

SCRUM aplicado à projetos de simulação de fundição

Diogo Alves de Sá
MAGMA Engenharia do Brasil Ltda

Cleber Willian Gomes
Centro Universitário Da Fei/ Senai / Fatec

Adriane Paulieli Colossetti
Fiap

Joern Schmidt
MAGMA Engenharia Do Brasil Ltda.

Emerson Rodolfo Abraham
Fiap

Resumo

Simulação de processo tem um papel crescente na indústria de fundição, sendo considerada uma ferramenta essencial pela maioria das fundições que tem por objetivo o desenvolvimento de sistemas que entreguem peças de qualidade, com o maior rendimento metálico e menor taxa de refugo possíveis. Os desafios da realização de simulações de fundição como parte do projeto construtivo de moldes permanentes são apresentados aqui. Cronogramas reais de ferramentarias são analisados e seus gargalos explorados. Usando conceitos do gerenciamento de projetos ágil e o framework Scrum aplicado ao produto fundido, foi possível verificar que a integração entre a construção da ferramenta e a simulação pode aumentar a qualidade e robustez com impacto zero no tempo de desenvolvimento do produto.

Introdução

Simulação do processo de fundição é hoje uma ferramenta largamente aceita na indústria de fundição, especialmente quando se trata de peças automotivas que possuem requisitos maiores de qualidade, mecânicos e microestruturais.

Desde o primeiro software capaz de prever o comportamento desse processo complexo (com o lançamento da primeira versão do MAGMASOFT® em 1988) diversas empresas integraram sua utilização em seu ciclo produtivo.

Página 1 de 19

Historicamente falando, o processo de fundição tem contado com especialistas altamente treinados para a determinação da melhor forma de preencher os seus moldes (sejam de areia ou permanentes) em termos de sistema de enchimento e alimentação, linhas de refrigeração ou definição de resfriadores. Um diagrama simplificado mostrando os passos para produção de peças fundidas pode ser visto na Figura 1, ao lado.

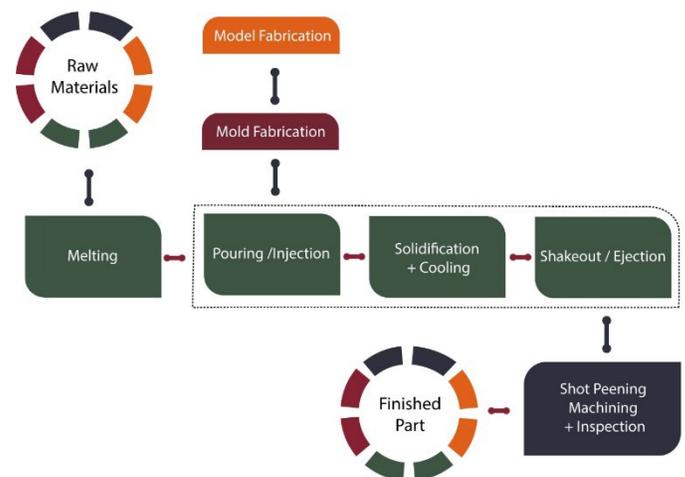


Figura 1. Fluxograma com os passos necessários para produzir uma peça fundida. Adaptado de [1].

Após a incorporação da simulação, no entanto, houve uma mudança significativa na forma como o processo global deve ser tratado. A possibilidade de realizar várias experiências a baixo custo, permitiu às fundições experimentar múltiplas alterações aos seus modelos e processos antes da produção da peça propriamente dita. Esta nova forma de desenvolver sistemas de fundição (ilustrada na Figura 2) permitiu várias mudanças de paradigma na forma como os defeitos de fundição são estudados, analisados e prevenidos.

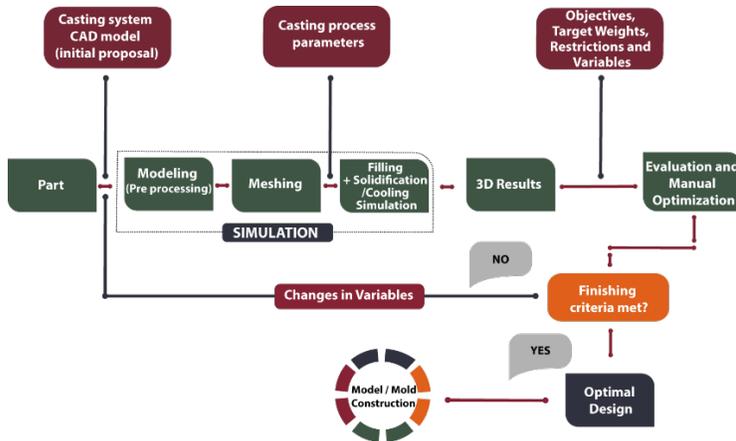


Figura 2. Fluxograma dos passos necessários para produzir uma peça fundida após a introdução da simulação – try-outs virtuais. Adaptado de [1] .

Neste fluxograma, as simulações são realizadas por técnicos de fundição experientes e os seus resultados refletem, portanto, a experiência, as considerações e o know-how desses técnicos. Cada simulação individual é comparável a uma experiência virtual e, com base nos seus resultados, estes engenheiros avaliam, por exemplo, se um sistema de fundição escolhido ou a configuração de parâmetros de processo conduz a uma qualidade aceitável do fundido com custos aceitáveis e propondo, ao final, alterações para encontrar soluções melhoradas [2] .

À medida que os consumidores de fundidos evoluem, em particular a indústria automobilística, o mesmo acontece com as especificações para suas peças fundidas [3] . A fim de alcançar propriedades mecânicas mais elevadas em peças mais leves com prazos de entrega mais reduzidos, a tarefa de otimizar manualmente as peças fundidas utilizando a tentativa e erro virtual também precisa de evoluir.

Usuários de simulação e a sua tarefa

Para incorporar a simulação no seu processo de produtivo, toda empresa precisará de três componentes principais: hardware, software, e 'human-ware' [4] . Nesta secção, falaremos sobre o terceiro.

Para operar um software de simulação de fundição, o usuário precisará:

1. Conhecimentos básicos em modelação CAD, ou trabalhar numa empresa que tenha outras opções para modelação de geometrias em 3D;
2. Ser totalmente treinado no software que irá operar;
3. Ter algum nível de conhecimento e experiência no processo de fundição que será estudado para que possam avaliar os resultados da simulação, compará-los com os ensaios, e depois propor alterações que possam resolver os defeitos observados na simulação;
4. Tempo.

Os 3 primeiros não são particularmente difíceis de administrar, especialmente para as fundições modernas. O quarto, no entanto, geralmente apresentará um desafio.

Embora existam várias maneiras de utilizar a simulação de fundição para diferentes objetivos [1] a [6] , existem certas preocupações que cada usuário de simulação de fundição tem (em maior ou menor grau) sempre que recebe uma peça nova para desenvolver seu sistema de fundição.

Tempo de desenvolvimento

Cada novo projeto vem com um prazo, por vezes mesmo antes de as especificações e critérios terem sido estabelecidos. Este prazo refere-se geralmente a um calendário de projeto maior (outras peças, montagem, lançamento final do produto etc.) em vez da complexidade da peça e do número de ensaios virtuais necessários para obter uma peça sem defeitos sob os custos desejados.

Poucos colegas com quem discutir resultados

A maioria dos projetos de simulação de fundição são trabalhos de uma só pessoa, a saber o usuário, que geralmente não tem muitos colegas com quem discutir os resultados observados. Mesmo quando esse usuário trabalha num projeto ou departamento de engenharia, o comum é que apenas o usuário tenha conhecimento de análise dos resultados de simulação.

Pressão

Não importa o tamanho do desafio apresentado pelo projeto, o usuário, como guardião da ferramenta de simulação, é entendido como tendo tudo o que é necessário para resolver o problema, mesmo que alguns problemas só possam ser resolvidos por uma mudança radical das condições de contorno do projeto.

Por onde começar

Embora o usuário normalmente tenha (ou desenvolva ao longo do tempo) experiência em como trabalhar com projetos de simulação de peças fundidas, as constantes mudanças necessárias para desenvolver peças que estejam de acordo com as crescentes exigências, criam um novo desafio todos os dias, ao ponto de não ser uma tarefa pequena

determinar por onde é melhor começar a análise ou mesmo, quais potenciais problemas deve-se otimizar primeiro.

O que fazer quando os testes não produzem os resultados esperados

No processo de fundição, tudo ocorre ao mesmo tempo e está intimamente ligado. A alteração de um único parâmetro do processo, devido à sua interação com outros parâmetros, pode ter uma multiplicidade de impactos no resto do processo e influenciar a qualidade final de fundição de muitas formas diferentes [2].

Não há receita para resolver todos os defeitos de fundição em cada peça. O know-how (tanto técnico como científico) permite aos peritos elaborar planos de ação que podem ser aplicados a uma dada situação, mas não há garantias de que estas ações atinjam os objetivos desejados. Todos aqueles que trabalharam com simulação de processos para realizar testes virtuais sabem que, por vezes os testes não corrigem os problemas como pretendido, ou mesmo criam problemas novos, especialmente quando existem múltiplos problemas em um único projeto e os testes para corrigi-los são realizados sem organização ou estrutura.

A Figura 3 (abaixo) exemplifica o comportamento acima mencionado. A peça é fundida por Gravidade em Molde Permanente (GDC) e apresenta várias tendências para rechupes (manchas azuis, amarelas, vermelhas e brancas no resultado da simulação). Com o objetivo de reduzir/eliminar tais tendências, o usuário da simulação realizou 16 testes, após a simulação de base. O valor global dos rechupes para cada teste é representado por um dos pontos no gráfico.

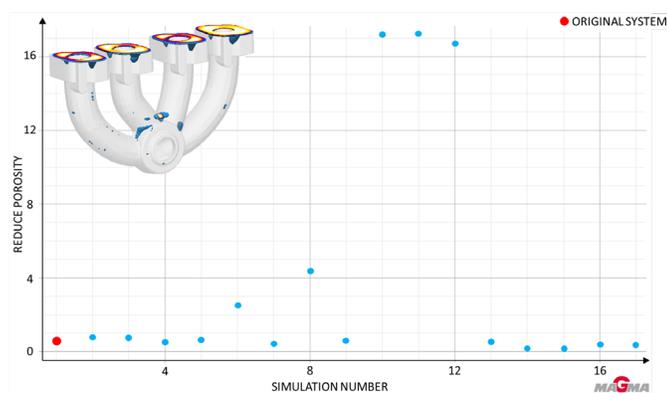


Figura 3. Gráfico extraído da perspectiva de avaliação do MAGMASOFT® para um dado projeto em GDC (a imagem da peça é apenas ilustrativa). Cada ponto representa uma simulação em termos da intensidade total de rechupes (eixo Y) e do número da simulação (eixo X).

É possível visualizar que o nível de rechupes não diminuiu desde a simulação de base até ao 14º teste. Considerando que cada simulação levou aproximadamente 4 horas, o usuário investiu quase 70 horas somente de tempo computacional, sem se aproximar do seu objetivo. Embora tenha sido possível resolver o problema no final, a avaliação

deste gráfico (e de muitos outros como este) levanta a questão de haver ou não uma melhor forma de conduzir projetos de fundição auxiliados pela simulação.

Gerenciamento de projetos de fundição

Os atuais requisitos para o desenvolvimento de uma peça fundida e o correspondente processo de fundição exigem metodologias e ferramentas que permitam uma maximização da robustez e rentabilidade do processo o mais cedo possível [2]. No entanto, há pouco escrito sobre gestão de projetos em projetos de fundição, com ou sem simulação.

Técnicas de gestão de projetos foram propostas por fornecedores de software de simulação [7] para auxiliar os usuários na melhor forma de utilizar o seu poder de simulação. No entanto, como dito anteriormente, o projeto de simulação do processo de fundição é sempre uma pequena parte de um desenvolvimento muito maior, o que significa que uma melhor gestão do projeto de simulação da peça fundida não é suficiente para assegurar o prazo alvo para a produção da peça.

Pouco tem sido escrito sobre os métodos e técnicas de gestão de projetos aplicados desde o início do desenvolvimento que integram os estudos de simulação de fundição com a construção de moldes.

Uma primeira possível tentativa seria utilizar a gestão convencional (ou linear) de projetos, tal como proposto pelo Project Management Institute (PMI), para organizar os estudos de simulação necessários para obter uma peça sã dentro do período desejado. Em outras palavras, criar uma estrutura analítica de projeto (EAP) que permitirá ao usuário decompor o projeto em partes menores e mais manejáveis [5]. Uma EAP proposta para projetos de simulação HPDC (Fundição sob alta pressão) e uma para projetos de GDC podem ser observadas na Figura 4.

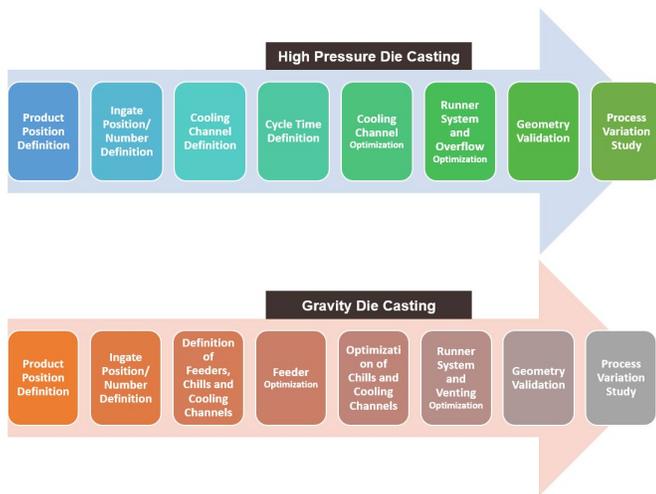


Figura 4. EAP para otimizar os sistemas HPDC e GDC na fase de simulação. Autoria própria.

O objetivo de tais estruturas é executar estudos de simulação mais rápidos que forneçam, a cada incremento, a resposta mais adequada em termos de qualidade, produtividade e custos desejados, em intervalos de tempo menores. Uma breve descrição de cada fase, e os seus objetivos podem ser vistos na Tabela 1:

Tabela 1. Breve descrição das fases de estudo de simulação, as geometrias necessárias e os seus respectivos objetivos.

	Geometrias Necessárias	Decisões baseadas em critérios de qualidade?	Objetivos
1- Definição do posicionamento do produto (HPDC e GDC)	Produto	SIM	Fundir a peça, preenchendo pelos seus diferentes lados e avaliar de acordo com os critérios.
2- Definição dos ataques (HPDC e GDC)	Produto	SIM	Definir e testar os ataques (número e posicionamento) de acordo com os critérios.
3- Definição do Sistema de refrigeração (HPDC e GDC)	Produto	SIM	Avaliar o estado térmico do Sistema e determinar se o projeto de refrigerações é adequado.
3- Definição de resfriadores e massalotes (GDC)	Produto	SIM	Definir e testar uma 1ª disposição de resfriadores e/ou massalotes e compreender o seu potencial para ajudar a satisfazer os critérios de qualidade da peça.

4- Definição de tempo de ciclo (HPDC)	Projeto 3d parcial do molde (cavidade, inserto e proposta inicial de refrigeração).	SIM	Definir o tempo de ciclo real com base em simulações das condições de produção, critérios e os perfis térmicos.
4- Otimização dos massalotes (GDC)	Projeto 3D parcial do molde (cavidade e inserto) e definições iniciais de massalotes, resfriadores e canais de refrigeração.	SIM	Maximizar a qualidade da peça com o maior rendimento metálico possível.
5- Otimização dos canais de refrigeração (HPDC e GDC)	Projeto 3D parcial do molde (cavidade e inserto) e definição inicial dos canais de refrigeração (também massalotes e resfriadores para GDC).	SIM	Minimizar o tempo de ciclo e maximizar a qualidade da peça.
5- Otimização dos resfriadores (GDC)	Projeto 3D parcial do molde (cavidade e inserto) e definições iniciais de massalotes, resfriadores e canais de refrigeração.	SIM	Maximizar a qualidade da peça.
6- Otimização dos sistemas de canais e bolsas de ar/ventilação (HPDC e GDC)	Projeto 3D parcial do molde (cavidade e inserto) e definições otimizadas	SIM	Maximizar a qualidade da peça.
7- Validação de geometrias (HPDC e GDC)	Projeto completo do molde	SIM	Garantir que as alterações construtivas não influenciarão negativamente os resultados.
8- Estudo de Variação do Processo (HPDC e GDC)	Projeto completo do molde	SIM	Entender como a janela do processo terá impacto na qualidade da peça.

O problema não é completamente resolvido devido ao fato de, no caso das peças fundidas, existirem várias fases de construção da ferramenta que também têm de ser observadas. Para peças fundidas em moldes permanentes ainda mais, pois o desenvolvimento e a construção da ferramenta levam vários meses e, na maioria dos casos, a simulação é considerada apenas um dos pacotes da EAP, como pode ser visto no exemplo de cronograma de uma empresa brasileira de ferramentaria para GDC, exibido na Figura 5.

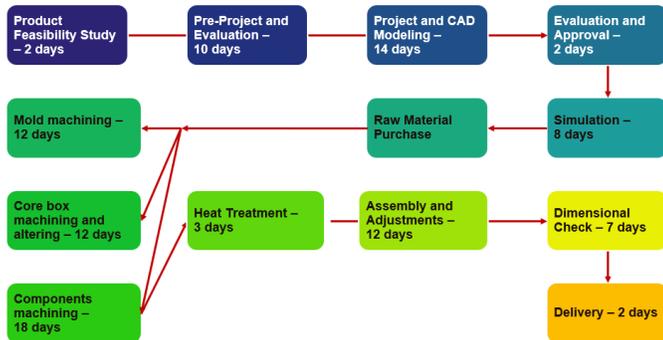


Figura 5. Cronograma para a construção de ferramentas de uma Ferramentaria de moldes GDC.

Incluir todas as etapas descritas na Figura 4 num período de 8 dias não é uma tarefa viável, deixando aos usuários da simulação apenas uma opção, que é realizar um número limitado de testes num conceito de ferramenta já predefinido e escolher o melhor resultado entre eles. Esta abordagem, no entanto, não permitirá obter o sistema mais robusto possível.

O mesmo "pacote de simulação" único é visto no cronograma de uma empresa de ferramentas para HPDC (Figura A - 1 no Apêndice). Neste exemplo, uma porção muito maior do tempo total do projeto é alocada para estudos de simulação (entre 6 e 8 semanas, correspondendo a 25 a 30%). Dentro deste prazo, seria possível completar todas as etapas da EAP proposta do projeto de simulação, mas um aumento de 30% no tempo necessário para iniciar a produção de qualquer peça não é ideal, desejado ou mesmo possível, as vezes. É neste cenário que o Scrum será utilizado para otimizar as entregas de forma a obter resultados mais rápidos.

Framework SCRUM

Diferentemente das metodologias tradicionais, a abordagem ágil foi introduzida como uma tentativa de tornar a engenharia de software flexível e eficiente [9]. Em vez de pequenos pacotes, como se viu nas EAPs anteriores, os frameworks ágeis são utilizados para dividir projetos complexos em diversos ciclos menores. Cada um deles é comparável a um projeto em miniatura. Entre os frameworks existentes sob o conceito ágil, Scrum é o principal.

O termo Scrum tem suas origens na partida de Rugby, onde, nesta jogada, oito jogadores disputam a reposição da bola atuando em conjunto com o mesmo objetivo, sendo que se um deles falhar, todos falham e se um conseguem, todos conseguem [10].

Scrum é um framework [9] [11] para desenvolver, entregar e manter projetos complexos. Não é um processo, técnica ou método definitivo (como uma receita) e pode empregar vários processos ou técnicas. As regras contidas no framework integram determinados papéis, eventos

e artefatos, gerindo as suas relações e interações visando o desenvolvimento iterativo e incremental de produtos.

Existem também valores que auxiliam as equipes a adotar o Scrum, a entregar a solução de acordo com os requisitos do cliente e ainda a garantir um ambiente agradável para se trabalhar.

O Scrum, como o próprio guia [11] afirma, é simples e propositadamente incompleto. Em cada projeto ou instituição, o framework é construído com base na inteligência coletiva das pessoas que o utilizam. A sua vontade de adotar as diretrizes e modelar o seu comportamento de acordo com elas é de extrema importância para o sucesso da sua implementação.

A imagem a seguir (Figura 6) esquematiza os eventos e artefatos que compõem o Scrum.



Figura 6. Representação dos artefatos e eventos do Scrum. Adaptado de [12]

Informações detalhadas sobre o Scrum, seus valores, artefatos, eventos, papéis e exemplos de aplicação podem ser encontrados na literatura [9] a [13] Aqui fornecemos apenas uma breve visão geral que permitirá ao leitor compreender o seu conceito e o uso proposto no estudo de caso.

1. **Backlog do Produto:** Tudo começa no backlog do produto. Para compreender este conceito, imagine uma planilha na qual cada linha contém os itens necessários para concretizar o produto ou serviço. À medida que esses itens são considerados concluídos, eles podem ser apagados. Podemos considerar que esta lista é um backlog do produto se, uma vez que quando tudo o que está nela for apagado o produto ou serviço estiver completo.
2. **Backlog do produto priorizado:** Após a definição do que é necessário, os itens são priorizados de acordo com o seu valor (geralmente definido pelo público-alvo/cliente) e para maximizar o valor do trabalho dos desenvolvedores; com isso, é gerado um plano de nível superior, chamado de plano de release. Cada release é uma versão que será disponibilizada aos clientes para feedback e, conseqüentemente, melhoria do produto. Após a priorização (lembrando que não há necessidade de ter todo o backlog do produto priorizado) a equipe passará para o Planejamento de Sprint.
3. **Backlog da Sprint:** As Sprints são eventos nos quais as ideias são transformadas em valor. Começam após a definição do objetivo da Sprint (o "porquê"). Com esse objetivo em mente, a equipa irá filtrar o backlog do produto para os itens necessários

para o atingir (o "o quê"), e refiná-los (o "como"). Os "porquês", "os quês" e "como" compõem o Backlog da Sprint.

4. **Executando a Sprint:** Durante a Sprint, a equipe irá trabalhar para atingir o objetivo da Sprint, realizando todos os itens do Backlog da Sprint. Cada Sprint tem uma duração fixa de, no máximo, 30 dias. Dentro da Sprint são realizados 3 outros eventos.
5. **Daily Scrum:** Reunião de até 15 minutos para inspecionar o progresso em direção ao objetivo do Sprint e adaptar o Backlog da Sprint conforme necessário.
6. **Sprint Review:** Quando o prazo da Sprint termina, a equipe Scrum apresenta o resultado do seu trabalho e o progresso na direção do Objetivo do Produto aos principais interessados (stakeholders), recebe feedback e atualiza o backlog do produto.
7. **Retrospectiva:** O último evento da Sprint é a retrospectiva, uma reunião que tem como objetivo aumentar a qualidade e a eficácia para as próximas Sprints, avaliando o que correu bem ou mal no que diz respeito a indivíduos, interações, processos, ferramentas e a sua definição de "concluído". Esta avaliação permite à equipe corrigir e melhorar à medida que avança. Se necessário, alguns itens podem ser adicionados para o próximo Backlog da Sprint.

Para executar este framework, existem 3 papéis distintos: O Product Owner, o Scrum Master e os Desenvolvedores.

PRODUCT OWNER: Pessoa responsável por maximizar o valor do produto resultante do trabalho dos desenvolvedores (estabelecendo o objetivo do produto). A criação, priorização e manutenção do backlog do produto são algumas das atribuições do Product Owner.

SCRUM MASTER: Pessoa responsável por implementar o Scrum conforme definido no Guia Scrum. A eficácia da equipe, sua melhoria contínua e a capacidade de trabalhar dentro das diretrizes do framework são algumas das funções do Scrum Master.

DESENVOLVEDORES: Grupo de pessoas que irá desenvolver o produto ou serviço. São autogeridos e responsáveis por transformar o backlog do produto em incrementos com potencial de lançamento.

Estudo de Caso

Através de uma análise detalhada dos cronogramas de construção de ferramental de HPDC e de simulação, o estudo de caso apresentado, embora teórico, demonstra claramente a possibilidade de os unir, criando uma backlog de produto, que, por sua vez, poderia ser priorizado e dividido em projetos menores de acordo com determinados objetivos.

Cronograma da Ferramentaria

Figura 5 e Figura A - 1 mostram os cronogramas completos de ferramentarias. É importante notar que a construção de ferramentas pode ter processos variados, dependendo da peça, da empresa e dos equipamentos disponíveis, no entanto, existem 12 passos que podem ser definidos como comuns para a maioria das ferramentas [14]

Página 6 de 19

1. Cotação
2. Estudo de viabilidade do produto
 - Fase em que o produto deve ser adaptado às condições de produção inerentes ao processo de fundição.
 - Os cantos agudos, os ângulos de saída e as paredes excessivamente finas, por exemplo, são removidos durante esta fase.
3. Projeto e aprovação
 - Fase em que o modelo 3D é criado, avaliado e aprovado - geralmente é utilizada a simulação, em maior ou menor grau, nesta fase.
 - O modelo é construído a partir da geometria da peça, que é utilizada para criar a cavidade e inserto e, em seguida, o porta molde.
 - O detalhamento do molde (parafusos, pinos, insertos etc.) é necessário para as fases posteriores da sua construção, mas não para os estudos de simulação. Esta distinção é importante porque nos permitirá criar o nosso primeiro miniprojeto (Sprint).
4. Planejamento construtivo
 - Definição make or buy para os componentes necessários.
 - A maior parte do molde será usinada a partir de blocos de aço comprados pela ferramentaria, no entanto, os componentes e, por vezes, o porta molde podem ser adquiridos no seu estado acabado.
5. Aquisição de matérias primas.
 - Embora não se trate de uma etapa técnica, normalmente demora muito tempo (2-3 semanas) para receber os materiais dos fornecedores e a iniciar a usinagem.
 - Essa é uma etapa crítica para o projeto da ferramenta. Isto porque a entrega dos materiais, que é completamente dependente de um terceiro (fornecedor), interrompe a continuação do projeto (a usinagem dos materiais recebidos seguirá) e por um longo período.
6. Usinagem
7. Inspeção
8. Montagem e Ajustes
9. Polimento
10. Try-out
11. Ajustes
12. Entrega

Cronograma de Simulação

Dependendo da peça, sua geometria, histórico (quando disponível), critérios e graus de liberdade (para alterações), os passos para efetuar um estudo de simulação completo e a sua ordem podem também variar. Os passos apresentados na Figura 4 são, no entanto, um bom ponto de partida para a realização de um projeto de simulação HPDC.

1. Definição da posição do produto
2. Definição dos ataques
3. Definição dos canais de refrigeração
4. Definição do tempo de ciclo

5. Otimização do sistema de refrigeração
6. Otimização do sistema de canais e bolsas de ar
7. Validação das geometrias
8. Estudo de janela de processo

Conhecendo os passos (ou tarefas) tanto de um projeto completo de simulação HPDC quanto de construção de uma ferramenta HPDC, estabelecemos que a sua soma é o nosso backlog de produto a ser usado na estrutura Scrum, conforme mostrado na Figura A - 2 no Apêndice.

Seguindo as diretrizes do Scrum, o primeiro passo consiste em estabelecer um objetivo para o produto. Ao construir uma ferramenta, o objetivo do projeto é entregar uma ferramenta funcional, dentro do prazo acordado, que satisfaça os requisitos do cliente. Ao realizar um projeto de simulação, o objetivo é entregar um sistema de fundição robusto, capaz de produzir peças de alta qualidade, dentro do tempo disponível.

O novo objetivo de produto pode, portanto, ser: entregar um molde funcional, dentro do prazo acordado, que satisfaça os requisitos do cliente e que produza peças de alta qualidade (de acordo com os seus critérios), com um índice mínimo de refugo.

A ideia de cada Sprint é sempre entregar algo pronto que agregue valor. Não é possível, no entanto, liberar o molde em incrementos menores que se complementam até que tenhamos o molde pronto. Os projetos de construção não oferecem esse tipo de flexibilidade como os projetos de software. No entanto, nosso entendimento e intuito que a definição de pronto pode ser aplicada com sucesso para determinados aspectos da construção do molde. Neste caso, vamos integrar itens do programa de simulação, que podem ser realizados apenas com a geometria CAD do produto, com os itens de construção necessários para desbloquear a compra de material - este será o nosso objetivo da Sprint (porque).

Desbloquear a compra de material é um objetivo importante porque, depois de realizada, há 2 a 3 semanas de espera para iniciar a usinagem. A avaliação dos cronogramas mostra que este tempo é, até agora, improdutivo.

Para atingir essa meta, temos que revisar e detalhar a etapa de compra, bem como as anteriores. Considerando os cronogramas de ferramental avaliados, a compra ocorrerá após a conclusão do projeto do molde.

Naturalmente, alguns componentes serão adquiridos já no estado acabado. No entanto, os blocos de aço que serão utilizados para o macho e a cavidade (que também têm o prazo de entrega mais longo) são definidos com base nas dimensões da cavidade e do macho. Esta definição, por sua vez, é baseada no tamanho do produto e seu posicionamento. Portanto, não é por acaso que o primeiro passo de um estudo de simulação é definir a posição do produto, o que permitirá ao ferramenteiro ter todas as informações necessárias para realizar a primeira compra.

1ª SPRINT

Página 7 de 19

Para determinar quais os itens que irão compor a primeira Sprint, tendo em conta que o objetivo é ter a lista de materiais pronta e as ordens de compra feitas, precisamos primeiro de listar as ações necessárias para determinar o tamanho do molde (o quê).

Do ponto de vista da construção da ferramenta, elas são as seguintes:

1. Estudo de viabilidade do produto
2. Projeto e aprovação*
3. Aquisição de matérias primas**

(*) O projeto completo do molde demorará vários dias a ser concluído, verificado e aprovado. Por esse motivo, a etapa será dividida e simplificada.

(**) Como mencionado anteriormente, nem todos os materiais precisam de ser comprados nesta etapa, apenas os blocos de aço que serão usinados para formar o macho/cavidade e o porta molde, se padronizado.

- A. Projeto simplificado do macho e cavidade
- B. Projeto simplificado do porta molde

Do ponto de vista de simulação, as ações são:

- 1- Definição do posicionamento do produto
- 2- Definição do(s) ataque(s) (***)

(***) A rigor, não é necessário definir o número e o posicionamento dos ataques antes da compra do material, mas como se trata de uma etapa simples, pode ser efetuada em paralelo com os demais passos de construção da ferramenta.

O tempo necessário para completar cada item (sem margem de segurança aplicada) pode ser observado na Figura 7, abaixo. Uma vez que estes itens podem ser facilmente trabalhados em paralelo e nenhum deles tem um tempo estimado superior a 6 dias, vamos definir o tempo (time box) para o primeiro Sprint como sendo de 7 dias.

É importante ressaltar que, caso este Sprint seja bem-sucedido, o tempo utilizado para os estudos de simulação não adicionará ao tempo de construção do molde. A intenção aqui é explorar as particularidades e detalhes de cada projeto (bem como o fato de serem tratados como completamente desvinculados), verificando etapas que podem ser feitas em paralelo sem prejuízo para prazo e para a qualidade da peça fundida.



Figura 7. Time box para os itens da Sprint 1.

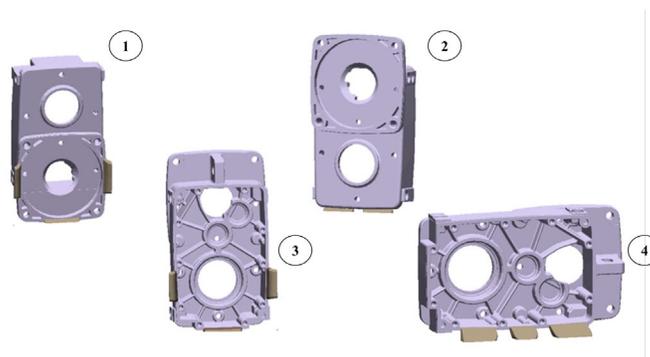


Figura 9. Posições possíveis para a cavidade no molde.

Para completar o nosso sprint backlog (já tendo o “porquê” e “o quê”), precisamos de detalhar e planejar a execução destes itens (“como”). O detalhamento necessário é apresentado na Figura A - 3 no Apêndice.

Os itens relacionados com a construção do molde são bem conhecidos pelos fabricantes de ferramentas e não serão discutidos em detalhes neste artigo. As etapas de simulação, no entanto, serão explicadas de forma mais aprofundada.

Para tal, vamos considerar a peça apresentada na Figura 8. O primeiro passo da simulação é determinar como a peça pode ser posicionada no molde, rodar as simulações correspondentes para cada um dos posicionamentos e comparar os resultados com base nos critérios de qualidade. A análise da geometria permite-nos concluir que existem 4 formas possíveis para injeção desta peça (numeradas de 1 a 4 na Figura 9). É importante notar que para este estudo não são necessários os pormenores do molde ou mesmo as linhas de refrigeração - apenas a geometria da peça.

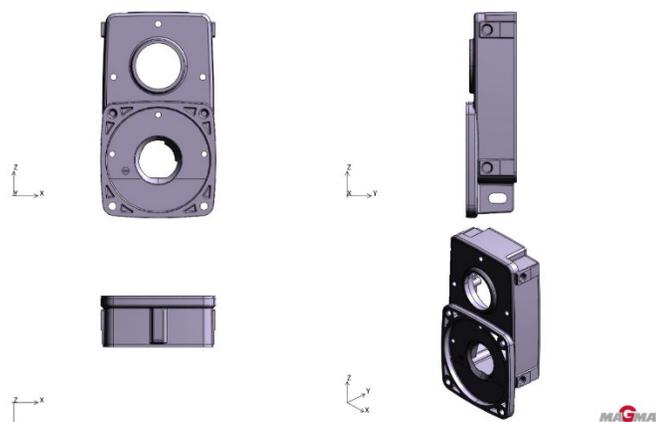


Figura 8. Produto estudado.

A posição e o número de ataques são determinados pelo espaço disponível e pela experiência do usuário. Se necessário, é possível realizar vários testes no mesmo intervalo de tempo (levando-se em conta que o sistema de canais será otimizado novamente ao longo do projeto).

Após a configuração inicial de simulação, os resultados têm de ser classificados em termos dos critérios de qualidade. Neste caso, vamos considerar critérios frequentemente exigidos em peças produzidas por HPDC:

1. Minimizar a tendência a juntas frias.
2. Minimizar o ar aprisionado.
3. Minimizar a formação de óxidos.

Cada simulação resultará em um perfil de enchimento diferente (Figura 10) sendo que a tendência a juntas frias, o aprisionamento de ar e os óxidos ocorrerão em diferentes regiões da peça. Além disso, dependendo do enchimento, as suas intensidades irão variar. A comparação destes perfis permite-nos tomar decisões que são melhores para a qualidade global da peça desde o primeiro estudo de simulação.



Figura 10. Comparação das frentes de fluxo na simulação para 4 posicionamentos possíveis da mesma peça, executada com o MAGMASOFT® versão 5.5.

Para determinar qual a melhor posição de acordo com os critérios de qualidade (neste caso, juntas frias e aprisionamento de ar), vamos utilizar a Perspectiva de Avaliação do MAGMASOFT® 5.5, que fornece valores quantitativos para cada simulação e para os respectivos critérios escolhidos, permitindo-nos compará-los em formato gráfico (Figuras Figura 11, Figura 12 e Figura 13). Em cada gráfico, o eixo X indica o número da simulação e o eixo Y indica o valor calculado para cada critério.

No primeiro gráfico, analisamos os resultados do enchimento em termos da temperatura. O eixo Y contém o objetivo predefinido do MAGMASOFT® chamado "Evitar falhas de preenchimento", que é igual à temperatura de mais baixa do metal (em °C) encontrada na cavidade durante o enchimento. Portanto, quanto maior o valor, menor a tendência à formação de juntas frias.

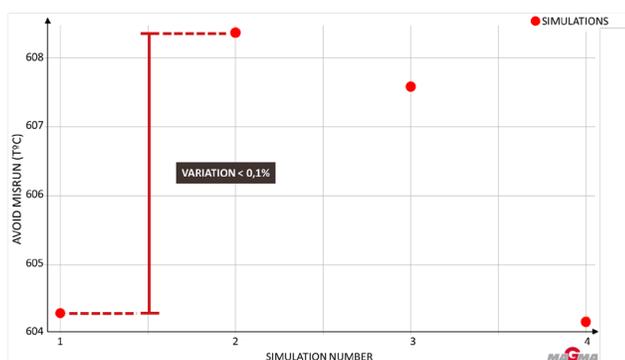


Figura 11. Comparação do objetivo "Evitar falhas de preenchimento" na perspectiva de avaliação do MAGMASOFT® entre os 4 sistemas simulados.

A comparação deixa claro que a simulação 2 possui a menor tendência à junta fria e as simulações 1 e 4 as mais elevadas. A diferença entre elas é, no entanto, pequena (inferior a 0,1%), a ponto de ser esperado que cada sistema apresente resultados de temperatura semelhantes quando em produção.

No segundo gráfico, o eixo Y mostra o valor mais elevado da pressão de ar dentro da cavidade durante a injeção para cada teste. Valores mais elevados de pressão de ar significam que mais ar foi comprimido pelo

metal durante a injeção, o que, por sua vez, significa uma maior tendência a porosidades por ar (bolhas) na peça acabada.

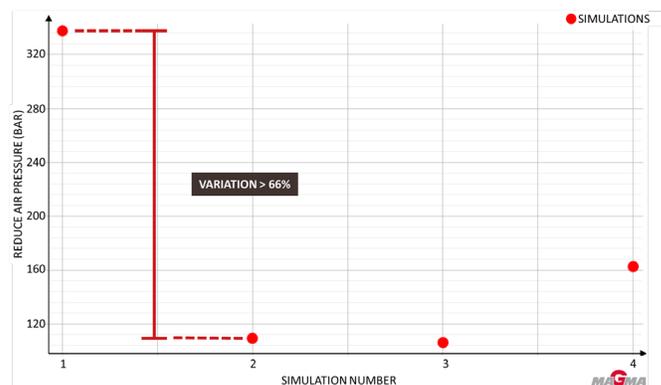


Figura 12. Comparação do resultado de pressão máxima de ar na perspectiva de avaliação do MAGMASOFT® entre os 4 sistemas simulados.

A diferença de tendência entre as versões é muito mais significativa para este resultado. As simulações 2 e 3 (valores mais baixos de pressão de ar) são mais de 66% melhores quando comparadas com a simulação 1 (resultado mais elevado de pressão de ar).

No último gráfico, o eixo Y exibe o objetivo, também pré-definido, do MAGMASOFT® 5.5 "Reduzir superfície livre". De forma simplificada, este objetivo é uma medida da quantidade de superfície metálica que esteve em contato com o ar durante o enchimento. Valores mais altos de "Reduzir superfície livre" indicam uma maior tendência à formação de óxidos.

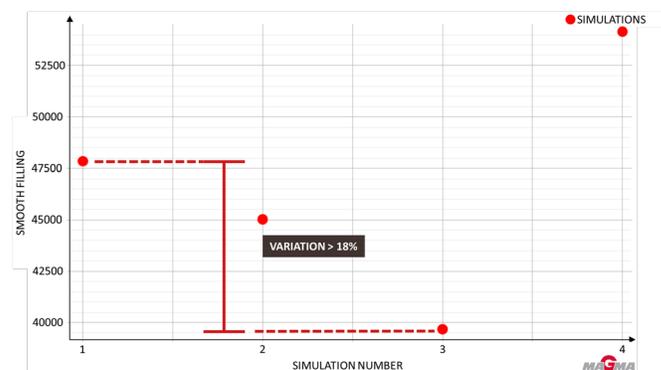


Figura 13. Comparação do objetivo "Reduzir superfície livre" na Perspectiva de Avaliação do MAGMASOFT® entre os 4 sistemas simulados.

O terceiro gráfico mostra que a simulação 3 tem a menor tendência para a formação de óxido. De forma geral, é a opção mais robusta para a posicionamento da peça de acordo com os critérios de qualidade definidos.

Esta conclusão significa que o item "Definição da Posição do Produto" do Sprint backlog pode ser definido como feito, e o Desenvolvedor responsável pelo projeto da ferramenta pode seguir em frente com o projeto simplificado do molde.

Todos os outros itens do backlog também devem ser feitos durante os 7 dias definidos para a Sprint, mas o uso do framework já permitiu, para o Desenvolvedor responsável pela operação do software, completar um passo importante para a conclusão do miniprojeto (Sprint 1) que visa desbloquear a compra de material mais rapidamente e sem deixar de lado o objetivo final de qualidade.

Para acompanhar o desenvolvimento e o progresso do time Scrum, uma ferramenta muito utilizada é o quadro KANBAN, que facilita a gestão visual das atividades e seu status de uma forma simples e direta.

Este quadro representa visualmente as várias fases da Sprint e a evolução dos itens que a compõem, permitindo que todo o time esteja sempre a par de cada status e facilitando a detecção da necessidade de ações corretivas. As Figuras Figura A - 4 a Figura A - 9, no Apêndice, exemplificam como essa ferramenta poderia ser utilizada para auxiliar na conclusão da primeira Sprint.

Ainda que os itens restantes não sejam discutidos neste artigo, o estudo de caso, como conduzido até agora, foi bem-sucedido em demonstrar que a integração entre projetos de simulação de fundição e projetos de construção de ferramentas tem um grande potencial na redução do tempo total de desenvolvimento.

Conclusões/Discussão

A análise dos cronogramas GDC e HPDC nos permite concluir que, embora a simulação de fundição faça parte da definição dos projetos de moldes, as atividades de projeto de moldes e de simulação não estão integradas.

Foi proposta uma EAP para projetos de simulação de fundição com o objetivo de maximizar as respostas obtidas através da simulação, de forma a aumentar a robustez do projeto final, tendo em conta os requisitos do produto.

Foi apresentado um conceito de gestão ágil de projetos que permite a integração das fases de desenvolvimento de simulações e de construção de ferramentas através do framework SCRUM. A aplicação do framework proposto permite a otimização do tempo total do projeto e a maximização dos seus resultados.

Adicionalmente, a utilização do framework Scrum facilita a integração e a combinação de fases de diferentes desenvolvedores, de modo a aumentar a entrega de valor ao cliente final.

Por fim, as fundições devem considerar a utilização de métodos de gestão de projetos que integrem estudos de simulação com etapas de

produção, convencionais ou ágeis, para melhorar o seu tempo de execução sem comprometer a qualidade do produto.

Referências

- [1] Jalaj B., Dhyan V., Akshat R., M Somasundaram, et al., "A systematic review on methods of optimizing riser and gating system based on energy Nexus approach", Energy Nexus doi: [10.1016/j.nexus.2021.100002](https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100002).
- [2] Hahn, Ingo and Sturm, Jörg. "Simulation evolves to autonomous optimization." Magmasoft. Accessed June 20, 2022. https://www.magmasoft.com/export/shared/.galleries/pdfs_publications/2015_Simulation-evolves-to-autonomous-optimization.pdf.
- [3] Piazza, G., Job, R., Zanol L., Coutinho, G., et al., "Influência das tensões residuais e propriedades mecânicas, oriundas do processo de fundição, sobre a performance de um componente de sistema de suspensão". In 12º Colloquium Internacional SAE BRASIL de Freios & Mostra de Engenharia, 1–8. Caxias do Sul: SAE International, 2015.
- [4] Ravi, Dr B. "Casting Simulation – Best Practices". Transactions of 58th IFC, Indian Institute of Technology Bombay, 2010.
- [5] Gaware, Akash and Dr. Mahalle, A. K., "A Review on Investigation of Casting Defects with Simulation." International Journal of Innovations in Engineering and Science, Vol. 2, No.5, 2017: 15-19. <http://www.ijies.net/finial-docs/finial-pdf/2603172017258.pdf>.
- [6] Vijayaram ,T.R., Sulaiman , S., Hamouda , A.M.S. and Ahmad, M.H.M. "Numerical simulation of casting solidification in permanent metallic molds." Journal of Materials Processing Technology, Vol. 178, No. 2006: 29-33. doi: [10.1016/j.jmatprotec.2005.09.025](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.09.025)
- [7] "The MAGMA Approach". Magmasoft. Accessed June 20, 2022. <https://www.magmasoft.com/en/solutions/the-magma-approach/>.
- [8] GUIA PMBOK®. Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos. 6th ed. Newton Square, PA: Project Management Institute, Inc., 2017.
- [9] AltexSoft. "Agile Project Management: Best Practices and Methodologies | AltexSoft," July 5, 2022. <https://www.altexsoft.com/whitepapers/agile-project-management-best-practices-and-methodologies/>.
- [10] Pereira, P., Torreão, P., Marcal, A. S., "Entendendo Scrum para Gerenciar Projetos de Forma Ágil." Academia. Accessed June 20, 2022. https://www.academia.edu/28954250/Entendendo_Scrum_para_Gerenciar_Projetos_de_Forma_%C3%81gil.
- [11] "The 2020 Scrum Guide". Scrum Guides, 2020. <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>.
- [12] Colosseti, Adriane. Condutas ágeis: comunicação, inteligência emocional e técnicas de negociação. São Paulo: Sunsetti, 2022.
- [13] McGreal, Don, e Ralph Jocham. The Professional Product Owner: Leveraging Scrum as a Competitive Advantage. Addison-Wesley Professional, 2018.

- [14] Hobus, Thiago. "Etapas da fabricação de um molde". Ferramental, 100 maiores ferramentarias brasileiras, n.º 100 (2022): 112–13.

Apêndice

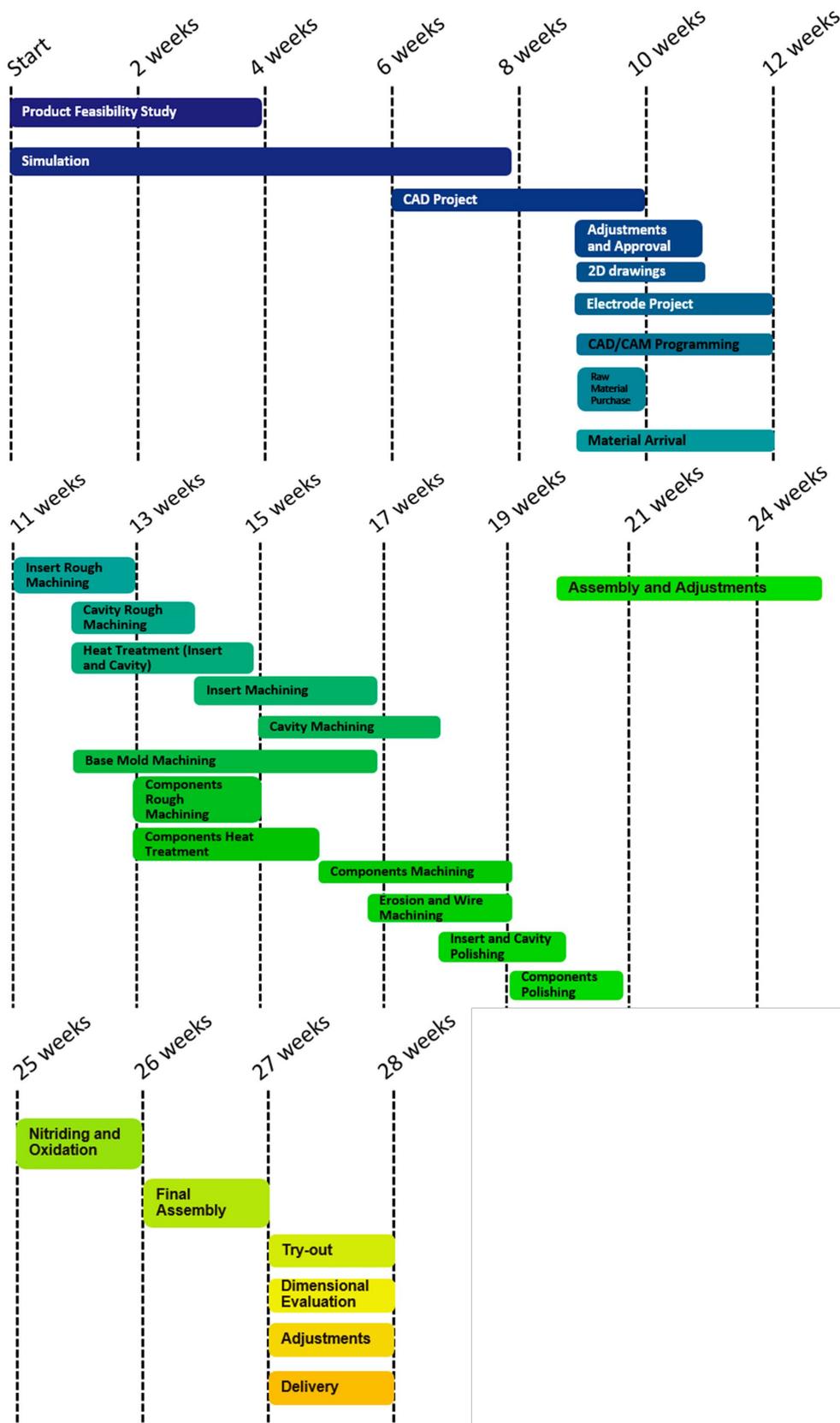


Figura A - 1. Cronograma de ferramentaria para construção de molde HPDC.

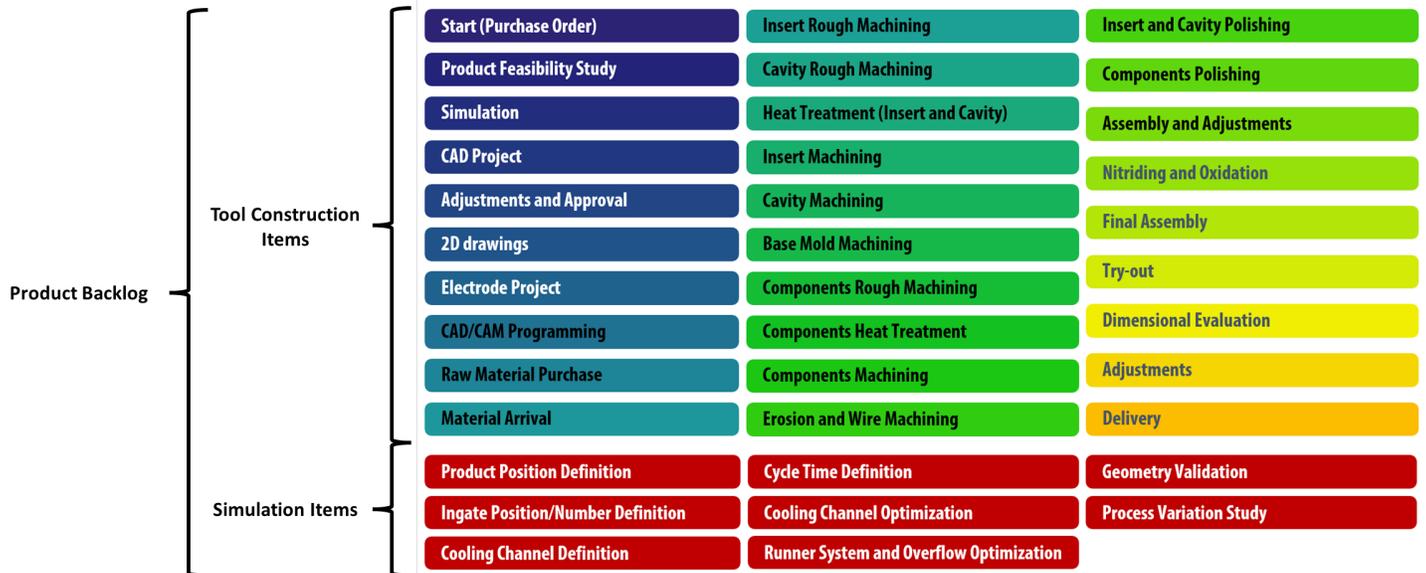


Figura A - 2. Backlog de produto, criado a partir da soma dos itens de construção da ferramenta com os itens do projeto de simulação.

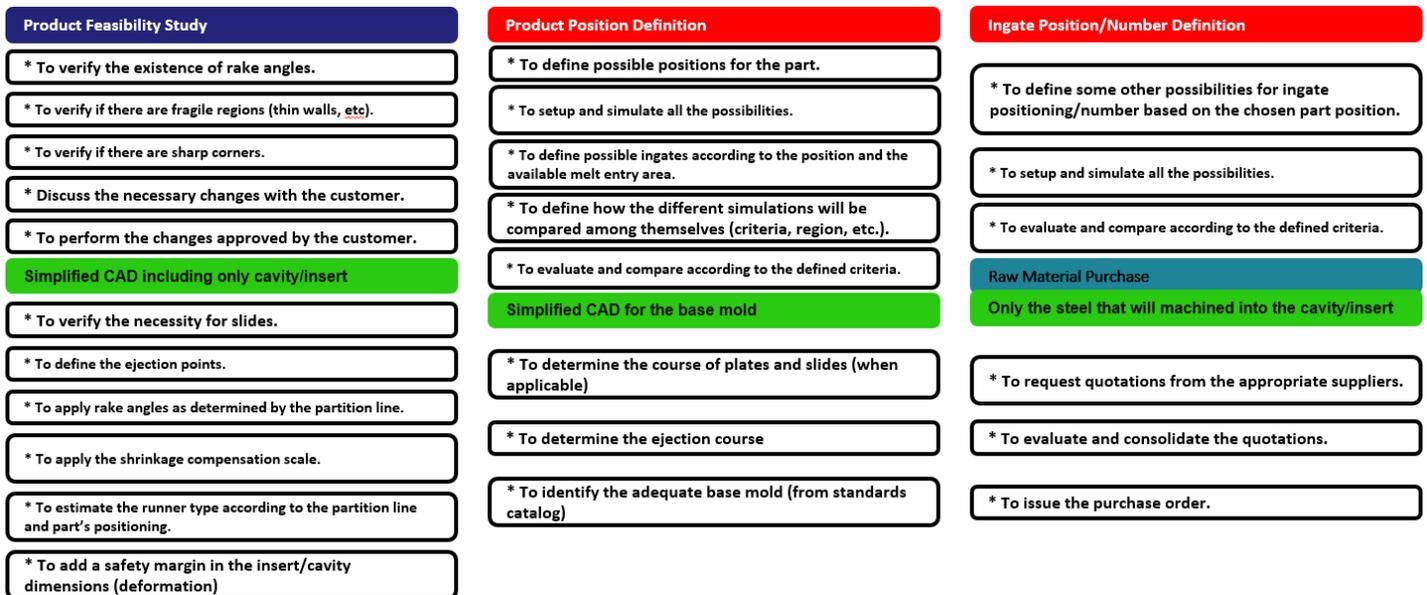


Figura A - 3. Detalhamento dos itens da 1ª Sprint e como fazê-los.

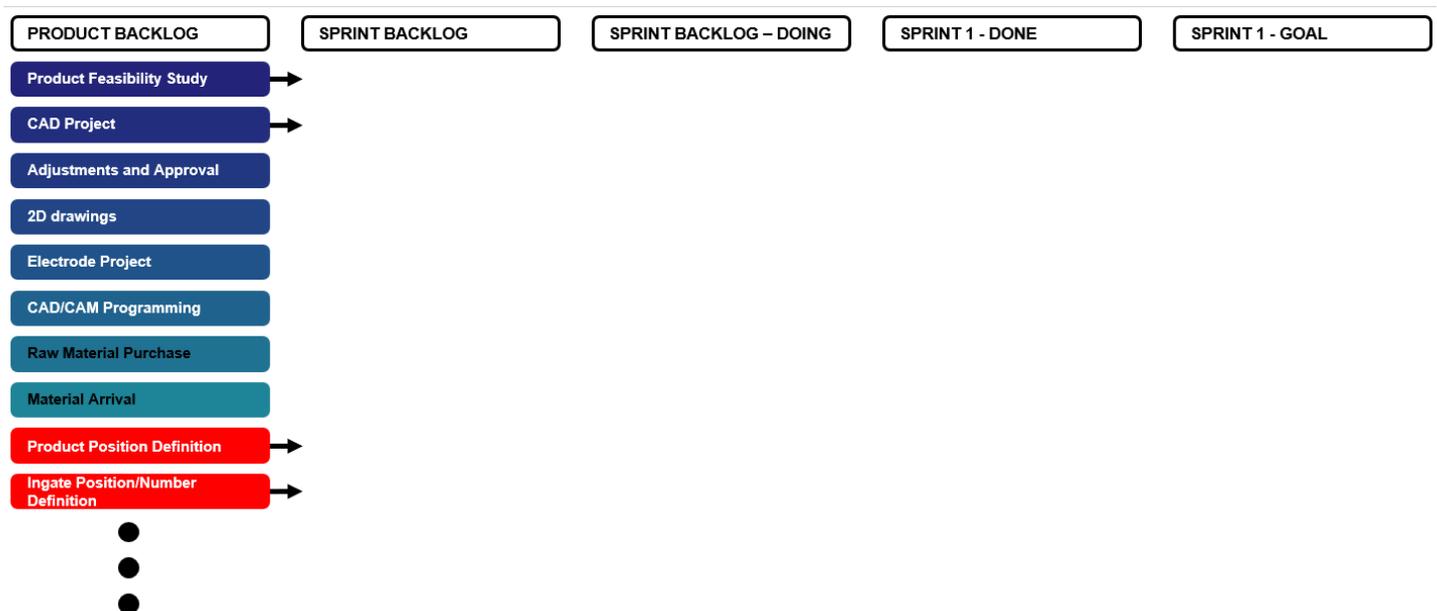


Figura A - 4. Quadro KANBAN com o backlog do produto. Os itens prioritários (o quê) serão movidos para o backlog da Sprint.

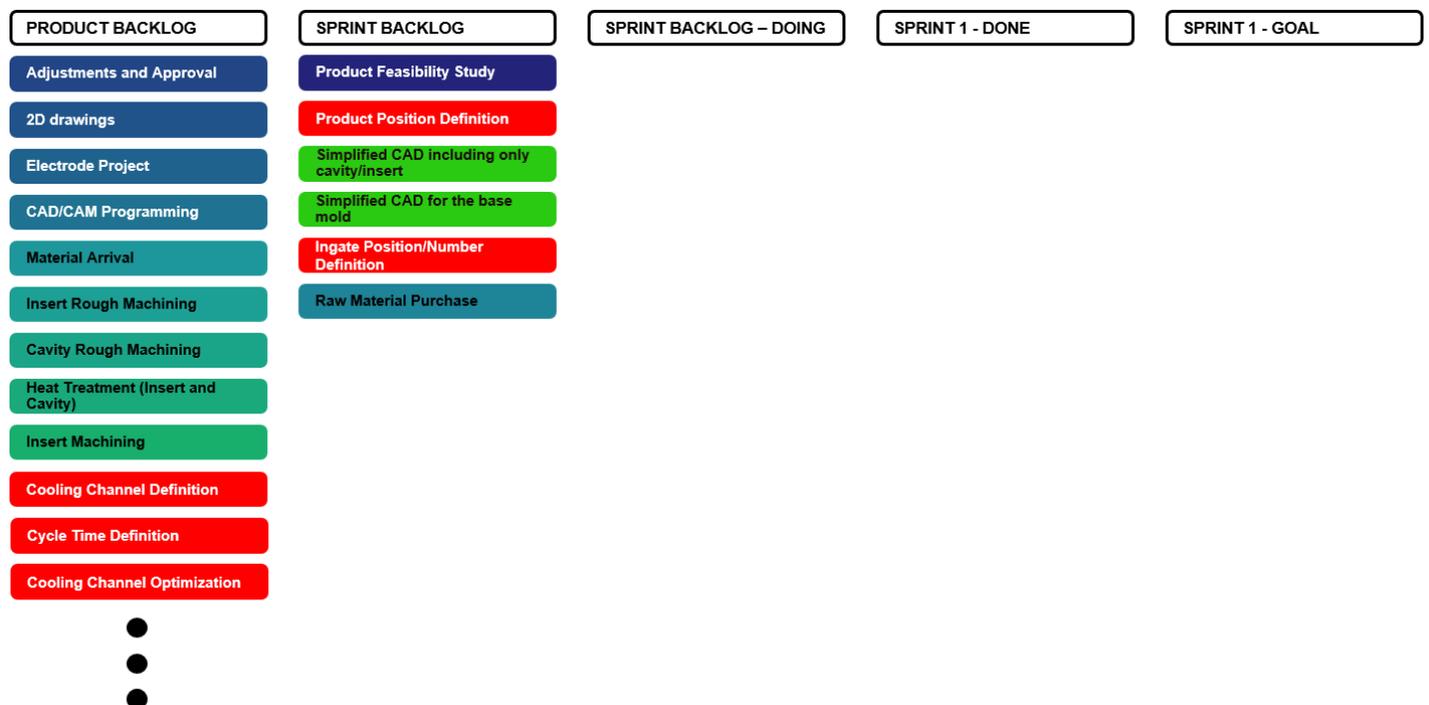


Figura A - 5. Quadro KANBAN depois que os itens do backlog da Sprint são movidos para a coluna correta.

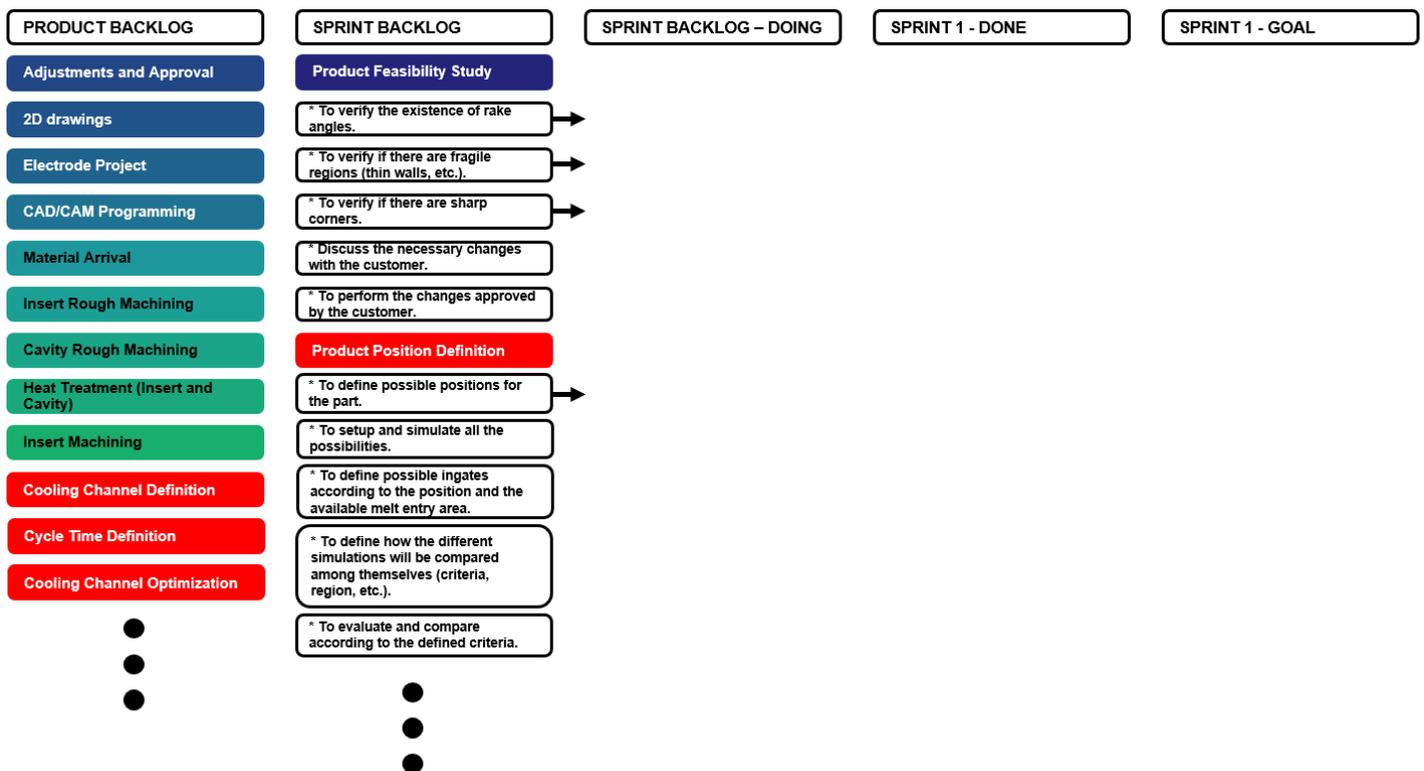


Figura A - 6. Detalhamento da primeira dos itens para completar o backlog da Sprint (como).

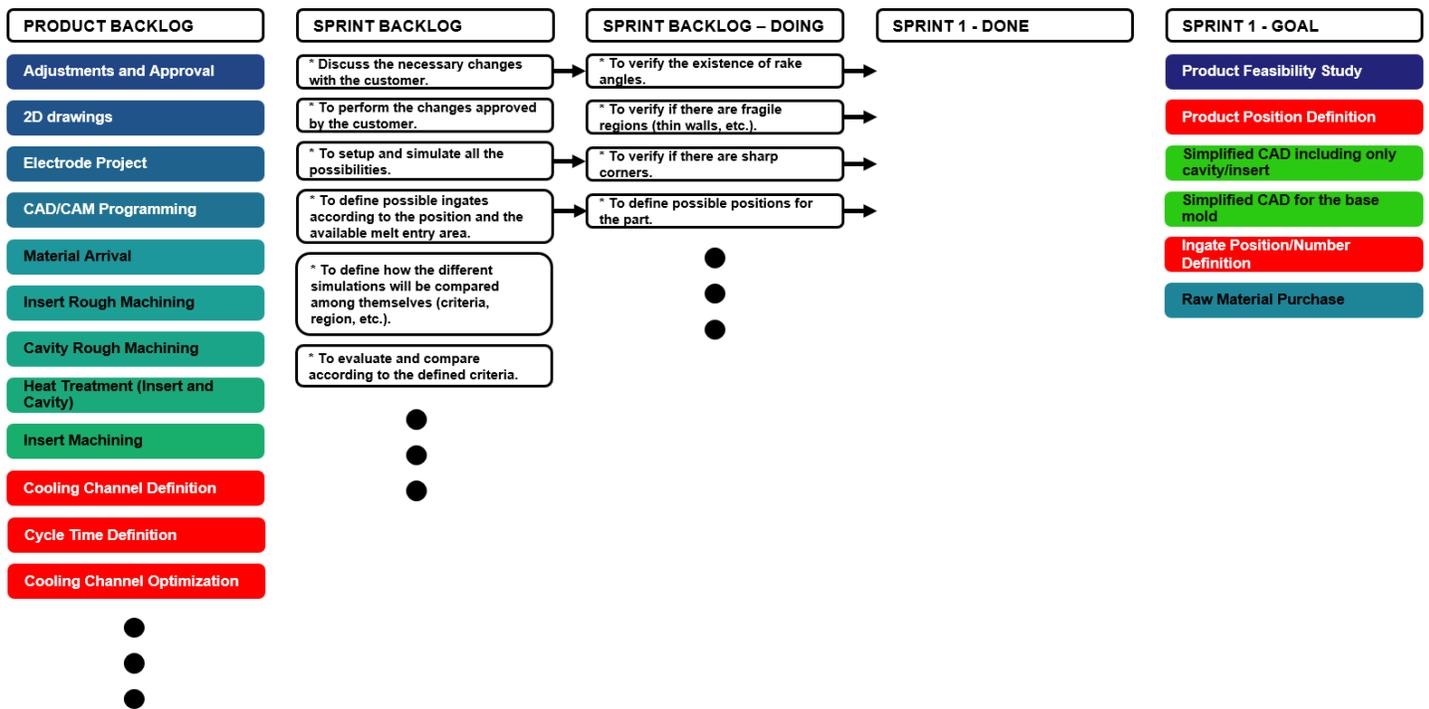


Figura A - 7. À medida que os itens vão sendo trabalhados pelos desenvolvedores, eles são movidos pelas colunas.

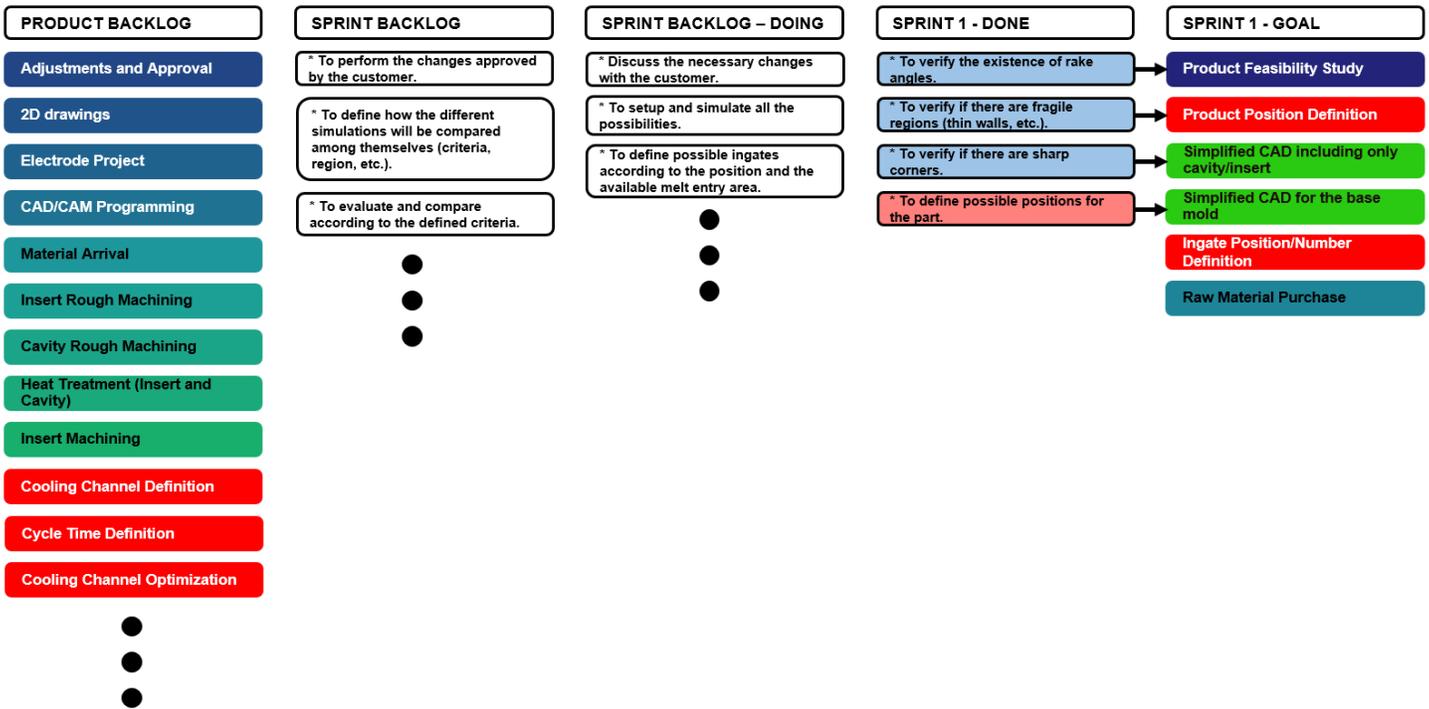


Figura A - 8. À medida que os itens ganham o status "concluído", permitem que outros itens (da mesma Sprint) sejam iniciados.

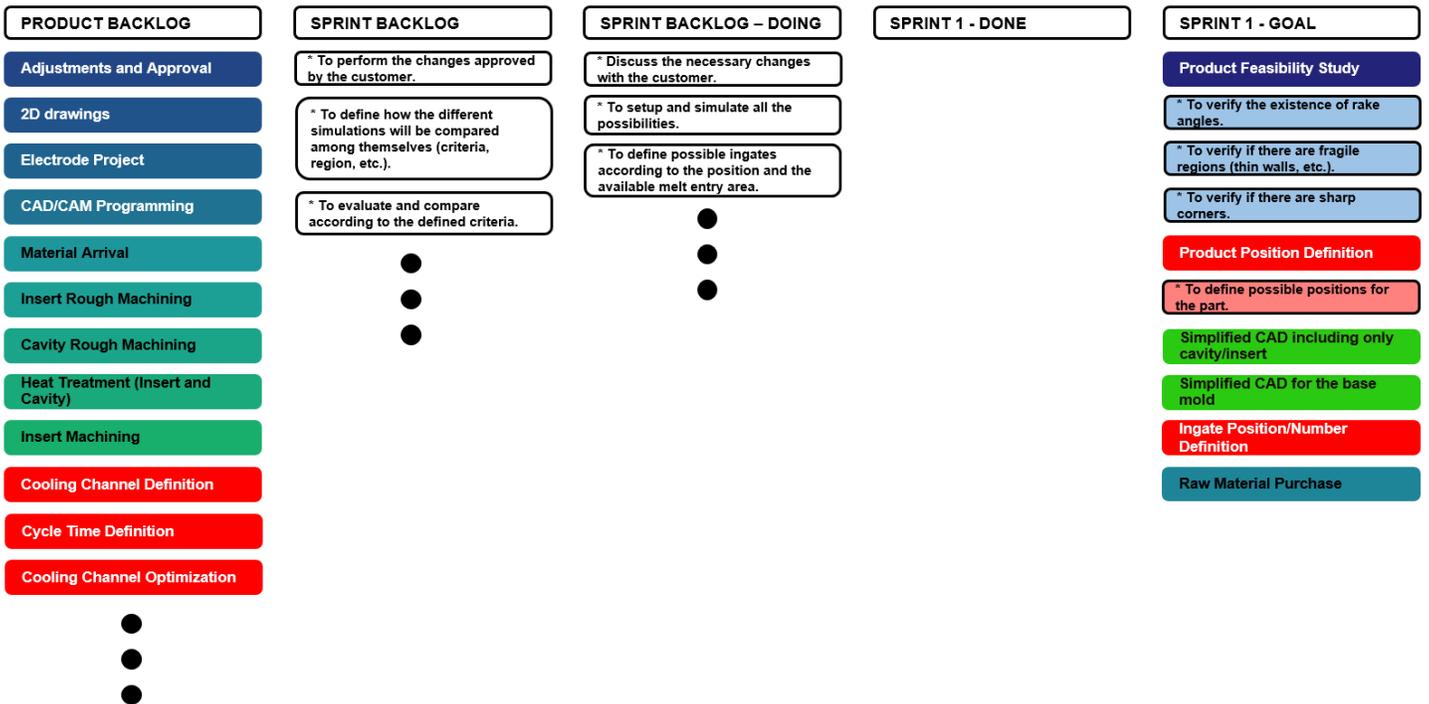


Figura A - 9. Quando todos os itens do sprint estiverem concluídos, o sprint em si estará concluído e o objetivo alcançado.

