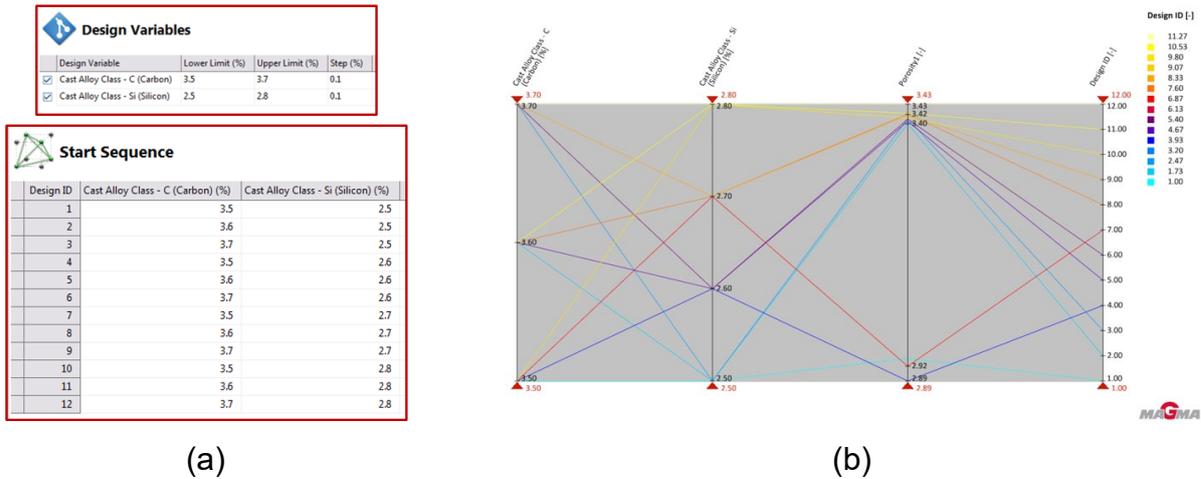


Figura 16 – Otimização do processo de simulação de fundição, perspectiva de (a) *Optimization* e (b) *Assessment*

Os elementos definidos para otimização da composição química foram o Carbono (C) e Silício (Si) e a faixa da composição química estudada foi de 3.5 a 3.7 para o carbono e 2.5 a 2.8 para o silício, ambos em passos de 0.1. A avaliação de resultados é realizada de forma simples (Figura 17), neste caso o objetivo foi reduzir o volume total de rechupes (terceira linha vertical).

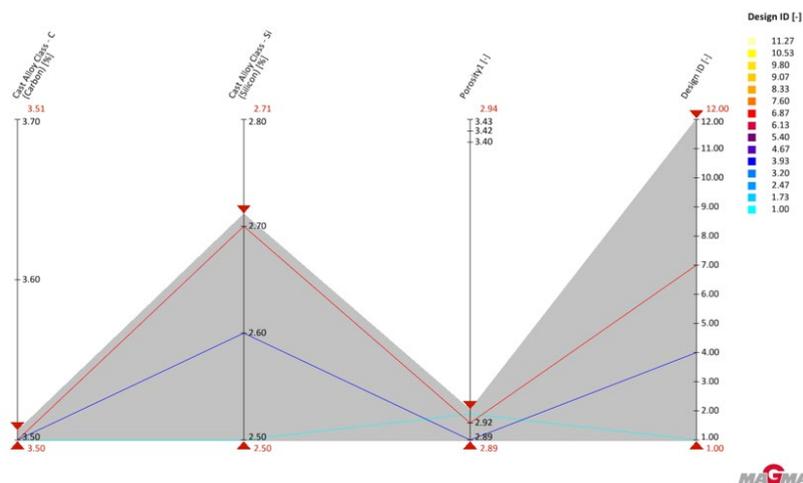


Figura 17 – Análise de resultados na perspectiva de *Assessment*

Com os resultados obtidos observou-se que para este componente em questão, o teor de carbono na faixa mínima estipulada e silício abaixo da máxima, favorecem a redução dos volumes de rechupe, em cerca de 15%.

7.2 OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Após os resultados obtidos com a otimização de processo, alterações no sistema de alimentação foram realizadas para melhorar o rendimento metalúrgico. Essas alterações não deveriam “piorar” o resultado de rechupe. As alterações realizadas são mostradas na Figura 18.

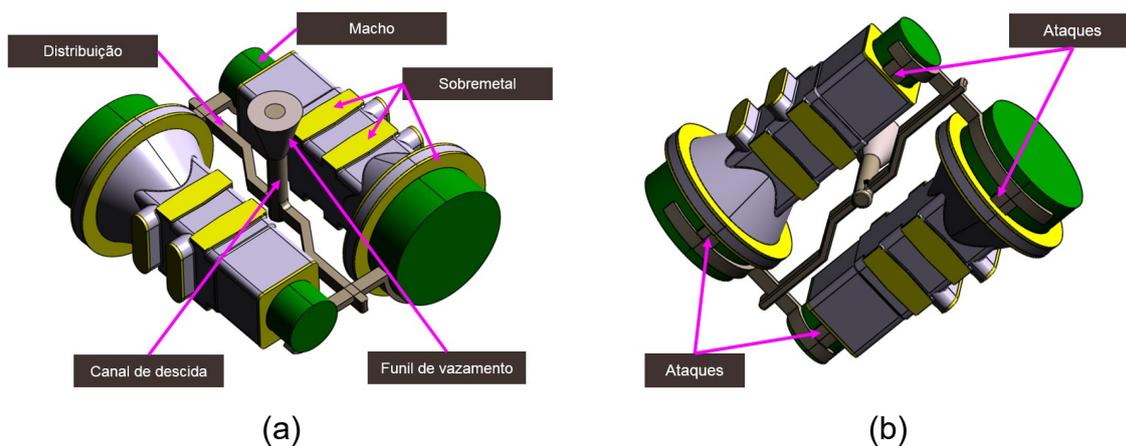


Figura 18 - Projeto de alimentação otimizado

A Figura 18a demonstrou o novo projeto com funil de vazamento, canal de descida, distribuição, macho e apontou a regiões com sobremetal, na Figura 18b foi possível observar os ataques, posicionados contornando o macho em ambos os lados, a fim de reduzir o tempo de enchimento e não proporcionar turbulência excessiva na entrada no metal líquido na cavidade do molde.

Outro ganho envolvido na alteração do projeto foi a redução da quantidade de areia utilizada. Considerando o mesmo tamanho de placa do projeto original (700 x 580 mm) foi possível alocar 02 modelos pela alteração do projeto, conforme visualizado na Figura 19.

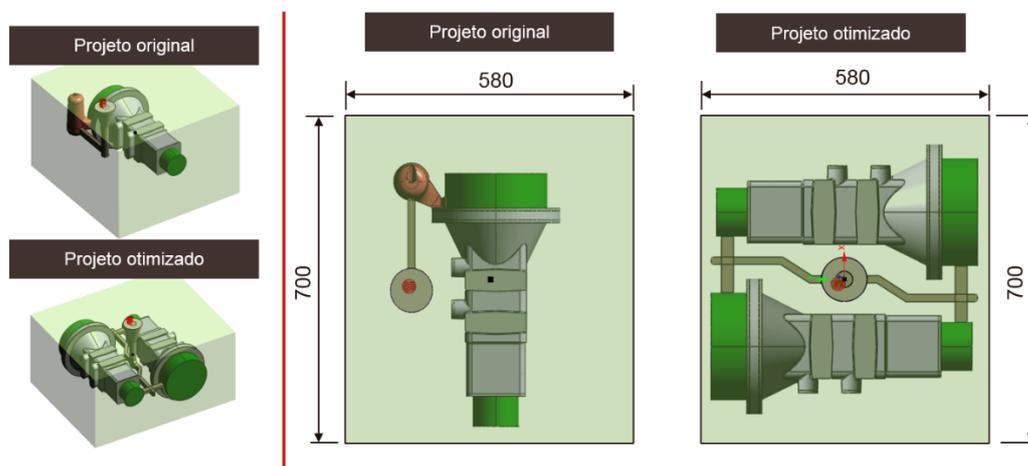


Figura 19 – Disposição do ferramental de fundição na placa de moldagem

No processo de simulação via MAGMASOFT® também é possível avaliar a queima de resina do molde e macho durante a solidificação e resfriamento. Em sistemas de moldagem cura a frio, é fundamental otimizar o consumo de areia, minimizando a relação areia/metal. Para atingir maior eficiência, deve-se maximizar o percentual de queima de resina no molde, sem promover o colapso prematuro do molde, que pode comprometer o processo de solidificação do produto. A Figura 20 ilustra essa análise no presente estudo de caso.

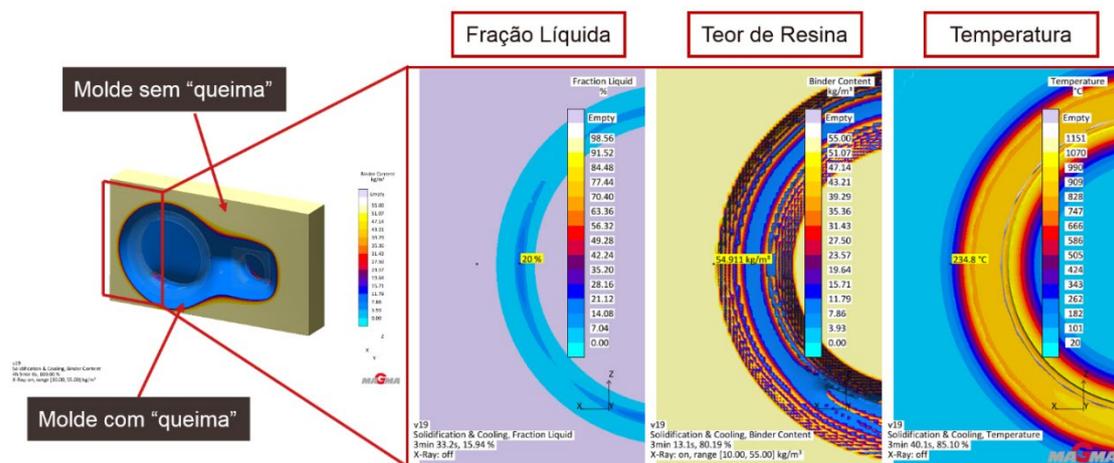


Figura 20 – Análise dos resultados do rendimento areia/metal

Para garantir a precisão dimensional dos componentes fundidos, é fundamental que o molde possua resistência estrutural até o final da solidificação, que pode ser atingido preservando a resina em determinadas regiões. No caso dos ferros fundidos, esse mesmo fator deve ser observado para viabilizar o aproveitamento da expansão gráfitica. Podemos então avaliar de forma conjunta os resultados de fração líquida [%] do componente, resina [kg/m³] do molde e macho e temperaturas [°C] na interface areia/metal.

Foi possível observar que o aproveitamento da placa com a utilização de 02 figuras não teria impacto no resultado final do componente. O percentual de queima do molde foi de 68% para o projeto otimizado, enquanto que para o projeto original a queima foi de 20%, quanto maior este percentual maior será também a facilidade do processo de desmoldagem, destorroamento e recuperação da areia. A relação areia/metal resultante do projeto otimizado foi de 3,3/1 enquanto que para o projeto original era de 7,5/1.

Referente ao processo de enchimento, são mostrados resultados através da temperatura [°C], a Figura 21a em 50% do enchimento e a Figura 21b ao final do processo de enchimento (100%).

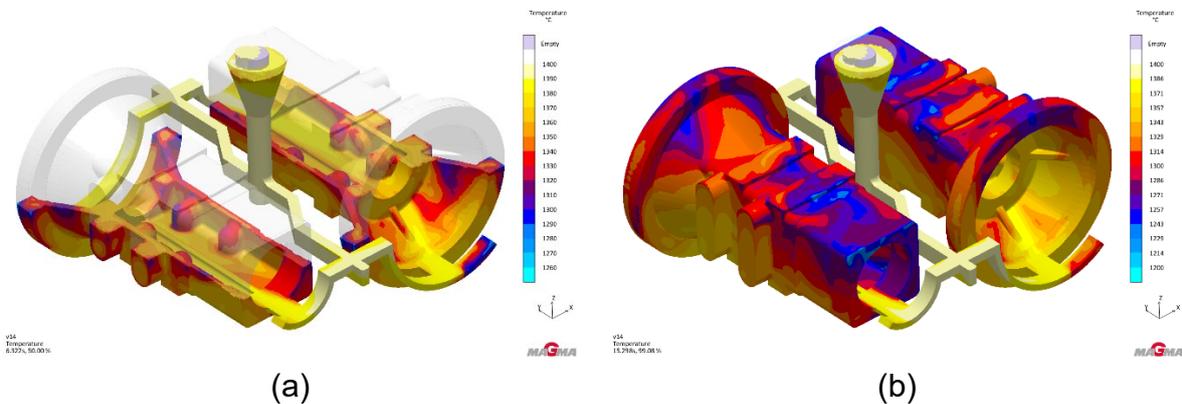


Figura 21 – Resultados de enchimento (a) Temperatura [°C] em 50% do enchimento e (b) Temperatura [°C] ao final do processo de enchimento

Foi observado que alterações realizadas referente ao ponto de ataque não proporcionaram tamanha turbulência se comparados ao projeto inicial, desta forma defeitos relacionados a turbulência não tendem a ser maximizados. Com o menor tempo de enchimento, considerando a mesma temperatura inicial de vazamento também não se espera problemas referentes ao preenchimento da cavidade do molde.

Os resultados referentes ao processo de solidificação são exibidos na Figura 22a pelo resultado de fração líquida [%] e Figura 22b pelo resultado de rechupe [%].

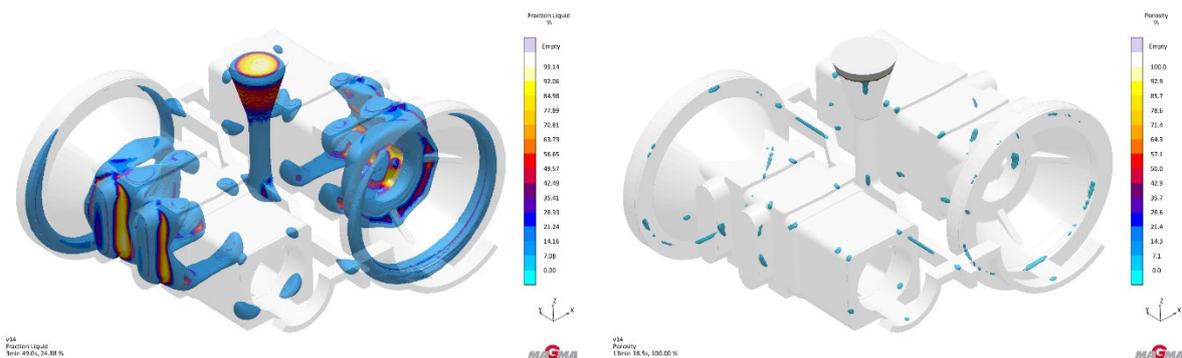


Figura 22 - Resultados de solidificação (a) Fração líquida [%] e (b) Rechupe [%]

Mesmo mantendo o isolamento de massa, por conta da geometria do componente, observou-se que os volumes dos rechupes foram menores, devido a otimização da composição química. A Figura 23 mostra o comparativo entre o volume de um dos rechupes resultantes de acordo com o projeto utilizado.

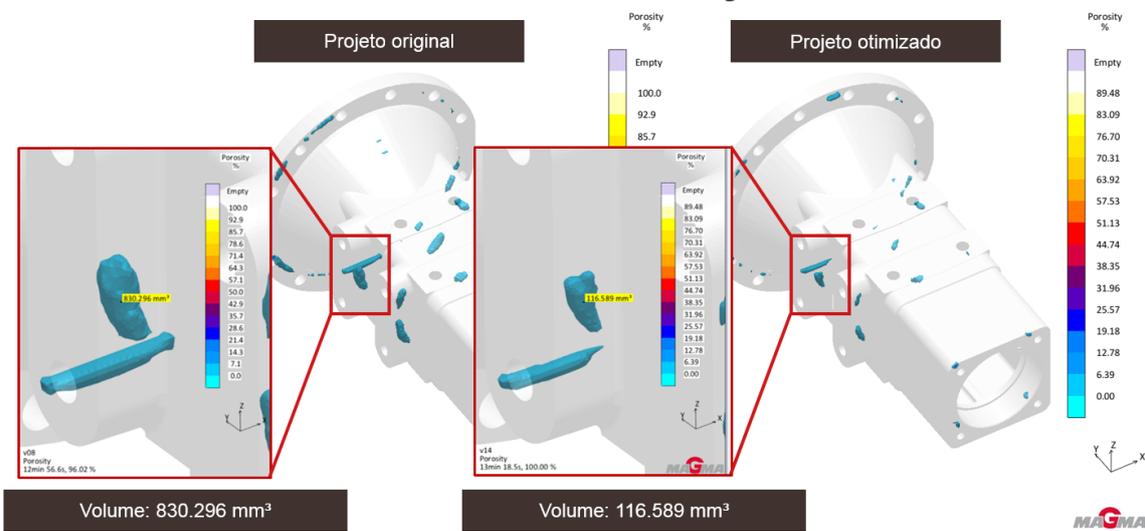


Figura 23 – Comparativo entre o volume de porosidade do projeto original e projeto otimizado

Para o projeto original o volume resultante do rechupe utilizado para comparativo foi de 830.296 mm³, já para o projeto otimizado o mesmo rechupe foi 116.589 mm³. Devido a geometria do componente, a região avaliada não sofre influência do sistema de alimentação utilizado no projeto original, e a otimização da composição química reduz a tendência de formação do defeito.

É importante avaliar a intensidade resultante dos rechupes e a Figura 25 mostra no detalhe em corte, de forma comparativa as intensidades observadas para a indicação avaliada.

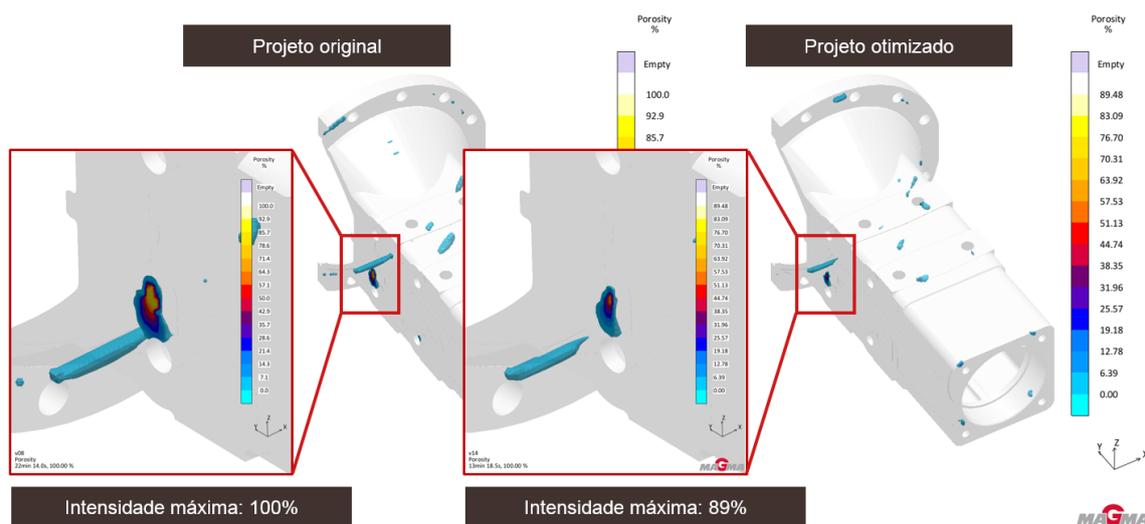


Figura 24 – Comparativo entre a intensidade de porosidade do projeto original e projeto otimizado

A maior intensidade do rechupe encontrado para o projeto original foi de 100%, enquanto para o projeto otimizado de 89%. No detalhe da Figura 25 foi possível observar que além

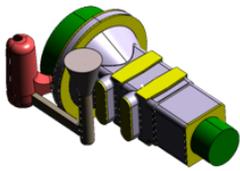
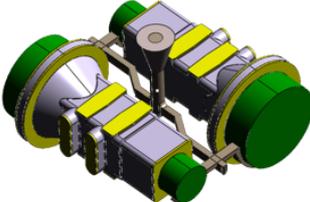
do maior volume, a intensidade próxima a 100% é substancialmente maior do que para o projeto otimizado.

Com os resultados até aqui obtidos é possível afirmar que as alterações realizadas melhoraram a condição inicial do projeto, não só em redução do custo de fabricação, mas também proporcionaram melhor qualidade ao fundido.

8 RESULTADOS

Os resultados obtidos para cada configuração são demonstrados na Tabela 1 de forma comparativa, sendo que os dados informados para o projeto otimizado se referem às 02 (duas) peças na árvore.

Tabela 1 – Comparativo entre projeto original e otimizado

Projeto original		Projeto otimizado	
			
Peso peça (líq.):	23,00 Kg	Peso peça (líq.):	46,00 Kg
Peso peça (bruto):	28,50 Kg	Peso peça (bruto):	57,00 Kg
Alimentação:	11,00 Kg	Alimentação:	7,60 Kg
Peso total:	39,50 Kg	Peso total:	64,60 Kg
Rend. Metalúrgico:	72,15%	Rend. Metalúrgico:	88,20%
** Redução de 14,4 Kg de metal para cada 02 peças vazadas (equivalente 18,2%)			
Peso molde:	297,00 Kg	Peso molde:	212,00
Relação molde/metal	7,5/1	Relação molde/metal	3,3/1
** Redução de 382,0 Kg de areia para cada 02 peças (equivalente 64,0%)			
Tempo vazamento:	7,50 seg.	Tempo vazamento:	12,00 seg.
** Redução do tempo de vazamento em 3,0 seg. por vazamento (equivalente 20%)			
Redução no número de aberturas de válvulas ou basculamento da panela (equivalente 50%)			

Houve redução na quantidade de metal líquido necessária para alimentar o sistema. O valor de 11,00 Kg por peça foi reduzido para 7,60 Kg para 02 (duas) peças. O rendimento metalúrgico aumentou em 18,2%, com resultado final para o projeto otimizado de 88,2%. A redução de 330,00 Kg de areia por molde proporcionou economia de areia de 64,0%, além de liberar espaço na linha de moldagem, melhorando o seu aproveitamento. Para um mesmo número de peças produzidas, o número de vazamentos foi reduzido em 50% com a disponibilização de duas peças na árvore.

As alterações realizadas promoveram redução no custo final de fabricação da peça em 35%, além de uma redução no tempo de produção em 25%.

A John Deere, Moline/IL, EUA conseguiu reduzir a taxa de refugo de uma peça produzida em ferro fundido cinzento de 10,3% para 1,4%, modificando seu sistema de canais e alimentação (Figura 25a para Figura 25b), com retorno financeiro de \$66.936,00. Neste

mesmo projeto o rendimento metalúrgico aumentou de 58% para 64%, uma economia adicional de \$66.600,00 ao ano [8].

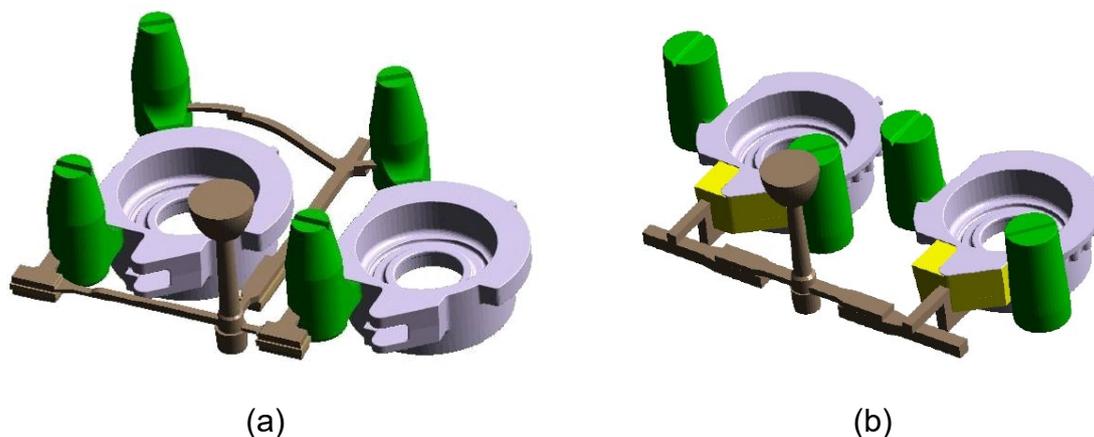
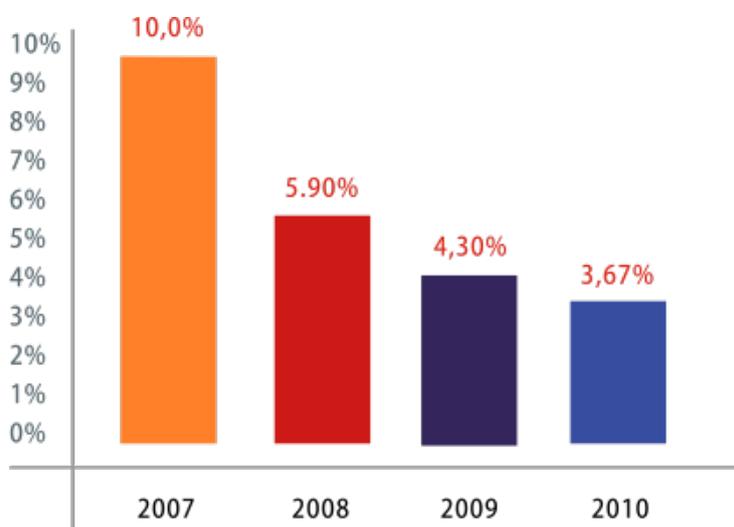


Figura 25 – Alteração do projeto de fundição com modificação do sistema de canais e a alimentação (a) projeto original e (b) projeto otimizado [8]

A quantidade total de ferro necessário foi reduzida em 195,6 toneladas, disponibilizando espaço para 274 moldes na linha de produção. A otimização levou também a uma economia de energia de 160.000 kWh/ano. Utilizando a simulação em um estágio inicial a fundição alegou um potencial de economia adicional de \$140.000,00 no primeiro ano de produção, além de não possuírem os custos com a alteração do ferramental, estimados em \$120.000,00 [10].

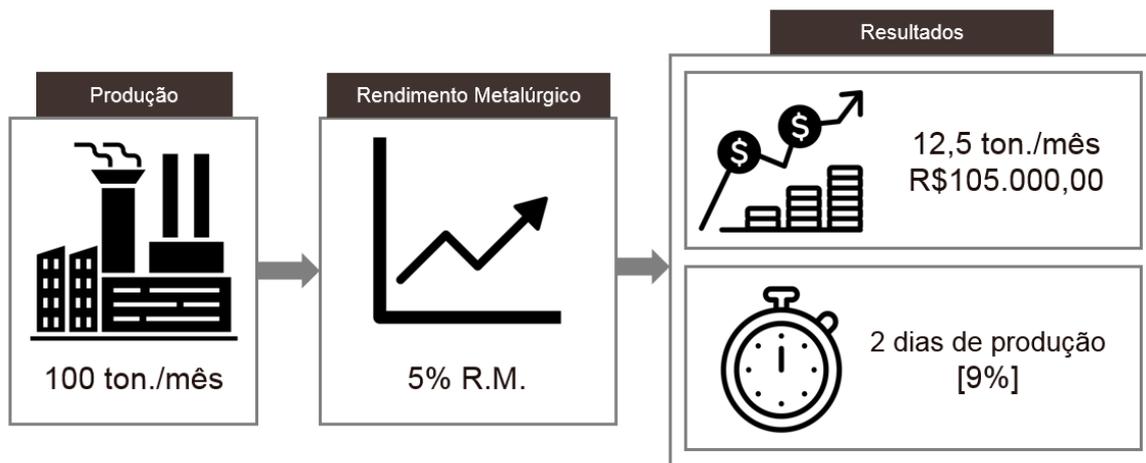
A Sulzer Brasil reduziu índices de refugo e elevou o rendimento metalúrgico ao longo dos anos com a aplicação do MAGMASOFT®, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Percentual de refugo por ano após aplicação do MAGMASOFT®



Um incremento de 5% no rendimento metalúrgico de uma empresa que produz 100 ton./mês, reduz o consumo de metal em 12,5 ton./mês. Para peças fabricadas em ferro estima-se um retorno acima de R\$100.000,00 mensais, além de disponibilizar em média 02 dias úteis a mais de produção, elevando sua capacidade produtiva em 9,0%.

QUANTO VOCÊ ESTÁ DEIXANDO DE GANHAR HOJE?



9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. P. d. Silva e C. E. F. Vian, “O mercado mundial de máquinas agrícolas: distribuição regional e padrões de comércio internacional,” *Revista Espacios*, 2018.
- [2] SENAR, “Mecanização: operação de tratores agrícolas,” 2017.
- [3] R. J. Menne, U. Weiss, A. Brohmer e A. Egner-Walter, Implementation of Casting Simulation for Increased Engine Performance and Reduced Development Time and Costs - Selected Examples form FORD R&D Engine Projects, Aachen: Internationales Wiener Motorensymposium 2007, 2007.
- [4] J. Schmidt e J. C. Sturm, “Desenvolvimento de ferramentais dimensionalmente corretos sem try-out,” 16º Congresso de Fundição - CONAF 2013, São Paulo, 2013.
- [5] I. Hahn e J. C. Sturm, Simulation evolves to autonomous optimization, Aachen, Germany: MAGMA GmbH, 2019.
- [6] R. J. L. A. Z. G. C. R. G. L. S. R. d. O. Gabriel Radaelli Piazza, Influências das tensões residuais e propriedades mecânicas, oriundos do processo de fundição, sobre a performance de um componente de sistema de suspensão, SAE International, 2014.
- [7] M. G. 2008, “At the Heart of Casting - Mitten im Guss,” 2008.
- [8] B. D., “Using Magmasoft to Design Cost Effective and More Manufacturable Castings,” *North American Users Meeting*, 2009.