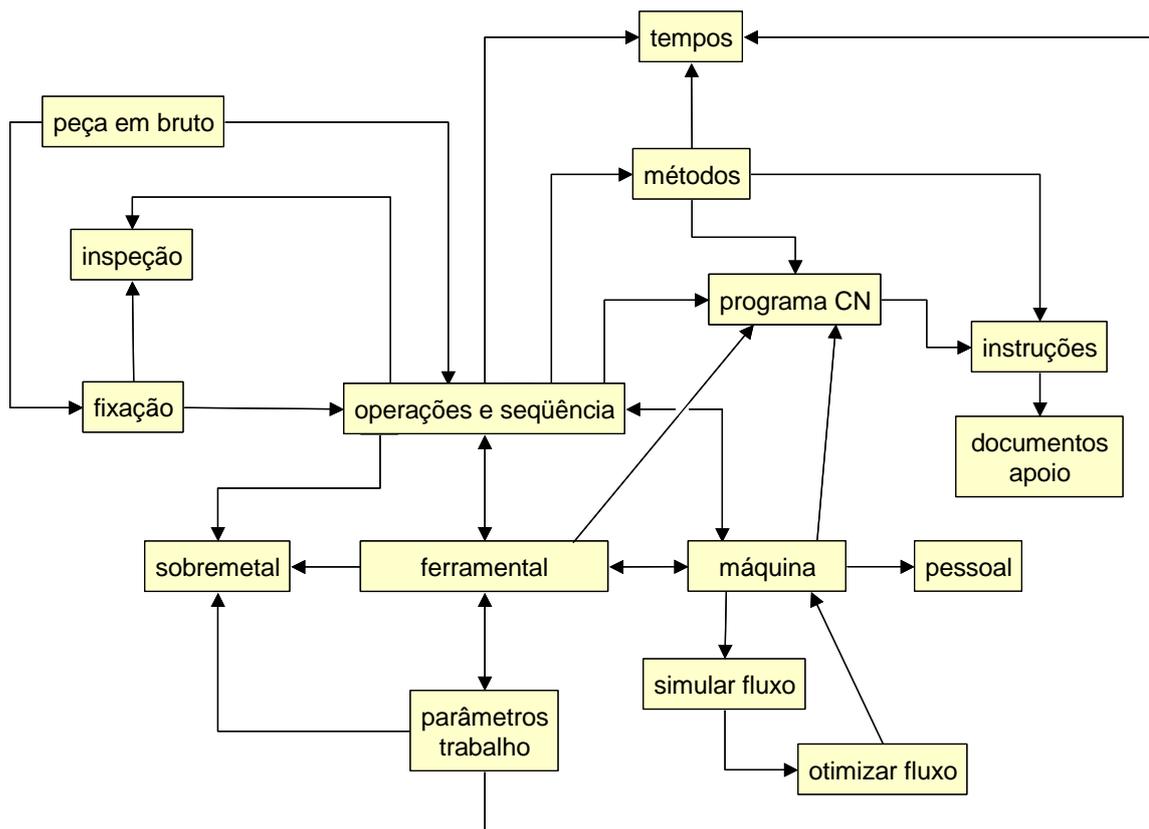


## O raciocínio no planejamento não acontece de forma linear

Normalmente, o planejamento do processo não acontece de forma linear. As informações obtidas possuem uma interdependência. Um processista experiente realiza a maior parte das inferências de forma aleatória, ou seja, utilizando uma lógica específica, que leva em consideração o tipo de peça, as condições de trabalho, sua experiência etc. Somente no momento da documentação dos resultados (edição do plano de processo) é que ele segue uma sequência linear. Mesmo assim, existem muitas variações. Para peças mais complexas, é comum se ver o processista “ficar olhando” para peça durante horas, antes de começar a editar o plano de processo. A Figura 8.1 procura apresentar a interdependência entre essas tarefas. Não vamos descrever essas interdependências, pois é um processo complexo de raciocínio e diferente para cada processista. Colocamos essa figura para ilustrar a dificuldade que existe em se sistematizar essas tarefas.



**Figura 8.1.** Interdependência entre as tarefas de planejamento de processo.

As descrições das tarefas, mostradas a seguir, estão relacionadas ao plano de processo de fabricação mecânica. No final desta seção, serão apresentadas algumas particularidades para outras tecnologias e do plano de processo de montagem.

### ***Definição e/ou avaliação da peça em bruto***

Uma das tarefas é a definição e/ou avaliação da peça em bruto, que normalmente já vem definida do projeto. Neste caso, durante o planejamento do projeto, verifica-se se o sobremetal existente entre a peça em bruto e a peça final é suficiente para que cada operação retire material suficiente. Porém, se só vier especificada a matéria-prima da peça, o planejamento de processo determinará a forma mais apropriada. Essa função é muito importante na fabricação de grandes lotes, nos quais as peças em bruto são forjadas. Nesses casos, procura-se atingir uma máxima capacidade de produção por meio da menor taxa de remoção possível de cavaco. Ressalta-se que, apesar de ser uma das tarefas iniciais, ela depende das demais tarefas para se calcular com precisão o sobremetal. Devido a isso, essa tarefa também é realizada novamente após a definição de todas as operações e seus sobremetals intermediários.

### ***Determinação das operações e sua sequência***

A determinação das operações e sua sequência é uma tarefa determinante para a definição das outras informações do plano de processo, mas ela também depende das demais informações (veja Figura 8.1). Ela deve estar em consonância com a sequência de processos de fabricação, definida nas fases anteriores, e também com o plano de processo macro existente. São as operações que fornecem ao componente suas características e funcionalidades desejadas por meio da obtenção das especificações críticas, que podem ser as dimensões ou outras características físicas e suas tolerâncias. O que limita a especificação das operações e sua sequência são os fatores econômicos, pois se deseja sempre obter um componente com o menor custo possível.

### ***Selecionar/Especificar máquinas e equipamentos***

A definição da máquina ou equipamento, que realiza uma operação, e a própria determinação da operação estão intimamente ligadas, pois as duas tarefas de planejamento do processo são realizadas praticamente em conjunto, e uma não existe sem a outra. As tolerâncias das especificações críticas do componente definem quais máquinas e equipamentos podem ser utilizados. A informação sobre o equipamento necessário é muito importante para se planejar a produção (em curto prazo) e se definir novos investimentos (em longo prazo). A informação sobre equipamento determina o posto de trabalho para a programação da produção. Os custos-padrão de cada posto de trabalho contribuem para o cálculo do custo de fabricação da peça (utilizado na atividade de decidir comprar ou fabricar).

Caso a operação seja feita em máquinas existentes na empresa, ela é simplesmente selecionada de uma base de dados e especificada no plano de processo. Se a máquina não existir, pode-se partir para sua especificação e compra (se for encontrada no mercado) ou especificação, projeto e fabricação (no caso de máquinas especialmente desenvolvidas para o SSC em questão).

### ***Selecionar/Especificar pessoal e habilidades***

Deve-se contar com pessoal qualificado para operar a máquina ou equipamento especificado. Isto é especialmente importante para quando existir uma dependência em relação à habilidade do operador. Esse é o caso mais freqüente nas operações de montagem.

### ***Especificar fixação***

A forma como se posiciona e fixa o componente na máquina ou equipamento determina a qualidade da operação de fabricação, pois, a partir dos sistemas da referência do componente, obtêm-se todas as cotas e tolerâncias.

### ***Especificar inspeção***

No planejamento de processo, também se determinam as operações de inspeção que são realizadas durante o processo produtivo. Essas operações devem medir os parâmetros de processo que determinam as especificações críticas do componente e, portanto, avaliam a capacidade do processo.<sup>1</sup> Com base nessas operações de inspeção, são montadas as folhas de Controle Estatístico do Processo (CEP),<sup>2</sup> que são utilizadas no momento de produção dos componentes.

### ***Selecionar/Especificar métodos***

Na realização de todas as operações podem ser utilizados métodos de fabricação, fixação, inspeção e montagem. Esses métodos podem ter sido padronizados pela empresa ou mesmo por instituições normativas. Nesse caso, eles são selecionados durante o planejamento do processo. Há também a possibilidade de se especificar novos métodos para a realização das operações citadas.

---

<sup>1</sup> Veja Quadro 9.2, sobre capacidade de processo.

<sup>2</sup> As folhas de CEP também são mencionadas no Quadro 9.2, sobre capacidade de processo.

O processo de soldagem de precisão e alto risco é um exemplo típico de métodos padronizados e que precisam ser reutilizados no detalhamento de uma . O método e também o soldador (a pessoa que realizará a soldagem) precisam estar certificados.

### *Selecionar e Especificar ferramental*

O termo “ferramental” abrange os dispositivos de fixação, de inspeção e as ferramentas de produção, que podem ser especiais ou universais.

A determinação do dispositivo de fixação é necessária para garantir a qualidade de fabricação. Em grandes séries, os dispositivos garantem também uma alta taxa de produção. Os dispositivos podem ser especiais, universais e modulares. Esses últimos são apropriados para os componentes de pequenas dimensões. Os dispositivos universais são aqueles que vêm como acessórios dos equipamentos, como: pinças, castanhas, cones etc. Os dispositivos especiais tomam bastante tempo do projeto e da fabricação, tornando-se muitas vezes o gargalo na fabricação de um lote de componentes (veja atividade descrita no Tópico **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A determinação de dispositivos bem antes do planejamento de operações é um outro desafio da Engenharia Simultânea. Antes de se terminar o detalhamento das operações do plano de processo, deve-se ter uma boa noção das características do dispositivo para que ele possa ser especificado, projetado ou comprado antes de se produzir o lote piloto (veja a atividade obter recursos de fabricação da fase de preparação da produção).

As ferramentas de inspeção envolvem o uso de ferramentas universais e também de ferramentas especialmente projetadas e fabricadas para a verificação de uma especificação crítica do componente resultante da fabricação.

A definição de ferramentas de produção está intimamente ligada à determinação de operações e influencia as demais funções do planejamento de processo, como cálculo dos parâmetros da operação e dos tempos de fabricação.

### *Calcular sobremetal*

Sobremetal representa o volume de material retirado por uma operação e é calculado somente na produção de grandes lotes, pois cada milímetro que se economiza na usinagem de um componente representa muito quando multiplicado pela quantidade de componentes. O sobremetal que uma operação deve retirar deve permitir que sejam eliminados os erros da

operação anterior e os da própria operação causados pela capacidade da máquina ou equipamento.<sup>3</sup>

### ***Calcular parâmetros de trabalho***

De forma geral, os parâmetros de trabalho compreendem os ajustes de máquinas e equipamentos, e as condições de usinagem, quando se tratar de processos de fabricação mecânica.

O cálculo das condições de usinagem depende essencialmente da ferramenta utilizada e do material da peça. Outros fatores são o acabamento superficial do componente, potência disponível na máquina etc. Em empresas organizadas, o processista determina essas informações com base nas informações contidas nos catálogos dos fabricantes de ferramentas. Há também a possibilidade de se calcular as condições de usinagem a partir de manuais de valores obtidos em ensaios de usinagem.<sup>4</sup> Em empresas maiores, que trabalham em alta série, o fabricante de ferramentas é consultado e realiza ensaios na própria empresa, com as condições e materiais de trabalho, a fim de estabelecer as especificações que necessárias. Podem acontecer muitos desvios devido à não homogeneidade dos materiais envolvidos e à falta de conhecimento de processo.

Outros tipos de parâmetros de trabalho são calculados com base em padrões e usam a referência de ensaios práticos.

### ***Descrever instruções de trabalho***

As instruções de trabalho são textos explicativos, cujo objetivo é mostrar detalhadamente ao operador como proceder na realização de uma operação, preparação da máquina ou equipamento, inspeção de um parâmetro de um componente e até mesmo de fixação do componente no dispositivo de fixação. Essa tarefa normalmente é repetitiva e ocupa bastante tempo do processista. Para minimizar este desperdício de tempo, trabalha-se com textos-padrão pré-definidos que são reutilizados na edição de novas instruções.<sup>5</sup> As

---

<sup>3</sup> Para uma consulta mais aprofundada sobre o cálculo de sobremetal, consulte THIMM, G.; BRITTON, G. A.; FOK; S. C, 2004. A carta de tolerância de fabricação é uma técnica utilizada para apoiar o cálculo de sobremetal.

<sup>4</sup> Um dos exemplos clássicos é o Machining Data Handbook, 1980. Os valores contidos nesses manuais, no entanto, foram obtidos em ensaios controlados, e dificilmente suas condições práticas são as mesmas, devendo então ser adaptados para cada realidade. Os fabricantes de ferramentas oferecem catálogos de seus produtos com a indicação de parâmetros de usinagem apropriados para cada tipo de operação. Esses catálogos servem para as aplicações normais. Eles possuem versão na web (veja <http://www.sandvik.com>). Em aplicações especiais, deve-se contatar o fabricante, para se realizar ensaios na própria empresa, quando possível.

<sup>5</sup> Leia sobre textos-padrão no Quadro sobre sistemas CAPP.

instruções complementam as possíveis explicações existentes nos métodos-padrão adotados para a realização de diversos tipos de operações.

### ***Ilustrar operações***

Como se diz, “uma figura ilustra mais do que 100 palavras”. As instruções de trabalho podem ser complementadas ou mesmo substituídas por ilustrações de diversos tipos, como: croquis, desenho CAD, filmes, animações. Esta tarefa exige uma integração entre sistemas gráficos e sistemas CAPP.<sup>6</sup>

### ***Obter programa CN***

Toda vez que uma operação for realizada em uma máquina CNC, deve-se obter o programa CN. Esta tarefa equivale praticamente à definição de operações, seu sequenciamento e seleção de ferramentas, mas sua principal função é calcular o trajeto da ferramenta e especificá-lo em um formato particular da máquina CNC, na qual a operação será realizada.<sup>7</sup>

### ***Criar informações / documentos de apoio ao operador***

As informações de detalhamento de uma operação, instruções, ilustrações devem ser registradas em documentos que, na maior parte das empresas, ficam ao lado dos postos de trabalho, contribuindo assim para a garantia da qualidade do trabalho. O formato desses documentos varia de empresa para empresa e precisa ser elaborado de forma que as informações sejam acessíveis para os operadores, preparadores de máquina etc.

Há atualmente vários casos de empresas que não colocam mais os documentos ao lado dos postos de trabalho, utilizam terminais gráficos e mesmo a *web*, que inclusive podem conter filmes que mostram, por exemplo, como se deve montar um equipamento. Deve-se, nesses casos, estudar qual o melhor formato para mostrar as informações do plano de processo e seus detalhamentos ao operador das máquinas e equipamentos.

### ***Calcular tempos de fabricação e montagem***

Os tempos de fabricação e montagem podem ser calculados por meio de diversos métodos. Um dos métodos utiliza padrões de movimentos e tempos elementares. Ele é mais apropriado para se calcular o tempo que envolve as pessoas. Analiticamente, pode-se calcular

---

<sup>6</sup> Sistemas CAPP são os sistemas que apóiam o planejamento do processo (veja Quadro 8.21).

<sup>7</sup> Pode-se automatizar o cálculo da trajetória da ferramenta por meio de sistemas CAD/CAM ou mesmo editores gráficos de programação CN.

o tempo gasto com a usinagem em função dos parâmetros de trabalho (especificamente, a velocidade de avanço) e do caminho a ser percorrido pela ferramenta. Quando se trabalha em máquinas CNC, o tempo de fabricação pode ser calculado com certa precisão por meio da simulação do processo. Mas não podemos esquecer que o tempo de fabricação é somente um dos componentes do tempo-padrão da operação. A forma mais tradicional de se calcular esses tempos é por meio do estudo de tempos em métodos baseados em cronometragem da operação. Esse método tem a desvantagem de se obter o tempo somente após a realização da operação. Na fase de projeto detalhado, necessita-se ter uma noção relativamente precisa do tempo, pois eles são utilizados na determinação da carga de máquinas e dos custos de produção.<sup>8</sup> A programação da produção utiliza ainda, em alguns casos, esses tempos.<sup>9</sup>

### *Otimizar fluxo de produção*

Com as informações das operações e máquinas ou equipamentos, pode-se analisar o fluxo da produção resultante da produção de um lote do produto em desenvolvimento, quando as máquinas já existirem. Nesse caso, deve-se verificar também os outros produtos e seus componentes que utilizam as mesmas máquinas. No caso de novas instalações, é mais simples avaliar o fluxo de produção. A otimização realizada nessa fase é analítica. Existem muitos algoritmos que podem ser usados.<sup>10</sup> Uma outra possibilidade é se aplicar ferramentas de simulação<sup>11</sup> (veja Quadro 8.20, sobre manufatura virtual). Na fase de preparação — depois que os equipamentos chegarem à empresa, ou no caso de instalações existentes — quando for fabricado o lote piloto, existe a possibilidade de se otimizar o fluxo novamente de forma prática.

---

<sup>8</sup> Entenda-se aqui custos pré-determinados para a tomada de decisões gerenciais, e não custos contábeis. No entanto, os custos contábeis podem utilizar os padrões de tempos do plano de processo se eles forem confiáveis e se a empresa adotar o método de custo-padrão.

<sup>9</sup> Os tempos utilizados na programação da produção (quando for o caso, pois em algumas empresas não se usam os tempos para se programar, principalmente se a empresa trabalhar com a filosofia da programação puxada — leia mais sobre produção puxada em WOMACK, 1996) podem ser diferentes daqueles utilizados para o cálculo do custo (leia mais sobre cálculo de custo em CROW, 1999). Quando se planeja a produção e define-se o *lead time* do componente, os tempos dos planos de processo devem ser acrescidos aos tempos de transporte do material entre as máquinas e os tempos de fila em uma máquina (leia mais sobre *lead time* em CORREA, 2001). Na programação fina da produção, utilizam-se os tempos dos planos de processo, adotando-se ainda uma política de superposição entre as operações (leia mais sobre programação fina da produção em CORREA, 2001). Na *lean production*, os tempos não são usados para a programação, mas para o cálculo do *takt time*, que define o ritmo de produção de uma célula de fabricação com base na demanda do cliente (leia mais no quadro sobre *lean production* e, em WOMACK, 1996, sobre o cálculo de *takt time*).

<sup>10</sup> Veja no trabalho MUTHER uma lista de métodos de otimização de leiaute.

<sup>11</sup> Leia em PORTO, 2000, exemplos de aplicação de ferramentas de simulação na otimização de fluxo de produção.

Na indústria automotiva, algumas montadoras adotam um padrão de qualidade, que exige de certos clientes o envio dos estudos de análise de fluxo de produção, para verificar se eles otimizaram o fluxo e assim diminuíram o custo de fabricação dos componentes que eles recebem.<sup>12</sup>

### ***Simular processo de fabricação***

O processo de fabricação pode ser simulado de diversas formas. Basicamente, o objetivo da simulação é antever os problemas das operações e tentar otimizar o processo. Pode-se simular desde o caminho da ferramenta de um programa CNC, como o fluxo de material em um processo de injeção plástica. Utiliza-se atualmente a realidade virtual no contexto mais amplo da manufatura virtual para se simular os processos e, ao mesmo tempo, obter-se a sua visualização.

### ***Atualizar a BOM***

Atualmente, a estrutura do produto contém não somente os SSCs, como também todas as operações do plano de processo dos componentes fabricados, operações de montagem dos sistemas e subsistemas, e a documentação associada a eles.<sup>13</sup> A tarefa de se atualizar a BOM (bill of material, estrutura do produto, lista de materiais) garante a criação de uma BOM única dentro da empresa (veja Quadro 8.10, sobre tipos de BOM). Na Figura 8.2, pode-se observar o exemplo de uma BOM com os documentos do plano de processo associados a um item.

### ***Planejamento de outros tipos de processos***

As tarefas apresentadas tiveram sua ênfase no processo de fabricação mecânica. O planejamento dos processos de fabricação metalúrgicos e de fabricação de componentes eletrônicos injetados contém praticamente as mesmas tarefas. A diferença está nas ferramentas, máquinas e equipamentos utilizados; nos detalhes que são diferentes; e nas mudanças das características de processo e seus parâmetros. Por exemplo, não há o cálculo de sobremetal no processo de injeção plástica. Além disso, outros parâmetros são importantes, como a pureza da peça injetada.

---

<sup>12</sup> Observe o manual do Plano de Aprovação de Peças de Produção (PAPP) da QS 9000, para submissão de peças aos clientes. HOYLE, 1997.

<sup>13</sup> No trabalho de OLIVEIRA, 1999, encontra-se uma apresentação completa dos tipos de estrutura de produto existentes.

### *Planejamento de operações de montagem*

A maior diferença do planejamento de operações de montagem está na característica deste processo e seus parâmetros. Na montagem de subsistemas eletro-eletrônicos, existe uma grande possibilidade de automação, e a especificação das máquinas, na maior parte das vezes, é especial para cada caso. Em regra, todavia, as operações de montagem são realizadas com a intervenção de um operador e o planejamento da montagem precisa considerar as particularidades de ergonomia e saúde no trabalho. As mesmas tarefas acontecem, mas são utilizados métodos distintos.<sup>14</sup>

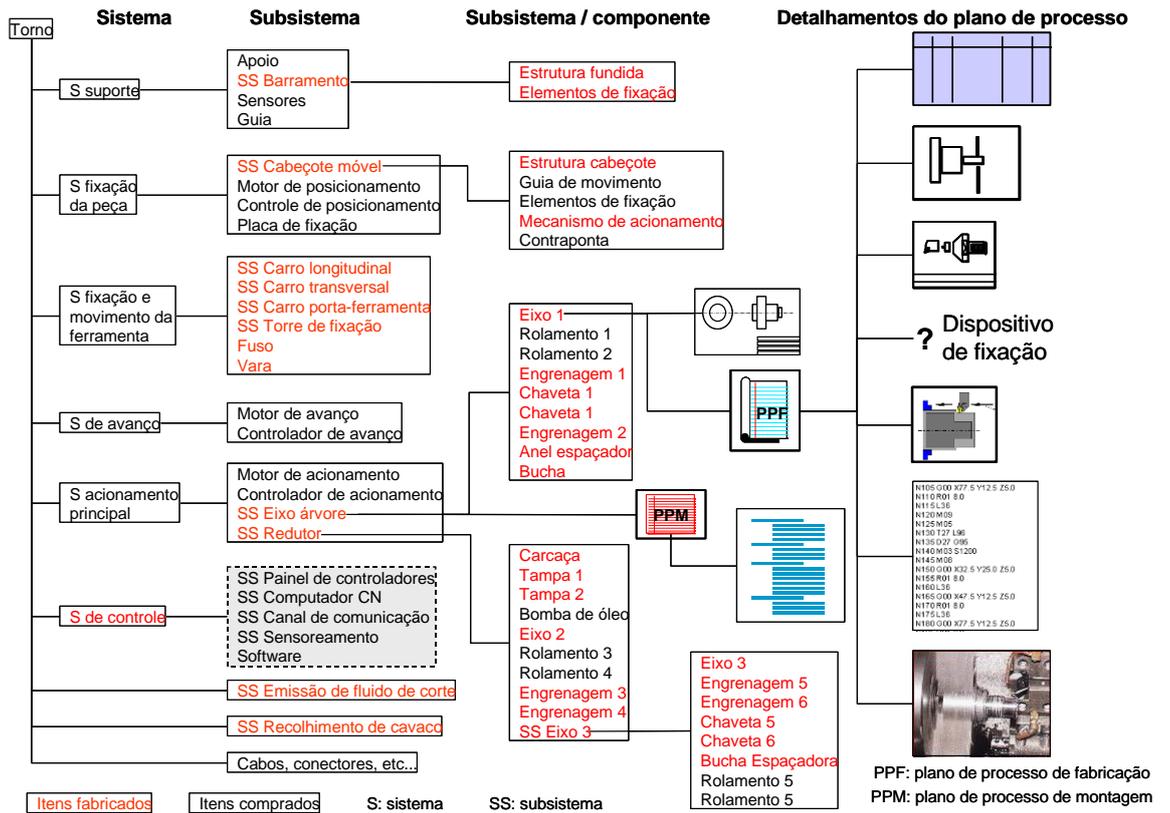
Pode-se aumentar a produtividade da realização dessas estratégias de planejamento de processo, realizadas de forma manual, por meio da aplicação de sistemas Computer Aided Process Planning (CAPP), como mostra o quadro correspondente. Situação do exemplo do torno, após a finalização do planejamento do processo

Na Figura 8.2, apresenta-se a estrutura do torno, com seus documentos associados, após a atividade de planejamento de processo. Mostramos o plano de processo somente de um componente, o eixo 1, que faz parte do subsistema do eixo-árvore. Podemos observar na figura, na sequência de cima para baixo, os seguintes exemplos de detalhamento do plano macro: folha de instruções de preparação da máquina, gráfico de inspeção, folha de montagem da ferramenta, ilustração de uma operação, programa CN e uma foto ilustrando a fixação do eixo na máquina em trabalho. Parte desses detalhamentos listados relaciona-se com uma operação do plano macro. Isso quer dizer que o plano de processo do eixo possui ainda muitos outros documentos não representados na figura. Repare que, para o item pai do eixo, o subsistema do eixo árvore, foi criado um plano de processo de montagem, que indica a sequência das operações de montagem, as estações de montagem, e o tempo de montagem. Além disso, foi colocado, a título de ilustração, um documento de instruções de montagem, relacionado com uma das operações.

Falta agora o projeto do dispositivo de fixação para inspeção. Ele já foi especificado e a sua identificação está criada na estrutura de documentos do plano de processo, mas ele ainda não foi projetado. Durante o seu projeto, descrito na próxima atividade, pode surgir a necessidade de atualização do plano de processo.

---

<sup>14</sup> Sobre planejamento do processo de montagem, leia WANG, 1991.



**Figura 8.2.** Exemplo do torno após a atividade de planejamento do processo.