

Desenvolvimento de Tecnologias para Sistemas Produtivos**Análise em um projeto de produto em função da possibilidade da formação de tensões residuais do metal**

SIRNEI CÉSAR KACH, Me.

FAHOR – Faculdade Horizontina - RS - Brasil

sirnei@fahor.com.br

REINALDO OLIVEIRA, Me.

Centro Paula Souza – São Paulo – Brasil

reinaldo@careoli.com

Resumo - Este trabalho foi desenvolvido através do software de simulação numérica Magma, para verificação de possíveis tensões residuais provocadas pelo processo de resfriamento de uma peça fundida. Deverá ser identificado o limite de resistência em função das tensões residuais dos materiais na aplicação do componente de máquina. A metodologia utilizada foi através da realização de simulações com uso do software de simulação numérica Magma. Os resultados comprovam que apesar das diferenças de volume de metal líquido vazado, não houveram variações na concentração das tensões residuais na peça que pudessem de alguma forma comprometer o desempenho em sua aplicação. Conclui-se, portanto, que a concentração de tensões residuais com máximo de 50MPa, não afeta o seu desempenho em função da exigência de esforços sofridos pela peça no sistema pantográfico da semeadeira

Palavras-chave: Simulação, tensões, desempenho, aplicação.

Abstract - This work was developed through numerical simulation software Magma, to check for possible residual stresses caused by the cooling process of a casting. It should be identified role-resistance limit of the residual stresses of the materials in the application of machine component. The methodology used was by conducting simulations with use of numerical simulation Magma software. The results show that despite differences of leaked liquid metal volume, there were no variations in the concentration of residual stresses in the piece that could somehow compromise performance in your application. We conclude, therefore, that the concentration of residual stresses with maximum 50MPa, does not affect their performance due to the requirement of efforts suffered by piece in pantograph system seeder

Keywords: Simulation, stress, performance, application.

1. Introdução

1.1 Análise por simulação numérica

Os ensaios através de simulação numérica a serem verificados neste trabalho contemplam parte desta necessidade, onde a eficácia do método para a definição de um projeto é importante e precisa de uma base de dados e resultados que evidenciem esta condição. A busca por otimização de produto e processo, redução de custos e garantia de qualidade precisam ser suportados de alguma forma e neste caso a tecnologia tem papel fundamental. Desta forma o Magma foi utilizado pela sua procedência e fundamentação no segmento de simulações para fundição, software que dá este suporte e auxilia na melhoria dos projetos.

Estudar a resistência dos materiais é saber até quando se podem considerar os esforços de aplicação para uma determinada peça, seu desempenho ótimo na utilização no equipamento, considerar as possíveis causas de falhas e com isso evitar que elas continuem ocorrendo no produto.

O estudo a seguir apresentado, foi baseado em um componente de implementos agrícolas, fabricado com ferro fundido nodular (GGG50), em que o objetivo principal é identificar quais são os fatores que possibilitam formação das tensões residuais e que por sua característica, venham comprometer o desempenho do item em função de pontos de fragilização gerados por conta da concentração de tensões residuais.

Desta forma o principal objetivo desta pesquisa, é a verificação das tensões residuais do ferro fundido através da simulação numérica, durante o processo de resfriamento da peça ainda dentro do molde.

2. Referencial Teórico

2.1 Ajustes de produtos e processos

No Brasil utiliza-se a simulação do processo de fundição para o desenvolvimento de produtos há muitos anos, o que evidencia uma evolução de seus processos e com produto de qualidade superior. A otimização de processos de fabricação, vem se refletindo em mais qualidade e economia de tempo e recursos no ciclo de desenvolvimento, de acordo com Oliveira et al. (2003).

De acordo com Chiaverini (1986), as propriedades mecânicas dos materiais constituem as características mais importantes para aplicação da engenharia na construção de máquinas e equipamentos em todos os segmentos da indústria. As propriedades mecânicas de um material determinam seu comportamento quando aplicado em determinado esforço ou utilização em equipamentos ou máquinas, para atender esta necessidade, inúmeros ensaios, pré-montagem, devem ser realizados para garantir o resultado esperado. Definem sua capacidade de resistir ou transmitir esforços a qual são aplicados, sem rompimento do mesmo ou apresentar deformações incontroláveis em sua estrutura.

Normalmente as variáveis de tensão residuais e deformações podem ser obtidas através do ensaio de tração utilizando um corpo de prova, a partir desse ensaio e os dados apresentados, pode-se criar um diagrama de tensão-deformação através de um gráfico de verificação sugerindo a aplicação do referido material, segundo Hibbeler (1997).

Conforme Beer et al. (1996), todos carregamentos aplicados à determinada estrutura, podendo ser de pressão, compressão ou axiais, o que geralmente múltiplos carregamentos geram determinados efeitos de acordo com a carga aplicada provocando deformação compatível ao esforço aplicado e que por sua vez apresenta reação dentro do padrão de composição da sua estrutura molecular.

Outro fator importante e que é aplicado no alinhamento técnico estrutural de um produto, segundo Melconian (1999), a tensão admissível é a condição ideal de trabalho para o material de acordo com a circunstância apresentada, pela aplicação de determinado produto. Essa tensão deverá ser mantida na região de deformação elástica do material, caso aproxime-se da região plástica, o cálculo estrutural deverá ser revisto em função das forças aplicadas no conjunto. A tensão admissível é determinada através da relação entre a tensão de escoamento e coeficiente de segurança.

As tensões residuais ocorridas no ferro fundido durante o processo de resfriamento podem ser aliviadas através do processo de normalização do metal, ação direta no componente por exposição a alta temperatura e posterior resfriamento lento, onde por sua vez ocorre uma redução dos pontos de tensão acomodando a estrutura cristalina tensionada do metal. É importante lembrar que este processo de normalização, pode alterar a estrutura molecular e fragilizar de outra forma, por exemplo, uma peça que possua pontos de tensão e possibilidade de fragilidade, se aquecidos obviamente eliminarão essas tensões, mas a resistência ao desgaste será reduzida também. Toda esta concepção precisa ser muito bem avaliada para que o problema não seja simplesmente transferido para outro tipo de defeito. Esse processo pode ser aplicado, mas em função de custos e movimentação de itens, é preferível trabalhar com base em uma geometria da peça e sistema de enchimento que poderão influenciar na composição dos elementos químicos, evitando retrabalhos posteriores como a normalização do material, segundo Franklin (2009).

Dentro da classificação dos metais, as ligas ferrosas dividem-se em aços e ferros fundidos em classes dos ferros cinzentos e nodulares, referência utilizada pela maioria dos fabricantes. Essas classes obedecem a composições químicas definidas em normas internacionais que regulam sua estrutura pelos diferentes teores dos elementos químicos adicionados. Os aços e ferros fundidos comuns, são basicamente ligas constituídas pelos elementos como: ferro, carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre. Quando são incluídos, voluntariamente em teores compatíveis à necessidade ou exigência, outros elementos ou algum desses em teores mais elevados, a fim de melhorar

características físico-químicas ou mecânicas, têm-se aços e ferros fundidos ligados, adequados à especificação do produto final. Uma interferência que pode ser alterada dentro de uma margem específica aumentando ou diminuindo seus teores, mas que acaba definindo uma característica específica em cada fundição, conforme Kessler (2009),.

Ainda de acordo com Chiaverini (1986), um fator que se deve considerar quando especifica ferro fundido cinzento, é o que relaciona as propriedades mecânicas com a seção das peças. Isso porque devido a quantidade fixa de C total e Si, a resistência diminui conforme aumenta a espessura da peça.

Segundo Olive e Egner-Walter (2012), geralmente grandes áreas de superfícies complexas de peças fundidas, com determinados requisitos dimensionais e favorecimento de pontos com tensões no material, são muito exigentes sobre a formação do seu perfil ideal para produção em ferro fundido e atendimento à necessidade de aplicação e desempenho. Nos pontos de maior tensão, a distorção coloca grandes exigências no processo para que se garanta a eficácia em relação à especificação de sua aplicação. Devido aos numerosos parâmetros, a simulação do processo completo de produção, apresenta-se como uma ferramenta poderosa no que se refere a dados precisos e informações relevantes que podem ser identificadas antes da produção da peça, possibilitando uma ação antecipada a um possível problema. Com isso, inúmeras empresas estão investindo em softwares de simulação que antecedem a informação daquilo que ocorrerá na peça, evitando dessa forma, desperdícios e retrabalhos, até possíveis trocas de peças por conta da garantia exigida para novos produtos. A verificação de falhas na peça fundida, por muitas vezes só é identificada através de porosidades externas ou verificadas no processo de usinagem e corte da peça.

Referenciando Bartels et al. (2000), quando um metal transita em canais estreitos e sem raios de concordância dentro do molde, independentemente de sua característica seja rígido ou flexível, provoca altas tensões que são induzidas por esse método, carregando consideravelmente a estrutura do material com esforços irregulares provocando pontos de fragilidade por destinar esforços para pontos não importantes do componente. Se há poucas alternativas para mudança em relação ao peso ou geometria em um componente, a única opção é tentar ajustar seu material ou sistema de alimentação, “amarrando” o sistema todo de forma que auxilie na otimização do vazamento, para que as tensões sejam diminuídas ou ao menos contidas durante o resfriamento da peça.

Ainda citando Bartels et al. (2000) a movimentação das grafitas esferoidais de forma interativa entre a formação de nós cujos valores de tensão estão acima de um valor limite predeterminado, são direcionadas para o exterior da peça semelhante ao que surgem nos processos de crescimento natural da grafita harmonicamente com efeito livre das transições e constante, para todos os pontos de tensões superficiais na peça. Devido às despesas relativamente

elevadas na realização de testes para ajuste do processo, a simulação numérica no ambiente CAD continua a ser a aplicação mais recomendada, pois evita inúmeros retrabalhos, perda de material e esforços direcionados para pontos errôneos.

Segundo Olive e Egner-Walter (2012), a solidificação e arrefecimento temperatura ambiente de todos os fundidos, ocorre com uma heterogênea e inerente distribuição de temperatura. Quanto às áreas que possuem resfriamento mais rápido, como as partes mais finas, a contração térmica é limitada, nesse momento é que as tensões de tração são formadas. Em altas temperaturas, onde o estresse de rendimento é mais baixo, as tensões térmicas são aliviadas por algum grau de deformação plástica que a peça sofre em função de sua geometria que favorece tal comportamento. As maiores tensões e deformações plásticas ocorrem quando a temperatura é diferente entre as áreas com taxa de arrefecimento mais rápidas e mais lentas quando estão em um grau máximo admissível.

As tensões residuais de fundição podem afetar processos subsequentes como cortes, alisamento, tratamento térmico e usinagem. As tensões residuais podem ser redistribuídas durante o recorte e usinagem, mas adicional de tração e tensões de compressão podem ser introduzidos na fundição por tratamento térmico, conhecido como alívio de tensões do material. O uso de software é um importante método para controlar a qualidade dos materiais e processo de grande interesse no presente estado da arte, que é reduzir o desperdício de materiais e economizar o custo do produto final, seja na composição química, como no desenvolvimento do produto onde o software de simulação numérica dá o suporte técnico ao mesmo, de acordo com Olive e Egner-Walter (2012).

3. Método

3.1 Ensaio e dados

Para este trabalho foram embasadas as informações coletadas, em relação ao comportamento do metal durante o processo de resfriamento, utilizando o software de simulação numérica Magma, que se utilizou de determinado leiaute dos modelos de ferramentais como base para os estudos, conforme Figura 1.

Esses modelos foram propostos de forma diferenciada um do outro, em seu sistema de alimentação especificamente, para verificar possíveis variáveis ou interferências que a disposição das peças no molde e seu sistema de alimentação, pudessem provocar no processo de resfriamento do metal. Esta disposição foi alterada em dois formatos considerando que esta proposta estivesse de alguma forma interferindo nos resultados, gerando possíveis pontos com tensões residuais do ferro fundido, que por consequência poderão provocar fragilização.

O objetivo principal dos ensaios, é a identificação de uma possível variação ou fragilização nos pontos de formação de tensões residuais do material

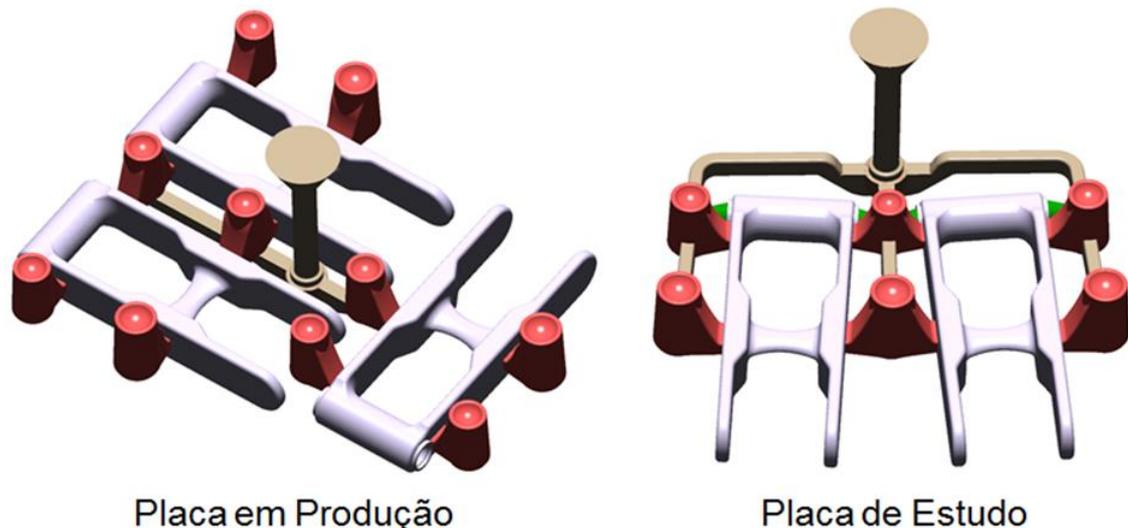
na conformação do item. Estas variações da estrutura do ferro fundido, podem comprometer o desempenho em função da resistência ao esforço da peça em sua aplicação no conjunto pantográfico da plantadeira, o qual suporta grandes esforços durante o plantio.

3.2 A tensão residual

Ao identificar possíveis pontos com tensão residual com antecedência a execução da ferramenta, oportuniza a melhoria do projeto, otimizando o produto em relação a quantidade de material e melhoria em sua geometria, fator importante para se evitar a formação destas tensões residuais principalmente durante o resfriamento do metal, que por sua vez fragilizam o produto.

O método para análise desta proposta se baseia fundamentalmente na simulação numérica através do Magma, mas com suporte do conhecimento técnico dos envolvidos e com isso gerar uma cadeia de informações que a equipe envolvida poderá agregar ao desenvolvimento do produto, otimizando desta forma tanto o produto, processo e garantindo a qualidade exigida para sua aplicação.

Figura 1 – Leiautes para sistema de vazamento



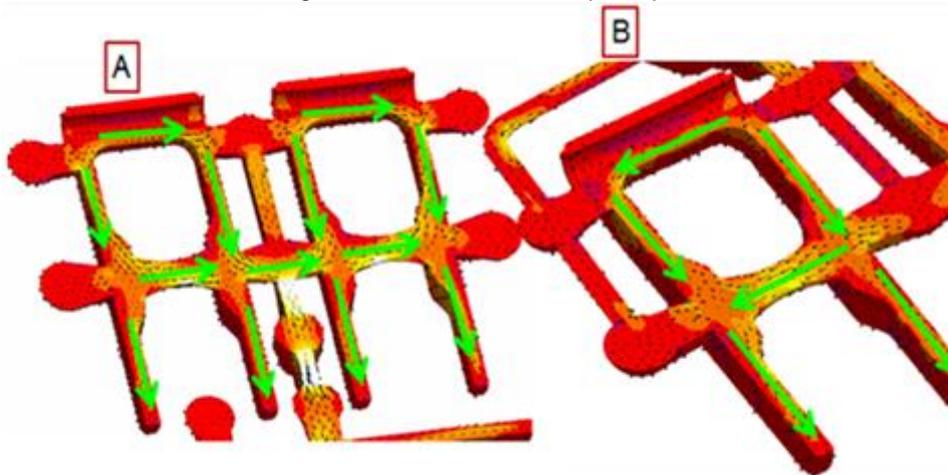
Fonte: Magma – Software de simulação (2013)

As verificações dos leiautes da Figura 1, identificam o perfil do sistema de alimentação e que fazem o material ser submetido aos esforços diferenciados dentro do molde de acordo com o fluxo durante o vazamento e posterior resfriamento. Além dos esforços normais das aplicações, também considerando as tensões residuais que por sua característica específica, provocam possivelmente uma fragilidade no componente. Considerando um projeto de

baixo peso em função do perfil da peça, o Magma comprova por sua vez a otimização do projeto criado em relação ao custo de fabricação.

Na Figura 2, é apresentado um formato de distribuição da tensão residual principal formada no vazamento do ferro líquido e sofrida pelos itens em seus respectivos leiautes, durante o fluxo de metal no molde. A identificação desta correta distribuição das tensões residuais da peça em seu processo de solidificação, conforme as demais análises são identificadas pela intensidade e distribuição de cores na escala ao lado direito da Figura 2. Ao analisarmos estas tensões geradas pela deformação, notamos que as mesmas são tensões normais de tração e apresentam uma direção ao longo de todo o sistema. Isto resulta em uma distribuição de tensões residuais de forma homogênea o que diminui o risco de ocorrer trincas no produto.

Figura 2: Tensão residual principal



Fonte: Magma – software de simulação (2013)

Por conta desta distribuição homogênea das tensões no corpo da peça, evidencia-se que não haverá inicialmente um ponto específico com elevada tensão que possa comprometer o desempenho do item. Essa formação homogênea da estrutura do metal é favorecida pelo direcionamento uniforme do material dentro da cavidade do molde e da mesma forma pela geometria da peça, que favorece o deslocamento do líquido sem muita colisão ou atrito, proporcionando uma acomodação suave na cavidade e um resfriamento de forma igualitária em toda árvore.

O sentido indicativo das flechas em verde na Figura 2 evidencia a formação das tensões residuais, que por sua vez não apresentam uma variação no sentido de concentrações desuniformes.

Esta situação é favorecida pelo sistema de alimentação, que ataca a peça em pontos de massas isoladas (espessura maior que a média) e o restante de seu perfil, de certa forma, mantém-se uniformemente distribuído. Então tendo

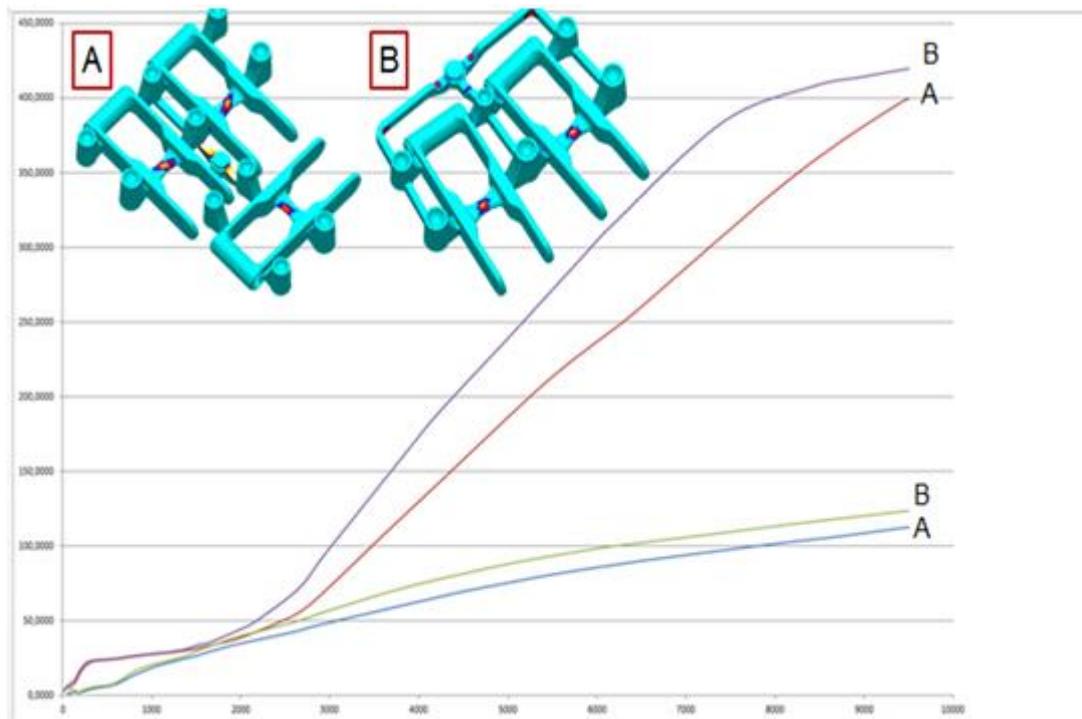
uma condição de preenchimento uniforme, harmonia entre os diversos formatos da peça, uma fluência do metal, a tendência de redução na possibilidade de formação de pontos quentes ou pontos de tensão residual é bem menor, proporcionando com isso a qualidade garantida no produto e atendendo com satisfação a necessidade de esforços em sua aplicação.

4. Resultados e Discussão

Na curva “A” da Figura 3, para os dois casos, mostram claramente que em nenhum momento a tensão de referência ultrapassa o limite de resistência do material. Dessa forma pode-se definir que qualquer um dos projetos está dentro da especificação e da necessidade que o item exige em sua aplicação. A curva “B” é a representação da resistência do material para a aplicação do sistema pantográfico da plantadeira. Todo sistema de movimentação precisa de uma determinada evolução técnica e aplicado um coeficiente de resistência a essas forças aplicadas, com isso garantindo sua função.

O coeficiente de segurança utilizado é três vezes superior ao mínimo em toda estrutura, o que garante a resistência ao esforço aplicado, desta forma também é auxiliado pelo perfil da peça, sem formação de grandes tensões residuais no produto. A curva da Figura 3 demonstra esta possibilidade e com isso demonstrar que a base utilizada é a correta na definição do design da peça.

Figura 3: Curvas da formação de pontos frios



Fonte: Magma – software de simulação (2013)

Na Figura 3, é possível notar pelo gráfico que nenhum momento a tensão residual de referência ultrapassa o limite de resistência do material, que é representado pelas duas curvas superiores, identificando desta forma quais são os pontos de maior tendência à formação de trinca a frio. As curvas inferiores representam a força aplicada em função das tensões residuais produzidas no resfriamento do material.

Apesar da possibilidade de formação de pontos de tensão pela formação de trinca a frio, o produto está projetado para atender um determinado esforço, que supera a exigência do equipamento em sua extrema força aplicada durante o processo de plantio em diferentes tipos de solos.

5. Considerações finais

Concluiu-se, portanto, que o componente do equipamento, atende a expectativa de sua aplicação. Mesmo considerando as inúmeras forças aplicadas a este componente, tais como tensão residual dos materiais, esforço de resistência dos solos e peso dos componentes montados no pantógrafo, sendo que o item atende aos esforços de aplicação no produto, sem risco de dano ou rompimento.

As tensões residuais para os dois sistemas de alimentação, nota-se que não há diferença muito grande ao que se refere a formação de tensões residuais, entre os mesmos, isto porque o sistema escolhido para estudo acaba acompanhando a característica de deformação da peça. Desta forma o perfil determinado para a peça está de acordo e pode ser definida como ótima em seu

projeto. Toda a possibilidade de variação de processo, formação de trinca a frio, concentração de pontos de tensão, não compromete em nenhum momento a capacidade aplicativa da peça evidenciando desta forma a eficácia do projeto definido.

Desta forma conclui-se que não haverá fatores que possam interferir ou provocar excesso de concentração de tensões residuais na peça fundida. De acordo os parâmetros técnicos de fabricação, composição química a fragilização não ocorrerá no item em relação a resistência na aplicação específica do item estudado.

Referências

BARTELS, C. et al. Gusseisenmit Kugelgraphit, 2000. Disponível em: www.kug.bdguss.de. Consultado em 23/02/2014.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R.. Resistência dos materiais, 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1996.

CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica, Processo de fabricação e tratamentos. v. 2, 2. ed. Editora McGraw-Hil Ltda. 1986.

FRANKLIN, A. R. Um breve estudo sobre o ferro fundido nodular, UEZO, 2009.

HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 3. ed. Rio de Janeiro 1997.

KESSLER, S. E. Defeitos de fundição, SENAI, 2009.

MELCONIAN, S. Mecânica técnica e resistência dos materiais. 10. ed. Érica. São Paulo, 1999.

Olive, Dr. Ing; Egner-Walter, Dr. Ing. Using Stress Simulation to tackle Distortion and Cracking in Castings. MAGMA GmbH, Germany, Maxima Engineering, UK (2012).

OLIVEIRA, C. G. de; GUESSER, W. L.; BAUMER, I. O uso da simulação do processo de fundição no desenvolvimento de peças em ferro fundido nodular, 2009.