

# RECOMENDAÇÕES

## Setor de Máquinas e Equipamentos

n. 3



Brasília 2005



# **RECOMENDAÇÕES**

**Setor de Máquinas e Equipamentos**

## **Confederação Nacional da Indústria – CNI e Conselho Nacional do SENAI**

*Armando de Queiroz Monteiro Neto*  
Presidente

### **SENAI - Departamento Nacional**

*José Manuel de Aguiar Martins*  
Diretor-Geral

*Regina Maria de Fátima Torres*  
Diretora de Operações



*Confederação Nacional da Indústria  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional*

# RECOMENDAÇÕES

## Setor de Máquinas e Equipamentos

n. 3

Brasília 2005



Modelo SENAI de Prospecção

Série Antena Temática

© 2005. SENAI – Departamento Nacional

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

### **UNITEP – Unidade Tendências e Prospecção**

Para a elaboração deste documento contribuíram, de forma decisiva, os especialistas em prospecção tecnológica e organizacional, cuja relação encontra-se ao final deste documento.

#### Ficha Catalográfica

---

C328r

Caruso, Luiz Antonio Cruz.

Recomendações: máquinas e equipamentos / Luiz Antonio Cruz Caruso e Marcello José Pio. – Brasília : SENAI/DN, 2005.

77 p. : il. ; 29 cm. (Série Antena Temática , 3)

ISBN 85-7519-135-7

1. Máquinas e Equipamentos 2. Educação Profissional I. Título II. Série

CDU 67.05

---

#### **SENAI**

Serviço Nacional de  
Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional

#### **Sede**

Setor Bancário Norte  
Quadra 1 – Bloco C  
Edifício Roberto Simonsen  
70040-903 – Brasília – DF  
Tel.: (061) 317-9000  
Fax: (061) 317-9190  
<http://www.senai.br>

# SUMÁRIO

## Apresentação

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Modelo SENAI de Prospecção</b>	<b>15</b>
2.1	Estimativa da quantidade de trabalhadores qualificados	15
2.2	Identificação de mudanças prováveis no perfil da ocupação	15
2.3	Identificação de mudanças prováveis na oferta de educação profissional (cursos regulares e de requalificação)	16
2.4	Instituições participantes	17
<b>3</b>	<b>Análise Setorial e Tendências Tecnológicas</b>	<b>19</b>
3.1	A dinâmica do setor de máquinas e equipamentos	19
3.2	Impacto das inovações nos setores usuários na demanda por máquinas-ferramenta	20
3.2.1	Setor automotivo	20
3.2.2	Setor aeronáutico	23
3.3	Histórico recente das inovações no setor de máquinas e equipamentos	23
3.3.1	Tecnologias emergentes	26
3.4	Conclusões	27
<b>4</b>	<b>Demanda por Recursos Humanos: Aspectos Quantitativos</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Mudanças Prováveis em Perfis Ocupacionais</b>	<b>35</b>
5.1	Prospecção tecnológica	35
5.2	Prospecção organizacional	39
5.2.1	Resultados	40
5.3	Ocupações emergentes e em evolução	42
5.4	Impactos ocupacionais – estudos de caso	44
5.4.1	Resultados	45
<b>6</b>	<b>Mudanças Prováveis na Educação Profissional</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Recomendações</b>	<b>53</b>
7.1	Introdução	53
7.2	Recomendação geral	54
7.2.1	Formas de divulgação	54
7.3	Recomendações específicas	57

7.3.1 Oferecimento de cursos e certificações	57
7.3.2 Proposta para desenho curricular dos cursos e nova especializações	58
7.3.3 Oferecimento de cursos de educação continuada	61
7.3.4 Implementação de pesquisa sobre as novas tecnologias	63
<b>8 Relação de Especialistas e de Tecnologias Emergentes</b>	
8.1 Especialistas: Prospecção Tecnológica	65
8.2 Tecnologias Emergentes Específicas: 1a Rodada	67
8.3 Especialistas: Prospecção Organizacional	71
8.4 Participantes do Grupo de Prospecção e Monitoramento - GPM	73
8.5 Participantes dos Observatórios (SENAI)	75
<b>Referências</b>	<b>77</b>

# Lista de Ilustrações

Quadro 1 – Resumo das principais ações do Modelo SENAI de Prospecção	16
Figura 1 – Esquema geral do Modelo SENAI de Prospecção	17
Figura 2 – Efeitos das inovações em produtos sobre a utilização de MF	22
Gráfico 1 – Grau de instrução dos trabalhadores do setor de máquinas e equipamentos – 1994, 1998 e 2002	32
Tabela 1 – Projeção de emprego dos Estados com maior crescimento esperado	33
Tabela 2 – Projeção de crescimento por ocupação: ocupações mais dinâmicas	33
Quadro 2 – Projeção de crescimento por ocupação: ocupações menos dinâmicas ou estáveis	34
Quadro 3 – Tecnologias emergentes específicas escolhidas	37



# Apresentação

Nos dias 17 e 18 de novembro de 2004 realizou-se em São Leopoldo, RS, a Antena Temática para o setor de máquinas e equipamentos. Este evento é parte integrante do Modelo SENAI de Prospecção, o qual tem por objetivo prever a necessidade futura de mão-de-obra qualificada. A Antena Temática é uma etapa analítica na implementação do Modelo. Nela são discutidos os resultados da dimensão quantitativa da demanda (análise de tendências ocupacionais) e da dimensão qualitativa da demanda, a qual se refere às prováveis mudanças em perfis ocupacionais e na educação profissional. Com base na identificação destas prováveis mudanças, a Antena Temática formula Recomendações referentes ao setor em questão, disponibilizando-as para as áreas de educação e de tecnologia do Departamento Nacional (DN) e dos Departamentos Regionais (DRs), e para todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para alcançar esses resultados.

O documento que ora se apresenta registra as Recomendações referendadas pelo Grupo de Prospecção e Monitoramento (GPM) – grupo estratégico do projeto, composto por representantes de Departamentos Regionais do SENAI. Ressalta-se que tais informações estratégicas serão encaminhadas a diferentes fóruns de discussões sobre a cadeia produtiva analisada.

*José Manuel de Aguiar Martins*  
Diretor-Geral



# 1 Introdução

Ao longo das últimas décadas as mudanças estruturais e tecnológicas, produtivas e organizacionais têm afetado o mundo do trabalho. Tais mudanças, conceituadas por muitos como Terceira Revolução Industrial, vêm provocando uma reestruturação significativa dos fluxos produtivos. Este fenômeno tem como pano de fundo o crescimento do desenvolvimento tecnológico visando ao aumento da produtividade e da competitividade e à constituição de um mercado de trabalho cada vez mais competitivo e seletivo. Isto pode ser observado pelas mudanças verificadas desde o modelo *fordista* até os atuais sistemas flexíveis de produção.

Este processo de globalização econômica tem como um de seus principais focos o desenvolvimento, comercialização e utilização de tecnologias de elevado valor agregado, que tem eliminado, de forma constante, as vantagens comparativas baseadas no baixo custo da mão-de-obra e na abundância de matérias-primas.

Esta nova estratégia competitiva, baseada no processo de inovação tecnológica, tem influenciado consideravelmente a quantidade, a estruturação dos empregos e a alteração dos perfis profissionais, uma vez que o desenvolvimento e o estabelecimento de uma estrutura produtiva avançada, do ponto de vista tecnológico, vão além do oferecimento de incentivos financeiros e fiscais. Esta ação engloba a existência de uma força de trabalho capaz de atender aos novos paradigmas estruturais e tecnológicos vigentes e futuros.

Além disso, as mudanças organizacionais experimentadas pelas empresas, tais como reengenharia, produção enxuta, sistemas de qualidade e gerenciamento de redes, geram estruturas institucionais mais complexas, as quais modificam a estrutura do trabalho e, por conseguinte, as exigências de qualificação profissional. Como exemplo, pode-se considerar que em um processo de desverticalização com o uso das tecnologias da informação e comunicação existe a tendência de ocorrer uma ruptura no processo de comunicação, e as estruturas passam a ser vistas pela perspectiva horizontal.

Esta nova forma de fluxo da comunicação, além de alterar a estrutura organizacional, modifica a realização dos processos e até mesmo afeta a relação das pessoas por meio da comunicação efetuada em redes de computadores.

Este novo cenário tem interposto um perfil profissional que requer, de forma geral, o uso pleno dos sistemas de comunicação, a interpretação de dados, a flexibilização das atividades, a integração com os diversos níveis ocupacionais e a geração, interiorização e troca de conhecimentos múltiplos. Além disso, existe uma busca crescente por profissionais que estejam aptos a interpretar informações estruturadas e semi-estruturadas, trabalhar com sistemas automatizados e ter uma postura mais ativa, participando mais amplamente dos processos produtivos devido ao seu perfil mais polivalente. De forma sintética, considera-se que o moderno trabalhador deverá, cada vez mais, ser capaz de utilizar suas habilidades profissionais de modo integrado às suas características pessoais e vivências socioculturais. O trabalhador do modelo *taylorista-fordista* não atende mais às exigências atuais do sistema produtivo, uma vez que a especialização, sem agregação de conhecimento, perde cada vez mais significado com o advento dos sistemas inteligentes.

Dentro deste contexto de mudanças nos perfis profissionais ligados aos sistemas produtivos, é fundamental para uma instituição de formação profissional possuir ferramentas para acompanhar, de forma antecipativa, tais alterações.

Vale lembrar que para uma instituição com estas características, a demanda de mão-de-obra qualificada na fase de expansão econômica pode ser atendida considerando a formação de novos profissionais, a requalificação de trabalhadores deslocados de suas funções tradicionais ou daqueles que se encontram sob ameaça de perda de emprego.

Contudo, deve-se lembrar que os esforços de capacitação profissional irão depender da extensão do ciclo de expansão da economia, do tipo de mão-de-obra requerida pela demanda, e da mão-de-obra que foi sendo desligada pelas empresas, na fase anterior à do ciclo expansivo.

Para tratar das questões relacionadas às possíveis mudanças em perfis ocupacionais, o Sistema SENAI, em conjunto com alguns dos principais centros acadêmicos do País, desenvolveu o Modelo SENAI de Prospecção, que tem por objetivo geral prever a necessidade futura de mão-de-obra qualificada na indústria e que será visto em todas as suas etapas no documento em questão.

### **Estruturação do Documento**

O presente documento é composto por oito tópicos. No tópico 2, o Modelo SENAI de Prospecção é apresentado juntamente com suas dimensões de estudo/pesquisa. As características estruturais, econômicas, comerciais e tecnológicas do setor são apresentadas no tópico 3. O tópico 4 refere-se à demanda por recursos humanos no setor de máquinas e equipamentos considerando aspectos de cunho quantitativo, enquanto que o tópico 5 trata do perfil das ocupações sob os aspectos tecnológicos e organizacionais e das ocupações emergentes. O tópico 6 observa as mudanças prováveis na educação profissional, através dos estudos de impactos ocupacionais e estudos comparados de educação profissional em outros países. As Recomendações, oriundas das análises de todos os estudos anteriores e geradas na Antena Temática, são mostradas no tópico 7. A relação nominal dos especialistas participantes do Estudo de Prospecção Tecnológica e das Tecnologias Emergentes Específicas consideradas na 1ª rodada da pesquisa Delphi são apresentadas, respectivamente, nos tópicos 8.1 e 8.2.

A relação de especialistas participantes do Estudo de Prospecção Organizacional é mostrada no tópico 8.3.

As relações nominais dos participantes das outras etapas do modelo são apresentadas nos tópicos 8.4 e 8.5.



## 2 Modelo SENAI de Prospecção

Considerando que o seu principal foco é a formação de mão-de-obra qualificada, o SENAI teria uma considerável vantagem competitiva se seus tomadores de decisão passassem a conhecer, antecipadamente, a demanda por mão-de-obra qualificada. Isto possibilitaria uma melhor preparação do SENAI na oferta de tal mão-de-obra, reduzindo os efeitos negativos trazidos por sua ausência, especialmente nas fases de crescimento econômico, no qual sua intensidade é maior. Além disso, a antecipação de possíveis mudanças nos setores estudados pode vir a gerar uma série de serviços tecnológicos a serem ofertados pelo SENAI.

No Modelo SENAI de Prospecção esta necessidade de mão-de-obra qualificada é considerada nas seguintes dimensões:

### 2.1 Estimativa da quantidade de trabalhadores qualificados

Tem por objetivo identificar a taxa esperada de crescimento de ocupações qualificadas, em setores industriais escolhidos, com base na:

- Realização de estimativas da variação da demanda final e projeção da variação no emprego por setor.
- Realização de estimativas da variação do emprego por ocupação, em setores escolhidos e nos Estados.

### 2.2 Identificação de mudanças prováveis no perfil da ocupação

Tem por objetivo identificar mudanças prováveis no perfil profissional de ocupações qualificadas, por meio da:

- Realização de um estudo de prospecção sobre tecnologias emergentes específicas (TEEs) para setores industriais para um período de 5 a 10 anos e de uma análise de mudanças ocupacionais.

- Realização de um estudo de prospecção sobre novas formas de organização do trabalho para setores industriais para um período de 10 anos e de uma análise de mudanças ocupacionais.
- Identificação de ocupações e funções que estão emergindo em outros países, bem como de uma análise para se verificar a aderência à realidade industrial brasileira.
- Realização de estudos sobre temas que trazem impactos para o perfil profissional de ocupações qualificadas.

## 2.3 Identificação de mudanças prováveis na oferta de educação profissional (cursos regulares e de requalificação)

Tem por objetivo identificar mudanças prováveis em cursos regulares de educação profissional e em programas de requalificação, com base na:

- Identificação de mudanças na oferta de educação profissional em países selecionados, para setores industriais específicos.
- Análise integrada de mudanças ocupacionais e educacionais, no âmbito de Antenas Temáticas.

Assim, por meio do Modelo SENAI de Prospecção é possível antecipar a demanda por mão-de-obra qualificada e realizar ajustes na oferta de cursos e programas de formação profissional. Um resumo das principais ações do Modelo pode ser visto a seguir:

**Quadro 1 – Resumo das principais ações do Modelo SENAI de Prospecção**

Objetivos	Ações
a) Estimar a quantidade de trabalhadores qualificados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de Tendências Ocupacionais</li> </ul>
b) Identificar mudanças prováveis em perfis ocupacionais.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prospecção Tecnológica</li> <li>• Prospecção Organizacional</li> <li>• Análise de Ocupações Emergentes</li> <li>• Estudos e Monografias Ocupacionais</li> </ul>
c) Identificar mudanças prováveis na oferta de educação profissional (cursos regulares e de requalificação).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educação Profissional Comparada</li> <li>• Antena Temática</li> </ul>

## 2.4 Instituições participantes

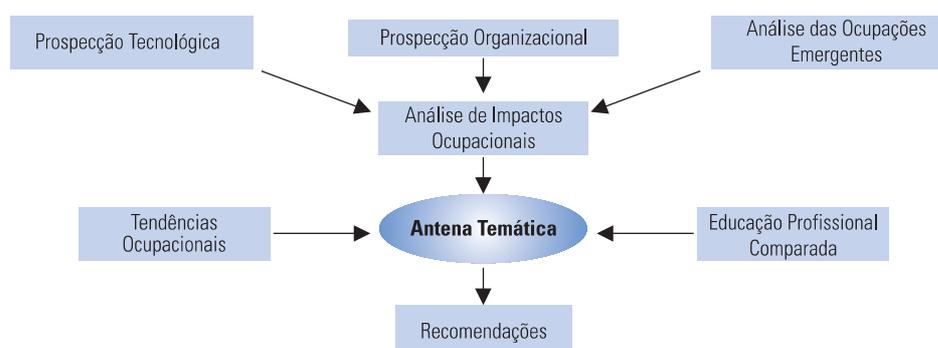
Para o desenvolvimento do Modelo, o SENAI estabeleceu convênios com cinco grandes universidades brasileiras – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC), Universidade de Brasília (UnB) –, além de contar com vários consultores independentes e empresas de consultoria especializadas.

A implementação do Modelo vem contando com a participação de especialistas de escolas e de Departamentos Regionais do SENAI, assim como com especialistas de empresas, institutos de pesquisas e de universidades, tendo envolvido 176 especialistas, para alcançar os resultados no ano de 2004.

Dentre as atividades previstas no Modelo, merece destaque a Antena Temática, pois realiza uma síntese dos resultados das várias atividades relacionadas com tecnologia, organização, trabalho e educação. Considera-se a Antena Temática uma etapa no processo de discussão, na qual é registrado o estágio dos conhecimentos obtidos até o momento. Na seqüência, ações de monitoramento da difusão serão deflagradas e novos conhecimentos serão produzidos, debatidos e difundidos em fóruns especificamente criados para esse fim.

As Recomendações decorrentes das Antenas Temáticas servem de orientação para o desenvolvimento de atividades futuras no campo da educação profissional e de serviços técnicos e tecnológicos (STT). A Figura 1, a seguir, mostra esquematicamente o fluxo de atividades do processo prospectivo do Modelo SENAI de Prospecção. Tal esquema facilita a visualização da posição da Antena Temática, em relação às outras atividades.

**Figura 1 – Esquema geral do Modelo SENAI de Prospecção**



Deste modo, o Modelo SENAI de Prospecção possibilita analisar, de forma integrada, setores de atividade econômica e fornecer diretrizes para uma melhor atuação das instituições de formação profissional.

A explanação sobre o Modelo permitirá a compreensão linear e lógica dos tópicos subseqüentes, os quais estão estruturados de acordo com a metodologia estabelecida. Além disso, as técnicas empregadas serão vistas de forma aplicada ao setor em questão. No tópico seguinte será vista uma síntese do estudo setorial do setor de máquinas e equipamentos. Este estudo é a base para a escolha das tecnologias emergentes que irão compor o questionário *Delphi*, uma vez que mostra a estrutura organizacional, econômica e a trajetória tecnológica do setor. Isto permite que se construa um arcabouço de premissas básicas para a escolha das tecnologias no período temporal determinado. Vale ressaltar que a inserção de uma nova tecnologia dependerá da estrutura organizacional das empresas que compõem o setor, da dinâmica comercial envolvida entre os atores e do processo de desenvolvimento tecnológico no setor (características do sistema de inovação setorial).

## 3 Análise Setorial e Tendências Tecnológicas

### 3.1 A dinâmica do setor de máquinas e equipamentos

As máquinas-ferramenta são utilizadas na usinagem de metais ferrosos e não ferrosos, assim como na conformação de peças e componentes de produtos ou de outras máquinas. Elas se diferenciam pela finalidade, pelo sistema de controle, pelo porte, pelo grau de automação, pela flexibilidade. Os principais usuários de máquinas-ferramenta (MF) são a indústria mecânica, de material de transporte, material elétrico e eletrônico e equipamentos de precisão. Compreende desde maquinaria de tecnologia tradicional operada de forma manual ou semi-automática, até sistemas flexíveis de fabricação compostos de centros de usinagem, robôs e máquinas de medição.

O setor de MF, apesar de operar em escalas reduzidas e não representar uma parcela significativa do PIB industrial, tem grande importância para o desenvolvimento industrial, uma vez que define boa parte da produtividade da indústria de manufatura. O setor destaca-se por ser um grande difusor de novas tecnologias para os demais setores produtivos. Apresenta um elevado coeficiente de abertura internacional, estando entre os dez segmentos que mais importam e exportam. No Brasil as importações são, em média, quatro a cinco vezes maiores que as exportações.

A dinâmica do setor de máquinas-ferramenta geralmente antecipa os períodos de crescimento e recessão econômica, constituindo um setor estratégico para viabilizar investimentos. Sinalizando a retomada dos investimentos industriais, no primeiro semestre de 2004 a indústria de bens de capital para a indústria no Brasil cresceu quase 15% em relação ao ano anterior, com as indústrias de máquinas e equipamentos operando muito próximo do nível máximo de utilização de sua capacidade. Outros indicadores positivos da retomada dos investimentos são a importação de bens de capital (32,2% maior) e os desembolsos do BNDES para a indústria (33% maiores) no mesmo período.

Os principais clientes da indústria mundial de MF são, em ordem de importância, os setores automotivo, metal-mecânico, eletroeletrônico, ótica, equipamentos de engenharia e aeroespacial. Existe uma correlação robusta

entre o nível de encomendas de MF e o desempenho da indústria metal-mecânica. Apesar dos avanços tecnológicos, as MF convencionais continuam tendo aplicação na indústria e deverão continuar sendo usadas por muito tempo, sobretudo em empresas cuja escala produtiva é inadequada ao uso de comando numérico, empresas fabricantes de componentes com forma geométrica de baixa complexidade com tolerâncias de fabricação mais folgadas.

## **3.2 Impacto das inovações nos setores usuários na demanda por máquinas-ferramenta**

### **3.2.1 Setor automotivo**

O setor automotivo, que representa direta ou indiretamente quase 50% da demanda mundial por MF, vem passando por uma série de transformações desde meados da década de 70, em resposta à crise do petróleo e à entrada dos carros japoneses nos mercados americano e europeu. As estratégias adotadas pelas empresas centraram-se na introdução de inovações técnicas, organizacionais e mercadológicas, que, por sua vez, foram beneficiadas pelos avanços verificados nas áreas de microeletrônica, de informática e de telecomunicações. As mudanças introduzidas nas empresas permitiram a flexibilização das unidades produtivas e a implantação de formas organizacionais que alteraram o padrão de relações de trabalho. Observa-se uma diminuição considerável do número de itens e do peso dos veículos pelo uso de novos materiais.

Tais mudanças tiveram um grande impacto na demanda por mão-de-obra, exigindo novas qualificações para melhorar a qualidade, resolver problemas e melhorar a coordenação ao longo da cadeia produtiva. O novo padrão produtivo extrapolou o âmbito das montadoras, envolvendo também seus fornecedores, que passaram a operar dentro dos mesmos princípios e a adotar os mesmos métodos gerenciais. O processo de mudanças, a partir do novo século, consolida o novo modelo produtivo e deverá alterar produtos, de forma a diminuir os impactos ambientais produzidos pelos automóveis. As principais mudanças previstas são (Page, 2003):

- Células de combustível a partir de 2012/2020;
- Sistema elétrico de 42V a partir de 2007/2010;

- Motores sem comando de válvulas a partir de 2007/2010;
- Motores híbridos a partir de 2007/2012;
- Direção automática a partir de 2007/2012;
- Mudança de marchas acionada por sinal elétrico a partir de 2001/2005;
- Freio acionado por sinal elétrico (sem contato mecânico direto) a partir de 2003;
- Acelerador acionado remotamente (sem contato mecânico direto) a partir de 2001.

Tais inovações deverão provocar grandes impactos na indústria de máquinas-ferramenta. Os sistemas elétricos de 42V, por exemplo, vão viabilizar o uso de atuadores servoelétricos, que, por sua vez, irão provocar a eliminação de uma série de componentes mecânicos usinados. Por sua vez, motores com a abertura e fechamento de válvulas controladas eletronicamente por atuadores servoelétricos irão eliminar o tradicional *eixo de cames* e os componentes por ele acionados, resultando numa economia de material estimada de 15-30% em relação aos motores tradicionais.

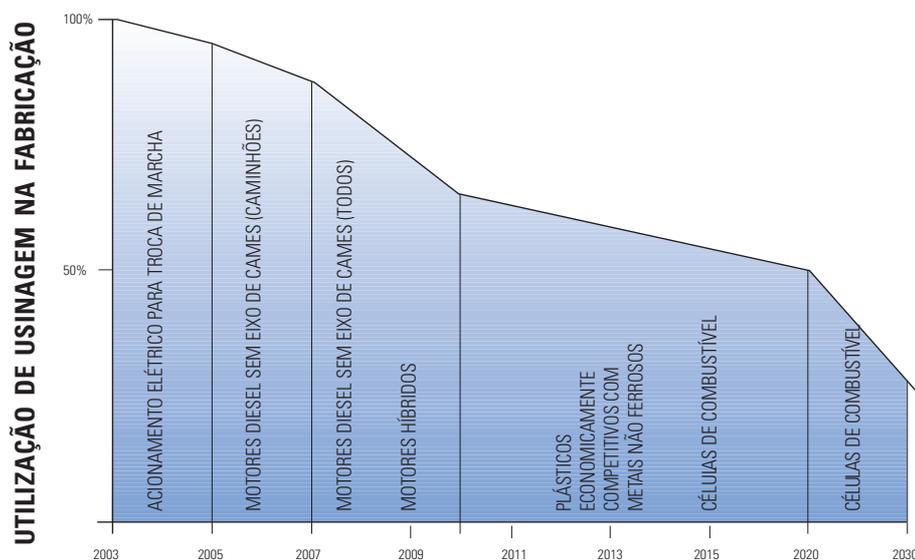
As células de combustível (hidrogênio), por sua vez, ainda dependem de uma drástica queda de custos para se viabilizar, o que deverá ocorrer por volta de 2020/2030. Estima-se que a introdução de motores a célula de hidrogênio causará menos prejuízos à indústria de MF do que a eliminação do comando de válvulas a cames, pois, embora elimine uma série de componentes, introduz outros dispositivos mecânicos como bombas, válvulas e tubulações.

Já o desenvolvimento de novos materiais e a melhoria de projeto em caixas de marchas e em outros elementos da transmissão e da suspensão não mudam significativamente a quantidade de usinagem requerida. As inovações na fabricação de componentes para transmissão e caixa de marchas incluem processos de injeção, fundição, sinterização ou conformação que resultem em componentes com forma geométrica próxima da do produto final (*near net shape*), resultando em economias incrementais de usinagem.

A tendência de redução de peso nos veículos através de seleção de novos materiais para componentes ou pela otimização do projeto terá um impacto importante nos tipos de máquinas utilizados. As ligas de aço continuarão a ser usadas nos veículos produzidos em grandes volumes, enquanto as ligas de não ferrosos, os materiais plásticos e os materiais compósitos serão usadas nos veículos esportivos e de luxo. Isso implica a utilização crescente de prensas hidráulicas em vez de prensas mecânicas (excêntricas), equipamentos mais adequados à realização de embutimento profundo e hidroconformação em ligas de metais não ferrosos.

Concluindo, haverá uma redução da demanda de MF nos setores fabricantes de motores a combustão interna, sistemas de direção e sistemas de freio. Além disso, é também prevista uma redução da usinagem de desgaste em razão da maior difusão de componentes fundidos, forjados e extrusados na forma geométrica aproximada do produto final (*near net shape*). Por outro lado, é previsto um aumento da demanda de MF dedicadas à fabricação de moldes, estampas e matrizes. Da mesma forma, é também prevista a utilização crescente de MF multitarefas que permitem um maior número de operações com uma mesma preparação (*set-up*). A figura a seguir mostra as tendências de redução de máquinas-ferramenta em decorrência das inovações previstas.

**Figura 2 – Efeitos das inovações em produtos sobre a utilização de MF**



Fonte: Page (2003).

### 3.2.2 Setor aeronáutico

Os componentes aeronáuticos são usualmente fabricados por usinagem a partir de blocos fundidos ou forjados, ou de tarugos laminados. O percentual de redução de peso de um componente aeronáutico usinado chega normalmente a 90% do peso original da matéria-prima, representando grandes volumes de material desbastado antes de se alcançar a forma geométrica final. A fuselagem do avião é basicamente feita em chapas de material aeronáutico conformadas a frio e unidas por rebites. O processo de fabricação das chapas para uso aeronáutico envolve furação e chanfragem feitas por MF comandadas numericamente e com transporte e transferência por processos robotizados.

As previsões para a indústria aeronáutica apontam para uma redução do tempo de produção das aeronaves, obrigando a atualização de máquinas antigas (*retrofitting*); uma intervenção que modifique o sistema de controle das MF, viabilizando sua utilização com *softwares* mais compatíveis com os sistemas CAD modernos. As tendências apontam para o uso de centros de usinagem com 5 ou 6 eixos com interpolação contínua, associado a centros de usinagem multifuncionais, tipo de MF, que permite a fabricação completa da peça sem necessidade de se modificar a fixação e preparação iniciais da peça. Os processos de soldagem deverão ser mais eficientes, afetando menos o metal base das peças. Nesse sentido, espera-se o aperfeiçoamento e conseqüente uso industrial dos processos a laser, incluindo-se o laser de estado sólido, assim como processos de soldagem à base de fricção, tais como o processo linear de fricção e o processo de fricção por revolução.

## 3.3 Histórico recente das inovações no setor de máquinas e equipamentos

As inovações em MF são incrementais, conjugando inovações na concepção do produto com inovações nas tecnologias utilizadas nas MF. Algumas das novas tecnologias de fabricação deram origem à criação de novas MF, tais como as máquinas de prototipagem rápida.

As principais tendências nas MF<sup>1</sup> incluem a integração da tecnologia da informação com as tecnologias de fabricação, criando novas funcionalidades nas MF até então inexistentes. Nesse sentido, os fabricantes de MF oferecem diagnóstico remoto, treinamento remoto, etc. apoiados pelas possibilidades de conjugar a tecnologia de informação e comunicação com as tecnologias de fabricação. As possibilidades de uso da tecnologia da informação viabilizam a manufatura virtual, i.e., teleoperar ou teleprocessar um determinado equipamento a distância. Além disso, novos materiais estão sendo empregados, como, por exemplo, o concreto polimérico utilizado na fabricação de bases de MF com melhor grau de amortecimento de vibrações e maior estabilidade térmica.

Do ponto de vista da concepção do produto, as MF seguem uma tendência mundial para o desenvolvimento de produtos, utilizando-se dos conceitos de modularização e padronização, visando, sobretudo, diminuir custos de produção e de manutenção. As MF estão sendo projetadas em módulos semi-independentes que podem ser combinados conforme as necessidades dos clientes. Dessa forma, os fabricantes conseguem obter as economias de escala típicas de um produto seriado, podendo utilizar conceitos de linha de montagem e plataformas de produção de MF.

Outra tendência é a de combinar um número cada vez maior de operações numa mesma máquina, tornando possível executar a usinagem completa de uma peça sem modificar sua fixação na máquina. As máquinas vão gradualmente executando um conjunto de processos que anteriormente eram feitos em MF especializadas. As máquinas de usinagem passam a realizar operações de retificação, além das operações de torneamento, fresamento, furação e alargamento, assim como as máquinas de conformação integradas a robôs dedicados passam a realizar operações programáveis de carga & descarga e troca de ferramentas durante as operações de dobramento. Essas máquinas terão reflexos no treinamento de operadores e programadores, uma vez que não seguem as especializações usuais de MF e têm uma programação mais complexa.

---

<sup>1</sup>Texto elaborado com base em artigos do Eng. Simon publicados na revista *Máquinas & Metais*. Os artigos refletem as impressões do Eng. Simon nas visitas às principais feiras de MF mundiais.

As novas MF apresentam motores mais potentes e deslocamentos mais rápidos nos seus cabeçotes, resultado da tecnologia de usinagem a alta velocidade (HSC – *high speed cutting*), que está se difundindo nas novas MF. Essa característica passa a exigir dos sistemas CAM a geração de trajetórias muito rapidamente, o que nem sempre é atendido pelos sistemas atuais. Além disso, menores profundidades de corte e avanço resultam em programas NC maiores que os atuais, o que vai exigir uma requalificação dos programadores. Processos de usinagem a alta velocidade exigem maiores cuidados para se controlar as condições de usinagem no que se refere às vibrações e ao balanceamento das ferramentas. Nesse sentido, os fabricantes vêm incorporando sensores para detecção de sobrecargas e de vibrações para prevenir danos às máquinas, bem como utilizando a fixação de ferramentas por contração térmica, que permite forças de fixação elevadas e uniformes.

Uma outra tendência é a aplicação do conceito da cinemática paralela ou estrutura hexápode na concepção de MF, associada ou não a aplicação de motores lineares. As MF projetadas usando o conceito da cinemática paralela permitem movimentos de até seis graus de liberdade com a vantagem de movimentação de massas menores em altas velocidades e acelerações; e apresentando aumento de produtividade e aumento da vida das ferramentas. Os motores lineares, por sua vez, apresentam bom nível de controle e podem aumentar os patamares de velocidades e acelerações, sobretudo para máquinas com grandes cursos ou com movimentos alternativos. Seu emprego simplifica o projeto da máquina ao eliminar os mecanismos de transmissão de potência convencionais, assim como apresenta baixa rigidez e menores problemas de ressonância. Em contrapartida, são máquinas de programação mais complexas, uma vez que se exige um controle sobre os seis eixos, mesmo para simples deslocamentos lineares.

Dois processos de fabricação estão se destacando no cenário da produção manufatureira: hidroconformação e sinterização a laser. O processo de hidroconformação permite a conformação de formas geométricas complexas nas quais há dificuldade de obter a forma final do produto por problemas de “saída” das matrizes. Esse processo permite a fabricação de peças com boa precisão dimensional e elevada reprodutibilidade, além de possibilitar a fabricação de componentes de paredes finas sem cordões de solda, o que traz benefícios ao produto com a redução de peso do componente, assim como é ambientalmente melhor. As preocupações ambientais vêm sendo incorporadas no projeto de MF:

as novas máquinas apresentam dispositivos para coleta e compactação do cavaco e processos de usinagem a seco, menos poluentes que os processos a óleo solúvel.

O processo de sinterização a laser vem sendo largamente utilizado na fabricação de protótipos e de ferramentas de injeção de plástico, recebendo a denominação de prototipagem rápida e ferramental rápido (*rapid prototyping e rapid tooling*) (Burns, 1993). A tecnologia de sinterização a laser é bastante versátil, ajudando a comprimir o ciclo de concepção de um novo produto, seja pela viabilidade de se obter um protótipo rapidamente, seja pela possibilidade de se produzir pequenas séries de peças plásticas ou metálicas (não ferrosas). Trata-se de um processo competitivo perante os processos convencionais, e com grandes chances de substituir processos convencionais para a fabricação de pequenas séries de produtos plásticos.

O futuro da manufatura discreta será forjado pelas novas tecnologias de fabricação apropriadas para os novos materiais que estão surgindo. Os processos convencionais de usinagem e conformação irão sofrer modificações radicais devido à introdução de novos materiais. Processos de pintura em chapa metálica poderão ser substituídos integralmente por materiais plásticos com camada colorida. Observa-se também a difusão da micromanufatura, na qual vários microdispositivos de manuseio e fixação terão de ser desenvolvidos para viabilizar essa produção, além de reforçar a tendência aos processos *near net shape*, que irão aumentar a participação relativa dos processos de conformação na manufatura de componentes.

### 3.3.1 Tecnologias emergentes

Foram selecionadas algumas tecnologias consideradas emergentes na bibliografia consultada, para se verificar qual o grau de maturidade através da verificação da frequência de publicações científicas e do número de patentes concedidas. Foram selecionadas as seguintes tecnologias:

Prototipagem rápida	Soldagem	Tratamento de superfícies
<i>Rapid tooling</i>	<i>Electron beam</i>	<i>High velocity oxygen fuel (HVOF)</i>
<i>Stereolithography</i>	<i>Friction welding</i>	<i>Plasma spray</i>
<i>Laser sintering</i>	<i>High energy</i>	<i>Polimer coating</i>
<i>Laser curing</i>		

Na área de prototipagem rápida o assunto que tem despertado maior interesse científico é o de sinterização seletiva a laser, processo que faz incidir um feixe de raios laser sobre uma camada de material plástico ou cerâmico provocando uma soldagem intergranular das partículas do material. A trajetória dos raios laser é determinada por um *software* que realiza cortes sucessivos no modelo tridimensional e envia para a máquina a trajetória da seção em tela.

Na área de soldagem, as tecnologias mais relevantes foram a soldagem por fricção e a soldagem por feixe de elétrons, confirmando as previsões tecnológicas anteriormente feitas pelos setores usuários. Espera-se um grande desenvolvimento da soldagem por fricção na indústria aeronáutica em substituição ao atual processo de rebitagem da fuselagem do avião.

### 3.4 Conclusões

Destacam-se a seguir alguns dos resultados obtidos no estudo e algumas considerações sobre a capacitação da mão-de-obra para o setor de MF:

- Consolidação da posição dos processos de conformação em detrimento dos processos de usinagem. Processos *near net shape* tais como a fundição, a sinterização e a injeção terão maior participação na produção de componentes metálicos e não metálicos.
- Aumento relativo da participação dos processos de soldagem por fricção e por feixe de elétrons, assim como da difusão do conceito de manufatura rápida para pequenas séries de produtos. A participação de materiais compósitos e de materiais plásticos nos produtos vai aumentar, provocando um aumento da demanda por máquinas e ferramentas de injeção, extrusão, sopro, etc.
- Novos conceitos no projeto de MF vão resultar em maior complexidade da programação da máquina e demandar mais conhecimentos em monitoramento de processo, uma vez que as velocidades de processamento estão aumentando, e, por conseguinte, os riscos de danos na máquina.

- As novas MF procuram fabricar as peças sem modificação da montagem inicial da matéria-prima, mesmo que para isso estejam combinados processos de tecnologias distintas numa mesma máquina. Além disso, as MF de conformação estarão integradas a robôs e dispositivos de transporte de matérias-primas, realizando operações de carga & descarga e de troca de ferramentas. Dessa forma, as competências atuais terão de ser revistas em razão dessa nova geração de máquinas-ferramenta que se anuncia.
- Do ponto de vista do mercado usuário de MF, as previsões são as de diminuição da quantidade de usinagem como um todo nos produtos, resultante dos novos conceitos de manufatura limpa e manufatura verde, assim como pela mudança no projeto dos produtos, cuja tendência à redução de peso é consistente. A eliminação de certos componentes dos novos motores a combustão, por exemplo, vai causar uma grande redução da quantidade de usinagem demandada pela indústria de autopeças.
- A usinagem vai se concentrar em pequenas e médias empresas, confirmando a tendência à desverticalização que vem ocorrendo na indústria mecânica desde o início dos anos 90. No Brasil as empresas de “usinagem para terceiros” foram as grandes responsáveis pela compra de máquinas-ferramenta no ano de 2003.
- A atuação das instituições de capacitação de mão-de-obra deve se dar em duas vertentes: por um lado, a recuperação da indústria demanda por profissionais qualificados que não se encontram disponíveis no momento; por outro, existem inovações radicais a serem incorporadas aos produtos num futuro próximo.
- O processo de desverticalização que vem sendo praticado pelas grandes empresas viabilizou a criação de pequenas e médias empresas, sobretudo prestadoras de serviços de usinagem e de conformação. Essas empresas, apesar de utilizarem novas tecnologias, apresentam um perfil diferenciado das demais do ramo metal-mecânico, o que vai exigir um tratamento diferenciado por parte da instituição responsável pela capacitação da sua mão-de-obra no que tange a métodos e técnicas de ensino/aprendizagem. Isso vai exigir

da parte dos órgãos envolvidos em treinamento e capacitação uma atualização dos seus conceitos para as especificidades do setor.

- Os veículos deverão incorporar mais inovações nas próximas duas décadas do que as que sofreram nos últimos 40 anos. Isso implica a utilização de novos materiais e de novas tecnologias de fabricação para as quais será necessário capacitar mão-de-obra. As tecnologias emergentes identificadas neste estudo apontam para onde está caminhando o mundo da fabricação na área metal-mecânica. As consultas às bases de dados e aos bancos de patentes nos permitiram apontar para onde será necessário se capacitar.
- As principais áreas do conhecimento a serem dominadas para atuar na manufatura do futuro são as tecnologias da informação, as tecnologias de medição em processo, a mecatrônica, os sistemas de automação e controle, a simulação, a ciência dos materiais, a física e a química. São tecnologias dominadas, porém é necessário adaptá-las ao contexto de utilização das novas MF, que apresentam maior complexidade na sua concepção e utilização.



## 4 Demanda por Recursos Humanos: Aspectos Quantitativos

Para estimar as mudanças no mercado de trabalho, em particular na quantidade de empregos nos diversos setores da economia, o Modelo SENAI de Prospecção faz uso da Metodologia de Análise de Tendências Ocupacionais.

Em uma economia com elevados níveis de incerteza, as projeções da demanda por mão-de-obra são extremamente difíceis, pois dependem principalmente do nível e da variação de investimentos, dos gastos governamentais, das importações e exportações, bem como da estrutura tecnológica e organizacional dos setores industriais.

Para lidar com essa dificuldade, o SENAI/DN optou pela construção de cenários macroeconômicos estimando a variação da produção setorial para os anos a serem projetados, no caso 2003 e 2004. Para este trabalho, tal cenário foi construído com base em estimativas elaboradas por duas renomadas consultorias contratadas pelo SENAI/DN.

Após a construção do cenário macroeconômico, foi utilizada a matriz insumo-produto para calcular os impactos no emprego nos diversos setores da economia brasileira. A identificação dessas tendências de demanda por mão-de-obra depende das projeções de variação da produção, dos coeficientes técnicos<sup>2</sup> da matriz insumo-produto e de um monitoramento sistemático das projeções de emprego realizadas.

O setor de máquinas e equipamentos tem importância estratégica para os demais setores industriais do País porque é quem define os principais fatores determinantes da produtividade da indústria de manufatura brasileira.<sup>3</sup> Também é o setor que funciona como um termômetro de

<sup>2</sup>A matriz de coeficientes técnicos é divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e calculada com base em informações do Sistema de Contas Nacionais (SCN). Cada coeficiente dessa matriz fornece quanto de cada insumo é necessário para a produção de uma unidade de um determinado bem. Essa matriz define a tecnologia utilizada na economia. Ou seja, se a economia tem  $n$  setores, esta é uma matriz com  $n$  linhas e  $n$  colunas. Cada coeficiente na linha  $i$ , coluna  $j$ , fornece a quantidade de insumos do bem  $i$  necessária para produzir uma unidade do bem  $j$  (quando a produção de um bem não utiliza outro como insumo, o coeficiente correspondente é zero). Ver Caruso, L. A.; Tigre, P. Bastos Coord. – Modelo SENAI de prospecção: Documento Metodológico – Montevideo: CINTEFOR/OIT, 2004.

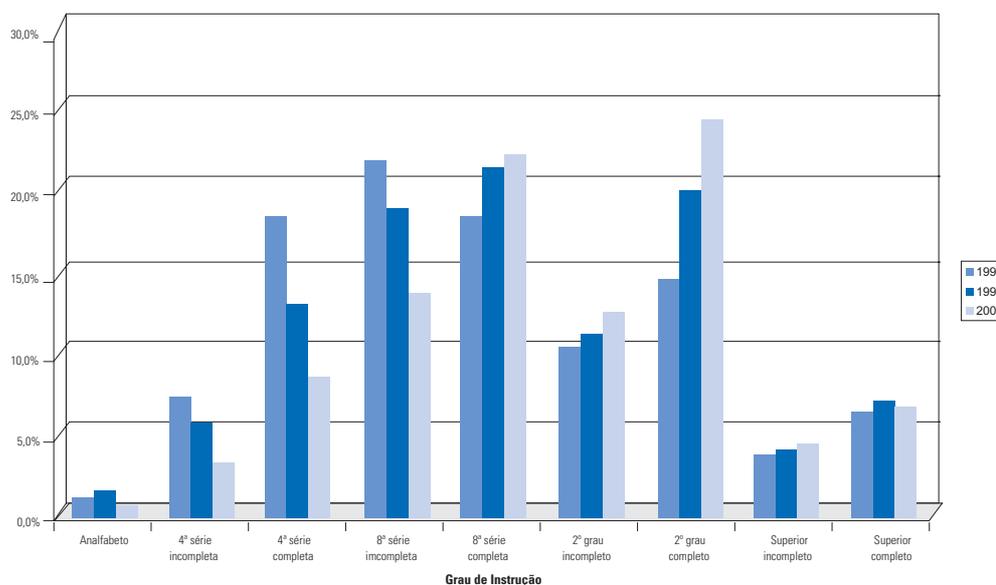
<sup>3</sup>Os principais setores impactados são: fabricação de máquinas e equipamentos, fabricação de produtos de metal – exclusive máquinas e equipamentos, fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos, fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias e fabricação de outros equipamentos de transporte.

crescimento da economia, dado que é um dos primeiros a se movimentar quando a economia dá sinais de aquecimento.

As projeções do cenário-base feitas com base na metodologia da matriz insumo-produto estimaram um aumento de 30,22% de empregos líquidos para o setor de máquinas e ferramentas para o biênio 2003-2004, o equivalente a aproximadamente 84 mil empregos. As projeções foram feitas para a divisão 29 – Setor de máquinas e equipamentos da Classificação Nacional de Atividade Econômica (CNAE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Destes 84 mil empregos, estima-se que aproximadamente 30 mil sejam de operadores, 4 mil de nível técnico e mil no nível de engenheiro.

No que diz respeito ao perfil dos trabalhadores do setor, pode-se verificar uma mudança significativa ao longo da década de 90. Analisando tais perfis, percebe-se uma crescente elevação do grau de instrução dos trabalhadores, conforme pode ser visto no Gráfico 1, onde são comparados os anos de 1994, 1998 e 2002. O maior destaque fica para o crescimento do número de trabalhadores com 2º grau completo, que em 1994 não passava de 14,1% e em 1998 chegou a 28,6%.

**Gráfico 1 – Grau de instrução dos trabalhadores do setor de máquinas e equipamentos – 1994, 1998 e 2002**



Fonte: RAIS/TEM.

A Tabela 1 apresenta os resultados da projeção da evolução da demanda por mão-de-obra para os Estados da Federação com maior crescimento projetado. São eles: São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro. Para estes Estados, a projeção é de cerca de 80 mil empregos até 2004, o que representa 93% do total do emprego projetado para o setor de máquinas e equipamentos até 2004.

**Tabela 1 – Projeção de emprego dos Estados com maior crescimento esperado**

SP – São Paulo	de 30.000 a 50.000
RS – Rio Grande do Sul	de 5.000 a 10.000
SC – Santa Catarina	de 5.000 a 10.000
PR – Paraná	de 5.000 a 10.000
MG – Minas Gerais	de 1.000 a 5.000
BA – Bahia	de 1.000 a 5.000
RJ – Rio de Janeiro	de 1.000 a 5.000

Fonte: UNITEP – SENAI/DN.

A Tabela 2 lista as ocupações que apresentam um crescimento estimado acima do crescimento médio do setor para o período, ou seja, mais dinâmicas, gerando aproximadamente 33 mil empregos.

**Tabela 2 – Projeção de crescimento por ocupação: ocupações mais dinâmicas**

7212	PREPARADORES E OPERADORES DE MÁQUINAS-FERRAMENTAS CONVENCIONAIS	1000 ou mais
7243	TRABALHADORES DE SOLDAGEM E CORTE DE LIGAS METÁLICAS (2)	1000 ou mais
9113	MECÂNICOS DE MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS	1000 ou mais
7311	MONTADORES DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM GERAL	1000 ou mais
7252	MONTADORES DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS	1000 ou mais
3180	DESENHISTAS TÉCNICOS, EM GERAL	1000 ou mais
7214	OPERADORES DE MÁQUINAS DE USINAGEM CNC (3)	1000 ou mais
7251	MONTADORES DE MÁQUINAS, APARELHOS E ACESSÓRIOS EM LINHAS DE MONTAGEM	1000 ou mais
7211	FERRAMENTEIROS E AFINS	de 500 a 999
7250	AJUSTADORES MECÂNICOS POLIVALENTES	de 500 a 999
3141	TÉCNICOS MECÂNICOS NA FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE MÁQUINAS, SISTEMAS E INSTRUMENTOS	de 500 a 999
2144	ENGENHEIROS MECÂNICOS	de 500 a 999
3912	TÉCNICOS DE CONTROLE DA PRODUÇÃO	de 500 a 999

Fonte: UNITEP – SENAI/DN.

Durante a análise de tendências ocupacionais não foram evidenciados casos de famílias ocupacionais em declínio. Assim, no Quadro 2 destacamos as famílias ocupacionais que se mostram menos dinâmicas ou estáveis, isto é, com crescimento abaixo do crescimento médio do setor.

#### **Quadro 2 – Projeção de crescimento por ocupação: ocupações menos dinâmicas ou estáveis**

2146	ENGENHEIROS METALÚRGICOS E DE MATERIAIS
2143	ENGENHEIROS ELETROELETRÔNICOS E AFINS
3003	TÉCNICOS EM ELETROMECAÂNICA
2149	ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO, QUALIDADE E SEGURANÇA
3146	TÉCNICOS EM METALURGIA (ESTRUTURAS METÁLICAS)
3134	TÉCNICOS EM CALIBRAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO
3523	AGENTES FISCAIS METROLÓGICOS E DE QUALIDADE
3147	TÉCNICOS EM SIDERURGIA

Fonte: UNITEP – SENAI/DN.

As projeções quantitativas de empregos em cada ocupação, em conjunto com a identificação das mudanças prováveis nos perfis ocupacionais, fornecerão insumos para que os tomadores de decisão do SENAI, seja em âmbito nacional ou local, desenvolvam seus planejamentos táticos e operacionais da educação profissional.

## 5 Mudanças Prováveis em Perfis Ocupacionais

Na fase inicial da recuperação econômica, ocorre uma procura generalizada das empresas por mão-de-obra qualificada, o que implica um rápido esgotamento do estoque existente de profissionais com melhor perfil de qualificação. Em um segundo momento da recuperação, surgem diferenças entre o perfil da vaga oferecida pela empresa e o perfil dos trabalhadores que se candidatam a ocupá-la. Essas diferenças são de natureza estrutural, apontando para uma demanda de profissionais com perfis de qualificação da chamada nova economia, e por outro lado, a existência de uma oferta de trabalhadores que não possuem esse perfil. Esse descompasso traz prejuízos para empresas, trabalhadores e governo, uma vez que pode inibir, retardar ou mesmo impedir a expansão da atividade econômica e o desenvolvimento social. A identificação de tais perfis deve, necessariamente, englobar as influências tecnológicas, organizacionais e seus respectivos impactos sobre o trabalho, bem como um acompanhamento das tendências de educação profissional em outros países.

### 5.1 Prospecção tecnológica

A prospecção tecnológica para o SENAI tem por finalidade principal identificar as principais tecnologias emergentes, que terão um considerável impacto na estrutura do trabalho e na qualificação profissional, bem como a utilização comercial e taxa representativa de difusão. A antecipação às possíveis mudanças nas ocupações industriais advindas da introdução de novas tecnologias no processo produtivo permitirá ao SENAI organizar seus cursos regulares de educação profissional contendo perspectivas de futuro, bem como oferecer novos serviços de cunho tecnológico para as empresas do setor.

A metodologia de Prospecção Tecnológica desenvolvida no âmbito do Modelo SENAI de Prospecção está baseada em estudos setoriais e painéis *Delphi*. O painel *Delphi* busca identificar as tecnologias emergentes com

considerável taxa de difusão e seu grau de impacto na qualificação profissional através de grupos de especialistas em um dado setor. O Estudo Setorial busca analisar o desempenho recente, a capacidade de investimento das empresas e as trajetórias tecnológicas mais relevantes dos setores estudados.

O painel *Delphi* realizado no setor de máquinas e equipamentos buscou identificar as tecnologias emergentes específicas que teriam uso comercial até 2014, impacto na qualificação profissional e considerável taxa de difusão (de pelo menos 30% entre 2008 e 2014 ou 70% até 2014). Contou-se para isso com a participação de três grupos específicos:

- (A) Grupo Executor (GE) – planejamento e coordenação – formado por dois consultores setoriais externos (universidade), integrantes de quatro escolas do SENAI com vocação para o setor (Escola Euvaldo Lodi/MG, CETEMP/RS, Escola Roberto Simonsen/SP e CET Ítalo Bologna/GO), academia (UFRJ) e equipe da UNITEP;
- (B) Grupo Realizador – Escolas SENAI – formado pelas equipes das escolas do SENAI pertencentes ao GE e UNITEP, que aplicaram a metodologia desenvolvida para os painéis;
- (C) Tecnologistas – 25 especialistas do setor de máquinas e equipamentos respondentes dos painéis.

A duração foi de dois meses, e ao todo o painel *Delphi* do setor de máquinas e equipamentos contou com a participação de 38 pessoas: UNITEP (3); UFRJ (2); consultores externos (2); Escolas do SENAI (6); tecnologistas (25). A seguir serão apresentados seus principais resultados.

Primeiramente, identificaram-se as tecnologias emergentes específicas relevantes para o setor – através do GE, dos consultores externos e do estudo setorial –, num total de 55 (ver anexo). Essas tecnologias integraram a 1ª rodada do painel, aplicada aos 25 tecnologistas selecionados. Buscando selecionar as tecnologias emergentes que fossem de consenso entre os respondentes, que integrariam a 2ª rodada, foram aplicados os seguintes critérios: grau de conhecimento do respondente sobre a tecnologia, taxa de difusão e frequência de respostas.

A aplicação dos critérios implicou a seleção de um conjunto de tecnologias que integraram a 2ª rodada do painel. Para a seleção das tecnologias emergentes, aplicaram-se critérios similares aos da 1ª rodada com base nos dados coletados na 2ª rodada. Como resultado, chegou-se a uma nova lista de tecnologias emergentes específicas para o setor de máquinas e equipamentos (Quadro 3).

**Quadro 3 – Tecnologias emergentes específicas escolhidas**

Tipo	Descrição
Projeto de máquinas e peças	Software CAE para projeto de produto: uso no projeto de máquinas e equipamentos antes de se construir um protótipo físico para simulação da utilização de componentes e conjuntos mecânicos, analisando vibrações no uso da máquina; estudo de esforços, tensões.
Projeto de máquinas e peças	Software CAE para projeto do processo de fabricação: uso no planejamento do processo de fabricação. Simula os processos de fabricação, analisando o escoamento de material nos processos de conformação mecânica, fundição e injeção plástica.
Projeto de máquinas e peças	Projeto de máquinas modulares: uso no desenvolvimento de máquinas, para que a partir de um número menor de alternativas construtivas e módulos seja possível construir uma grande combinação de máquinas diferentes, aumentando o reaproveitamento de módulos.
Projeto de máquinas e peças	Realidade Virtual: uso no projeto de máquinas para simulação e visualização de operação com base no modelo 3D dos componentes e conjuntos.
Projeto de máquinas e peças	Prototipagem Rápida: uso no desenvolvimento de produtos para que novas peças sejam fabricadas do modelo CAD, sem necessidade de usinagem ou ferramentas de injeção ou forjamento, com objetivo de se testar a forma da peça com antecedência.
Projeto de máquinas e peças	CAD <i>High-End</i> para superfícies complexas: uso na modelagem de superfícies complexas 3D, com a finalidade de reconstruir superfícies técnicas, reduzir o tempo de desenvolvimento do produto e obter ganho de qualidade.
Processo de fabricação	Ferramentas modulares de troca rápida: uso nos processos de usinagem em máquinas operatrizes CNC, com a finalidade de diminuir o tempo de preparação de máquina e aumentar a produtividade.
Projeto de máquinas e peças	CAD <i>High-End</i> para formas livres: uso na modelagem de formas livres 3D com a finalidade de obter-se um design apurado e uma reconstrução rápida de superfícies.
Gestão	Dispositivo para <i>setup</i> rápido: uso em máquinas-ferramenta, eliminando o tempo de preparação de máquinas e permitindo a produção de lote unitário de peças diferentes.
Processo de fabricação	<i>High Speed Cutting</i> : uso na usinagem de formas complexas e de peças de alta precisão proporcionando, por meio de altas velocidades de rotação e avanço, redução de custos, tempo de produção e acréscimo de qualidade.
Automação	Redes de campo ( <i>profbus, devicenet, fieldbus, etc.</i> ): uso na interligação da instrumentação ao controle da máquina, possibilitando a comunicação da instrumentação, e, por conseguinte, a modularização da máquina e o diagnóstico do seu funcionamento.
Automação	Robôs de soldagem: uso na produção seriada de bens duráveis, permitindo movimentos rápidos e precisos, de equipamentos de solda por corrente elétrica, gás, arco, plasma ou laser.
Gestão	<i>Software</i> de programação CN gráfica na máquina: uso no CNC das máquinas, possibilitando que o operador crie programas interativamente, com maior eficiência, com base no modelo gráfico da peça, em substituição dos comandos alfanuméricos.

Gestão	Visualização gráfica da tarefa ao lado da máquina (folhas de instruções e croquis): uso no chão-de-fábrica ao lado dos equipamentos, permitindo aos operadores acessar instruções de trabalho atuais, que podem ser mudadas via <i>web</i> pela engenharia de processo.
Gestão	Máquinas organizáveis em células: uso na formação de células de produção, possuindo características de interconectividade com outras máquinas e equipamentos e assim otimizando a célula.
Gestão	Dispositivos <i>Poka Yoke</i> : uso no controle de qualidade da produção, para diminuir ou eliminar as falhas no processo, por meio de métodos simples.
Processo de fabricação	Usinagem a seco (verde): uso em processos de usinagem não abrasivos, visando minimizar o impacto sobre o meio ambiente pela eliminação do fluido refrigerante.
Processo de fabricação	Novas geometrias de ferramentas de corte: uso nos processos de usinagem, com o objetivo de aumentar o desempenho da ferramenta, de facilitar o corte e de melhorar o acabamento da peça, garantindo, assim, a obtenção de perfis complexos.
Processo de fabricação	CBN (Nitreto Cúbico de Boro): uso em ferramentas de corte e conformação para aumentar a resistência ao desgaste.
Automação	Monitoração remota de máquinas: uso no controle da operação de máquinas, monitorando e transmitindo para sistemas de gestão os parâmetros de processo e uso.
Automação	Monitoração integrada de processo: uso no controle do processo de fabricação, monitoramento da fabricação por meio de sensores acústicos, térmicos e de força e permitindo a tomada de decisão autônoma pela máquina.
Automação	Motores integrados ao eixo-árvore: uso em máquinas e equipamentos para acionamento em alta velocidade (até mais de 15.000 rpm) e torque de até 150 Nm.
Automação	Robôs de montagem: uso na produção seriada de componentes ou partes de conjuntos. São capazes de selecionar e movimentar com rapidez e precisão posicionando as peças para montagem e fixação.
Gestão	Software de programação CN associado à máquina: uso na programação CN durante o ciclo de trabalho, liberando a máquina para trabalhar em paralelo e utilizando o conhecimento do operador na programação CN.
Gestão	Máquinas flexíveis para mudanças constantes de <i>lay-out</i> : uso na formação de células de produção, eliminando a necessidade de fundação para instalação da máquina em um ambiente produtivo, permitindo, assim, uma maior flexibilidade de mudança da aplicação da máquina.
Matéria-prima	Rolamentos de cerâmica: uso em sistemas rotativos de elevada rotação, de alta precisão, em ambientes agressivos, no vácuo e em elevada temperatura.
Processo de fabricação	Deposição de filmes cerâmicos: uso no revestimento de ferramentas de corte, conferindo alta dureza, resistência ao desgaste por fricção e abrasão e maior vida útil da ferramenta.
Automação	Motores lineares: uso em máquinas que necessitam de alto torque e velocidade, permitindo posicionamentos controlados em substituição de caixas de redução e outros sistemas mecânicos de movimentação.
Projeto de máquinas e peças	Digitalização por luz estruturada: uso no desenvolvimento de produto e prototipagem rápida de superfícies complexas com a finalidade de reduzir o tempo de desenvolvimento, custos e obtenção de design apurado.
Automação	Músculo pneumático: uso em acionamentos com elevadas forças e pequeno curso, através de um tubo capaz de executar contração e expansão, consumindo até 40% menos energia e força até 10 vezes maior que um cilindro convencional equivalente.
Gestão	Mapeamento de fluxo de valor: uso na definição e otimização do <i>lay-out</i> de produção, fazendo com que o operador seja envolvido e dê a sua contribuição na organização da produção.

Fonte: UNITEP – SENAI/DN.

A identificação, divulgação e publicação da lista de tecnologias emergentes finalizam a etapa de Prospecção Tecnológica. Os resultados da prospecção tecnológica, com os outros estudos, foram debatidos na Antena Temática do setor de máquinas e equipamentos, considerando uma análise de impactos no trabalho – no caso de uma dessas tecnologias ser difundida, quais seriam as mudanças esperadas no trabalho e no perfil profissional (ver item 5.4).

Além dos estudos de prospecção tecnológica, a identificação das características de novas e reformuladas ocupações perpassa pelo conhecimento de possíveis novas formas organizacionais. Deve-se ressaltar que tais mudanças organizacionais, independentemente das tecnologias utilizadas, impactam de forma considerável sobre o trabalho e o perfil profissional. O tópico a seguir explanará o estudo de prospecção organizacional, no qual foram identificadas as principais tendências organizacionais para o setor de máquinas e equipamentos.

## 5.2 Prospecção organizacional

Como já explanado anteriormente, a prospecção organizacional para o SENAI tem por finalidade principal identificar as principais mudanças organizacionais que o setor em estudo irá sofrer, em um horizonte temporal definido, e qual o impacto na estrutura do trabalho e na qualificação profissional. A antecipação às possíveis mudanças nas ocupações industriais advindas das novas formas organizacionais permitirá ao SENAI estruturar seus cursos regulares de educação profissional considerando perspectivas de futuro, bem como oferecer novos serviços tecnológicos às empresas que compõem o setor.

A metodologia de Prospecção Organizacional desenvolvida no âmbito do Modelo SENAI de Prospecção está baseada, semelhante à tecnológica, em painéis *Delphi*. Neste caso, a técnica busca estimar os principais movimentos organizacionais.

Para o estudo de prospecção organizacional, o setor de máquinas e ferramentas foi estruturado em três segmentos interdependentes: Componentes básicos, Subsistemas e Fabricantes. Apesar do foco ter sido direcionado para o segmento de produção de máquinas-ferramenta, pode-

se considerar que os resultados alcançados poderão ser estendidos às empresas clientes do setor em questão (ex.: setor automobilístico, bens de consumo, aeronáutica, etc.). O questionário *Delphi* foi estruturado de forma a contemplar as seguintes dimensões: cenário de mercado e estrutura da cadeia produtiva; nível estratégico das empresas e nível organizacional.

De um total de 50 questionários enviados, 13 foram respondidos, sendo que 12 por empresas e 1 por um professor da academia. Da relação de empresas respondentes, quatro atuam no mercado nacional e internacional, sendo que duas são multinacionais. São empresas que fabricam produtos de grande porte. Seis são empresas fabricantes nacionais de máquinas de pequeno e médio porte. As outras duas atuam como fornecedores de componentes ou subsistemas.

### 5.2.1 Resultados

Os especialistas consideraram que os investimentos mais significativos estarão voltados para o desenvolvimento de novos produtos – mais especificamente nos segmentos de equipamentos automáticos, flexíveis, máquinas especiais e sistemas de produção – e para a capacitação de pessoal. O estreitamento das relações entre os elos da cadeia produtiva e a maior integração entre as várias atividades da empresa farão com que os investimentos em tecnologia e sistemas de informação cresçam consideravelmente. Tais investimentos estão relacionados ao atendimento de demanda externa, bastante exigente no tocante à qualidade do produto.

No caso da configuração da cadeia, os especialistas consideram que não haverá nenhuma mudança mais radical. No tocante à concorrência, considera-se pouco provável a criação de novas empresas ou a entrada de competidores estrangeiros. Contudo, mesmo com um não aumento quantitativo da concorrência, as empresas farão investimentos na modernização de sua estrutura fabril em virtude das exigências de mercado. Tal modernização poderá vir acompanhada de uma mudança no foco das empresas para as atividades de serviços, os quais poderão ser fator de geração de receitas. Soma-se a isso o deslocamento de etapas do processo produtivo para os pequenos fabricantes. Cabe ressaltar que este processo de desverticalização do processo de produção é apontada como uma forte tendência. Apesar do volume de produção ainda

ser um impedimento para uma maior atuação das empresas no segundo nível (subsistemas), considera-se que com o aumento dos volumes de produção parte do processo passe para tais fornecedores. Segundo os especialistas, ainda existe espaço para a terceirização de etapas do fluxo produtivo para os 2º e 3º níveis. Porém, nas atividades de apoio à produção as possibilidades são menores. Apesar da pequena probabilidade, a terceirização de projetos de produtos poderá trazer um grande impacto na estruturação organizacional e no trabalho, visto que se teria um foco na gestão de projetos.

Em relação aos fabricantes de máquinas tradicionais, observa-se que seu foco estará mais direcionado às atividades de assistência técnica e reforma de máquinas, visto que nem todos poderão atuar no mercado com produtos de alta tecnologia. Sob este aspecto espera-se que as empresas do 1º nível (fabricantes) também agreguem a seus produtos serviços de pós-vendas. Isso será possível graças à integração das tecnologias de informação aos processos e produtos.

No que se refere à estruturação do trabalho, verifica-se que nas empresas que atuam no segmento de máquinas especiais o trabalho estará organizado em grupos/equipes e será voltado para montagem/integração de subsistemas. As equipes formadas terão uma forte integração entre si. Isto é, a equipe de projetos terá uma forte relação com a equipe de montagem (produção), que por sua vez estará interagindo com a equipe fornecedora de subsistemas. Neste tipo de estruturação a tecnologia de informação terá um papel essencial, no que tange a serviços prestados e constituição de dados para projetos de novos equipamentos. O trabalho nas empresas que atuam no segmento de máquinas automatizadas e nas que atuarem no 2º nível será mais padronizado, mas o seu conteúdo deverá ser mais elevado devido ao aumento da complexidade da tecnologia envolvida. Ainda sob o aspecto tecnológico, verifica-se que a introdução de máquinas mais rápidas e flexíveis possibilitará a estruturação produtiva através de células ou grupos semi-autônomos.

No item desenvolvimento de pessoal, os especialistas consideram que a educação continuada será cada vez mais acentuada, além de uma maior exigência no nível de escolaridade mínima. O conteúdo técnico mais abrangente continuará sendo fornecido pelas escolas técnicas e o de caráter mais específicos pelas empresas. Neste caso, a capacitação, através de certificação, será dada

por parceiros, fornecedores, etc. Este processo será mais significativo nas empresas que trabalham com tecnologias mais avançadas.

Nesta nova estruturação para o setor, independentemente do segmento, o trabalho operacional será mais polivalente, com envolvimento destes profissionais em funções de apoio (ex.: qualidade e manutenção). Além disso, espera-se que pelo menos os operadores atuem na identificação de problemas, passando-os para os setores responsáveis, os quais farão o diagnóstico e correção dos imprevistos.

### 5.3 Ocupações emergentes e em evolução

O objetivo deste tópico foi estabelecer a probabilidade de ocorrência na realidade brasileira, em um futuro aproximado de 5 a 10 anos, de incremento de ocupações identificadas como “*emergentes ou em evolução*” no mercado internacional (EUA, Canadá, Austrália, Inglaterra e Nova Zelândia). A escolha destes países baseia-se em dois aspectos: estes países vêm desenvolvendo estudos sobre mudanças ocupacionais e suas classificações ocupacionais são compatíveis com a CIUO (Classificação Internacional Uniforme de Ocupações). Esta compatibilidade é fundamental, por permitir comparações com a CBO (Classificação Brasileira de Ocupações).

O conceito de Ocupações Emergentes e em Evolução foi adotado a partir da definição do BLS (*Bureau of Labor Statistics*) dos Estados Unidos. Conforme esta instituição, “Ocupações Emergentes” compreendem um conjunto de atividades, habilidades e conhecimentos totalmente novos que, por esta razão, podem não estar presentes nas classificações de ocupações vigentes nos países estudados. E “Ocupações em Evolução” são ocupações cujo conjunto de atividades compreende mudanças.

No setor de máquinas e equipamentos as ocupações emergentes estão associadas aos desenvolvimentos tecnológicos observados nas áreas de **novos materiais e novas formas de fabricação**. São elas: Engenheiros de Materiais (transversal) e Técnicos em Automação e Robótica. Suas descrições podem ser vistas a seguir:

#### Engenheiros de Materiais (ocupação emergente)

Avaliam materiais e desenvolvem máquinas e processos para produção de materiais que serão utilizados em produtos, os quais devem obedecer a especificações de *design* e desempenho. Desenvolvem novas utilizações para materiais conhecidos. Estudam e desenvolvem novos materiais para a fabricação de máquinas e equipamentos.

#### Técnicos em Automação e Robótica (ocupação emergente)

Instalam, programam e reparam robôs e equipamentos similares, tais como equipamentos de controle programável, equipamentos para controle de robôs, braços mecânicos e transportadores.

No caso das ocupações em evolução, verifica-se que as mudanças no conteúdo do trabalho estão associadas principalmente à utilização de **novos materiais**. As seguintes foram identificadas para o setor: Engenheiros Mecânicos, Técnicos em Mecânica, Montadores de Máquinas, Pintores Industriais, Ajustadores, Ferramenteiros e Trabalhadores da Fabricação de Máquinas e Equipamentos.

#### Engenheiros Mecânicos (ocupação em evolução)

Projetam e especificam materiais e processos para a construção e reparação de máquinas e de ferramentas. Investigam problemas e falhas em máquinas e estudam meios de aprimorar sua produção.

#### Técnicos em Mecânica (ocupação em evolução)

Aplicam princípios de mecânica para modificar, desenvolver e testar máquinas e equipamentos, sob a supervisão de engenheiros.

#### Montadores de Máquinas (ocupação em evolução)

Montam partes e componentes para a fabricação de máquinas e equipamentos.

#### Pintores Industriais (ocupação em evolução)

Pintam com pistolas automáticas ou pincéis e recuperam superfícies de máquinas e equipamentos, partes e componentes.

#### Ajustadores (ocupação em evolução)

Alinham, posicionam e juntam peças pré-fabricadas de metais para processos de soldagem ou rebite.

#### Ferramenteiros (ocupação em evolução)

Preparam e ajustam máquinas-ferramenta e outras máquinas de produção, tais como tornos automáticos ou máquinas com múltiplas funções. Estas máquinas são operadas por outros trabalhadores, na fabricação de máquinas e equipamentos.

#### Trabalhadores da Fabricação de Máquinas e Equipamentos (ocupação em evolução)

Montam partes e componentes, realizam atividades em linhas de produção e outras atividades manuais da fabricação de máquinas e equipamentos.

## 5.4 Impactos ocupacionais – estudos de caso

As transformações acentuadas que vêm ocorrendo nas tecnologias e na organização dos processos produtivos têm contribuído para mudanças no conteúdo e nas relações de trabalho, bem como para o surgimento, o desaparecimento e as transformações de ocupações existentes.

O estudo de impactos ocupacionais tem por objetivo identificar e avaliar as mudanças prováveis nos perfis profissionais do setor de máquinas e equipamentos decorrentes da introdução das tecnologias emergentes específicas (TEEs), identificadas na prospecção tecnológica.

O estudo de impactos ocupacionais considerou os três níveis funcionais básicos (operadores, técnicos e engenheiros). As TEEs foram

categorizadas em tecnologias de automação, de gestão e de processos de fabricação e de projeto de máquinas e equipamentos.

#### 5.4.1 Resultados

Um das primeiras constatações do estudo é de que haverá uma aproximação dos níveis hierárquicos, de acordo com a habilidade requerida para determinada tarefa. Existe uma orientação para que o grau de comprometimento seja igual para engenheiros, técnicos e operadores.

##### **Operadores**

O estudo verificou que as tecnologias de automação pouco afetarão este profissional. O uso deste tipo de tecnologia irá diminuir a necessidade de habilidades manuais e aumentar o conhecimento específico das tecnologias utilizadas. Segundo as empresas pesquisadas, operadores e técnicos estão cada vez mais próximos no que se refere às atividades produtivas. Dos operadores espera-se mais habilidades intelectuais, visto que estes têm assumido, cada vez mais, tarefas de monitoramento do processo produtivo, com conhecimento suficiente para identificar e corrigir problemas na produção. O grau de autonomia dos operadores para estas TEEs está associado ao aumento dos períodos de supervisão.

Em relação às tecnologias de gestão, o trabalho operacional será impactado por aquelas tecnologias que eliminam o tempo de preparação de máquinas e permitem a produção individualizada de diferentes peças (dispositivos de *setup* rápido). As TEEs de gestão permitirão que os operadores exercitem uma série de atributos, entre os quais podem ser destacados: maior conhecimento de suas atribuições, interação com os técnicos, participação em atividades de programação e possibilidade de manutenção autônoma. O uso destas tecnologias poderá aumentar o grau de autonomia dos operadores.

As tecnologias associadas aos processos de fabricação pouco afetarão os operadores (ex.: *High Speed Cutting*), e as de projetos de máquinas não os afetarão de forma alguma, segundo as empresas pesquisadas.

## **Técnicos**

As TEEs de automação irão afetar consideravelmente os técnicos, visto que este profissional necessita de um conhecimento tecnológico mais elevado com especializações relacionadas às tecnologias em questão. As tecnologias de automação obrigarão que os técnicos tenham uma visão integrada da manutenção autônoma, e habilidades para organização da produção e geração e análise de dados.

Em relação às TEEs de gestão, verifica-se que estas possibilitarão ao técnico desempenhar atividades de monitoração do processo, através de um controle mais ágil e confiável dos seus parâmetros, e ter uma visão global da produção. Isso permite sua ação na otimização e racionalização do fluxo produtivo, e detecção e eliminação de possíveis falhas.

As TEEs relacionadas ao processo de produção irão possibilitar aos técnicos uma visão mais efetiva no comando do processo de produção, permitindo ganhos de produtividade. As TEEs ligadas a projetos de máquinas e peças farão com que os técnicos atuem em situações mais complexas, uma vez que eles trabalham entre a concepção e a operacionalização. De forma ampla, estas TEEs irão requerer dos técnicos atividades tais como: capacidade de supervisão em células de produção, programação via fibra óptica, concepção de mecanismos para otimização dos processos, interação com os profissionais da produção e manutenção contínua do aprendizado.

## **Engenheiros**

Os engenheiros serão, também, afetados pelas TEEs de automação, visto que estes profissionais deverão possuir a capacidade de inseri-las de acordo com as demandas e necessidades de mercado. Para isso se requer dos profissionais de engenharia uma visão mais intensa dos processos, bem como um conhecimento do mercado consumidor.

No que tange às TEEs de gestão, verifica-se que os engenheiros serão afetados nas suas habilidades de gerenciamento e na criação de células de produção, bem como na possibilidade de introduzir no fluxo produtivo novos sistemas de programação.

As TEEs de processos de fabricação exigirão desses profissionais atividades relacionadas à avaliação da viabilidade do processo, através do dimensionamento mecânico do equipamento, de seus mecanismos de funcionamento e do comportamento dinâmico e estático da máquina. Para as TEEs de projetos, espera-se que estas exijam do engenheiro capacitação em executar o projeto básico dimensional, validar o processo e testar o modelo em 3D, além de ter a capacidade de trabalhar com áreas de complexidade distinta.



## 6 Mudanças Prováveis na Educação Profissional

A identificação das prováveis mudanças na educação profissional foi decorrente de estudos de caso em um grupo de empresas, e do estudo comparado de educação profissional. Os estudos de caso buscaram, através de entrevistas orientadas, verificar os impactos reais que as tecnologias emergentes específicas (TEEs) exercem na qualificação profissional dos profissionais do setor. O estudo comparado objetiva analisar as estruturas curriculares de países que são referência no setor em questão, buscando indicadores sobre possíveis tendências no oferecimento de cursos profissionalizantes e nas alterações das grades curriculares.

### Operadores

Segundo as empresas pesquisadas pelo estudo de impactos organizacionais, o ensino médio completo é o mínimo exigido, uma vez que ele é necessário para que os operadores possam acompanhar os cursos de especialização, normalmente *on-job*, os quais são considerados indispensáveis para atuação no processo de produção. Porém, esta exigência tem sido ampliada, sendo que para a admissão as empresas estão exigindo o curso técnico. Os conhecimentos requeridos pelas empresas para as funções operacionais são: **Auto Cad, Desenho, Hidráulica, Informática, Matemática, Programação, Qualidade total, Mecânica, Pneumática, Robótica, Sensores, Associação entre distintas tecnologias, TPM (Total Productive Maintenance) e 5S.**

### Técnicos

Segundo o estudo, os cursos técnicos de maior associação com as empresas são os de mecânica, informática, soldagem, robótica, eletroeletrônica e mecatrônica. Os técnicos com especialização são os mais requeridos. As áreas de conhecimento requeridas para esse profissional são as mesmas relacionadas aos operadores. Contudo, o grau de aprofundamento

para os técnicos é bem maior. Alguns conhecimentos específicos foram apontados pelas empresas, tais como **programação CNC** e conhecimentos considerados “híbridos” nas áreas de **mecânica, elétrica, hidráulica, pneumática e eletrônica**, devido à necessidade de as empresas oferecerem serviços de assistência técnica. Em relação às TEEs de automação, irá se requerer dos técnicos conhecimentos nas áreas de **usinagem, soldagem, eletrônica, marketing, automação e controle de processos**.

## Engenheiros

Para os engenheiros, observa-se que, além das competências básicas de engenharia e das tecnologias específicas, será cada vez mais exigido deste profissional habilidades relacionadas a: Liderança, ética profissional, visão sistêmica e pró-atividade na resolução de problemas. Soma-se a isso a necessidade de conhecimento de normas ambientais (NBR 14000) e de comprometimento social (NBR 88800).

O estudo comparado de educação profissional teve como objeto de pesquisa o técnico em mecânica. Os critérios para a seleção da ocupação investigada foram:

- Estar relacionada com as principais tecnologias emergentes específicas selecionadas para o setor. (Prospecção Tecnológica)
- Estar entre as ocupações que mais gerarão emprego. (Análise de Tendências Ocupacionais)
- Ter sido identificada como ocupação em evolução. (Estudo de Mudanças Ocupacionais)
- Ser reconhecida (clássica) como umas das principais ocupações do setor de fabricação de máquinas e equipamentos, estando incluída na oferta do SENAI. (Oferta SENAI)

Analisando as grades curriculares, verifica-se que tem sido dada ênfase ao conhecimento de novos materiais, incluindo aí os compostos poliméricos, *design*, informática e automação industrial. O estudo identificou, ainda, que este curso é oferecido pela metodologia de competências em Portugal e

Espanha. Na Suíça o curso está estruturado de forma que 60% da sua formação seja prática e 40% teórica. Na Espanha existem disciplinas com conteúdos específicos para: pequenas e médias empresas e formação e orientação para o trabalho.



# 7 Recomendações

## 7.1 Introdução

Em virtude do dinamismo tecnológico e organizacional, a prática profissional exigirá, daqueles formados pelo SENAI, uma gama maior de conhecimento, associada às mais variadas áreas tecnológicas. Tais conhecimentos deverão inter-relacionar as habilidades, adquiridas de modo formal ou informal, e as atitudes, que levam a pessoa a ter níveis variáveis de adequação com o trabalho. Neste contexto, os aspectos do trabalho mostram-se flexíveis e variáveis, a ponto de também exigir da pessoa as características de agilidade na adaptação à diversidade, prontidão para enfrentar mudanças radicais e predisposição para um aprendizado contínuo.

O documento de *Recomendações* para o setor de Máquinas e Equipamentos é o resultado do Modelo SENAI de Prospecção. Como visto, as informações aqui contidas foram obtidas com base nos diversos estudos sobre o setor, assim definidos pelo método: análise setorial, prospecção tecnológica, prospecção organizacional, análise das tendências ocupacionais, ocupações emergentes e em evolução, mudanças prováveis em perfis ocupacionais e estudos comparados de educação profissional.

Os estudos contribuíram – através do entendimento das tendências tecnológicas e organizacionais e de seus respectivos impactos nas trajetórias de determinadas ocupações nos setores estudados – para que fossem formuladas questões referentes à atuação do SENAI. Tais questões serviram de norte para que o Grupo Executor (GE) estabelecesse Recomendações de caráter estratégico e sugerisse novos estudos e pesquisas, os quais poderão se tornar importantes insumos para os tomadores de decisão dos Departamentos Regionais e suas respectivas Unidades Operacionais e Centros Técnicos e Tecnológicos, em diversos níveis estratégicos. Estas Recomendações foram analisadas, modificadas e validadas pelo Grupo de Prospecção e Monitoramento (GPM) – grupo estratégico do projeto, constituído por representantes dos Departamentos Regionais participantes das etapas do Modelo e daqueles interessados nos resultados obtidos.

Vale ressaltar que a leitura das Recomendações deve ser feita com uma visão de futuro. Isto significa dizer que tais informações devem considerar as tendências estruturais, organizacionais e tecnológicas do setor, que foram identificadas nos diversos estudos.

## 7.2 Recomendação geral

### 7.2.1 Formas de divulgação

O SENAI como instituição de educação profissional e de serviços tecnológicos ligados aos setores industriais deverá buscar formas e ferramentas que promovam a utilização e institucionalização da cultura prospectiva em seus Departamentos Regionais. Para tal, há a necessidade de difusão desta cultura nas Unidades Operacionais, Centros Técnicos e Tecnológicos, visto que modificações curriculares e estruturais necessitam de um tempo de maturação e aprendizado. Nesse contexto, a utilização de resultados pode deflagrar em toda rede SENAI um processo de busca de novas competências técnicas sobre estas novas tecnologias, sejam de cunho intelectual, relacional e estrutural.

#### **Os resultados obtidos poderão ser utilizados nas seguintes questões:**

- No auxílio à definição dos perfis profissionais baseados em competência, através da utilização das Recomendações pelos comitês técnico-setoriais.
- No planejamento estratégico de médio e longo prazos do SENAI, através das informações setoriais e das trajetórias tecnológicas. Estas informações poderão servir para possíveis novas orientações ou reorientações estratégicas do SENAI, no que se refere a serviços de educação profissional (cursos – novos e readequados) e a serviços técnicos e tecnológicos (STT).
- Na divulgação das novas tendências tecnológicas e organizacionais para as empresas.
- No desenvolvimento de novas áreas do conhecimento, através da geração de massa crítica e infra-estrutura. Para atingir tal objetivo, os resultados

poderão auxiliar algumas ações estratégicas, tais como: aquisição de acervo sobre as novas tendências tecnológicas; orientação do planejamento dos investimentos em infra-estrutura; formação de parcerias com instituições acadêmicas e de pesquisa, e difusão do conhecimento através da criação de uma comunidade prática de aprendizagem na internet (publicações, listas de discussão, fóruns, *chats*, etc.).

- Na orientação de políticas estruturais para o setor envolvido, auxiliando os tomadores de decisão governamentais e empresariais no estabelecimento de diretrizes e ações estratégicas para fortalecimento e estabelecimento de novos segmentos produtivos.
- Na atualização de equipamentos, adequação de ambientes e aperfeiçoamento de recursos humanos.

A divulgação das informações pode ser, assim, estruturada:

#### **Comitês Técnico-Setoriais**

Os participantes do Grupo de Prospecção e Monitoramento (GPM) e seus respectivos representantes nos comitês em conjunto com a equipe da UNITEP-SENAI/DN serão responsáveis por:

- Apresentar o documento *Recomendações*.
- Acompanhar a utilização do referido documento por parte do comitê.
- Analisar e avaliar as informações disponibilizadas.
- Incorporar o documento *Recomendações* do respectivo setor ao Documento Metodológico de elaboração do perfil por competência no item *Análise das Fontes Documentais de Interesse*, referente ao Projeto de Formação por Competência.

#### **Nas Unidades Operacionais e Centros Técnicos e Tecnológicos do SENAI**

Os participantes do GPM, em conjunto com a equipe da UNITEP-SENAI/DN, serão responsáveis por apresentar o documento *Recomendações*, bem como por analisar e avaliar as informações disponibilizadas para gerentes e coordenadores da área técnica.

### Áreas dos DRs

Os participantes do GPM, em conjunto com a equipe da UNITEP-SENAI/DN, serão responsáveis por apresentar o documento *Recomendações*, bem como por analisar e avaliar as informações disponibilizadas nas seguintes áreas:

- Planejamento.
- Educação.
- Tecnologia.
- Unidades Operacionais.

### Canal Prospectando (comunicação Web)

A equipe da UNITEP-SENAI/DN será responsável por disponibilizar e discutir, no Canal PROSPECTANDO, os resultados alcançados para as pessoas envolvidas nas atividades do Modelo SENAI de Prospecção, a partir de determinados níveis de acesso. O referido canal possuirá espaços específicos para a disponibilização de informações e para a montagem de fóruns de discussão, entre outras dimensões.

### Infovia

A equipe da UNITEP-SENAI/DN será responsável por apresentar o documento *Recomendações*, bem como por analisar e avaliar as informações disponibilizadas para:

- Unidades Operacionais, Centros Técnicos e Tecnológicos do SENAI.
- Áreas dos Departamentos Regionais.

### Fóruns e Encontros com os *stakeholders* da Cadeia Produtiva em questão e os tomadores de decisão governamentais.

Os participantes do GPM, em conjunto com a equipe da UNITEP-SENAI/DN, serão responsáveis por apresentar o documento *Recomendações*, bem como por analisar e avaliar as informações disponibilizadas.

## 7.3 Recomendações específicas

### 7.3.1 Oferecimento de cursos e certificações

#### Contextualização

A estrutura organizacional do setor de máquinas e equipamentos se caracteriza por um grande número de micro e pequenas empresas, sendo que aquelas com menos de 50 empregados representam cerca de 66% do total. Deve-se considerar, também, a tendência de desverticalização do setor, gerada pela modificação nos modelos de gestão da cadeia de suprimentos. Este fenômeno faz aumentar a base de pequenas empresas, cujo foco se encontra no fornecimento de subsistemas, componentes e peças, ou serviços de usinagem ou conformação para as grandes empresas. Vale ressaltar que as micro e pequenas empresas são classificadas como de tecnologia tradicional (Vermulm apud Naveiro, 2004), possuindo graus diferenciados de atualização tecnológica. Segundo pesquisa da Simon & Ponce (apud Naveiro, 2004), quase 80% das máquinas-ferramenta (MF) adquiridas em 2003 foram compradas por empresas de até 50 funcionários, sendo que deste total 50% são de empresas que prestam serviços para terceiros.

A intensificação das subcontratações terá como conseqüência a formação de uma nova estrutura produtiva composta por uma empresa “âncora” e uma “rede” de subcontratadas. Esta nova configuração resulta em novas relações de trabalho, passando de pessoa jurídica-pessoa física para pessoa jurídica- pessoa jurídica.

#### Recomendações:

Visando atender a uma futura demanda desta nova organização e trabalho, recomenda-se que o SENAI venha a:

**Fortalecer o convívio com as grandes empresas (âncoras) para detectar oportunidades nas suas cadeias de suprimentos, de modo a intensificar a oferta e divulgação de cursos voltados para pequenas e médias empresas, com ênfase em competências que contemplem questões como empreendedorismo,<sup>4</sup> tecnologia de gestão empresarial e**

<sup>4</sup> Considera-se empreendedorismo a capacidade de iniciar e gerir empreendimentos. O que significa um conjunto de conceitos, métodos, instrumentos e práticas relacionadas com a criação, implantação e gestão de novas empresas ou organizações ([www.geranegocios.com.br](http://www.geranegocios.com.br)).

**logística de rede. Esta oferta poderia ser desenvolvida com a mudança de foco de programas de cursos existentes e/ou a criação de programas específicos.**

**Oferecer serviços de qualificação de pessoas e certificação de produtos e processos, uma vez que a empresa “âncora” passará a exigir das subcontratadas a comprovação da competência profissional de seus colaboradores, da conformidade dos produtos fornecidos e da gestão dos processos envolvidos. Esta ação do SENAI se dará, basicamente, através da empresa “âncora”**

**Oferecer serviços de consultoria às empresas subcontratadas nas áreas de gestão empresarial, tecnológica e da produção.**

A partir desta nova estrutura produtiva poderão surgir novas especializações neste setor. Como exemplo, pode-se citar:

**Especialista em gerência de operações do processo fabril (rede produtiva).**

Este profissional atuará predominantemente na empresa “âncora”, tendo entre outras atribuições o gerenciamento da logística, dos sistemas de informação e monitoramento dos processos com as subcontratadas, além de ser o responsável por garantir o cumprimento dos dispositivos legais estabelecidos pelas relações cliente-fornecedor. Este profissional poderá ter a formação de nível pós-técnico, ou mesmo de tecnólogo.

### **7.3.2 Proposta para desenho curricular dos cursos e nova especializações**

#### **Contextualização:**

Parte da dinâmica da inovação tecnológica do setor de MF é oriunda das exigências dos compradores (*market push*). Isto faz com que o desenvolvimento tecnológico ocorra através de uma relação entre concepção do produto e novas tecnologias utilizadas nas MF. Notadamente, os setores usuários de MF têm substituído os materiais ferrosos por novos materiais, tais como compósitos e materiais poliméricos, com o objetivo de diminuir o peso dos equipamentos. Logo, os processos convencionais de usinagem e

conformação deverão sofrer modificações radicais devido à introdução destes novos materiais. Vale ressaltar que estes novos materiais também estão sendo integrados nas MF. Pode-se citar como exemplo a utilização de concreto polimérico nas bases das MF para melhorar o grau de amortecimento de vibrações e a estabilidade térmica.

Além das tendências observadas acima, os estudos prospectivos mostraram, também, a diminuição da proporção dos processos de usinagem no futuro e o aumento da participação das tecnologias *near net shape*, bem como o aumento da complexidade de programação dos sistemas CAM.

As tecnologias *near net shape* (“formato próximo ao final”) estão relacionadas aos conceitos de modularização e padronização das MF, e de combinação de várias operações em uma mesma máquina. Os primeiros aumentam a flexibilidade das MF, as quais são projetadas em módulos semi-independentes e combinadas de acordo com as necessidades dos clientes. A segunda torna possível executar o processo completo de usinagem de uma peça sem modificar sua fixação na máquina.

Outra tendência tecnológica observada é a integração da tecnologia de informação com as tecnologias de fabricação, gerando MF mais funcionais. Além disso, esta tendência possibilitará a geração de novos serviços, de forma remota, pelos fornecedores de MF, tais como treinamento, diagnósticos e assistências técnicas, além do desenvolvimento de novos produtos.

Vale ressaltar que os projetos de MF já estão levando em consideração as exigências ambientais. Isso já pode ser observado pelos dispositivos para coleta e compactação do cavaco e desenvolvimento de processos de usinagem a seco, os quais são menos poluentes que os processos a óleo solúvel.

As inovações tecnológicas trazem a reboque uma série de novos conhecimentos e conteúdos, seja por parte do operador, do técnico ou do engenheiro. Isso faz com que o perfil do profissional formado pelo SENAI deva se adequar à utilização destas novas tecnologias e novas exigências dos usuários. Tais alterações no perfil podem vir na forma de novos conteúdos ou na geração de novas especializações.

### Recomendações:

Foram analisados os seguintes conteúdos: *design*, novos materiais, tecnologia da informação e habilidades comportamentais para os três níveis ocupacionais (operadores, técnicos e tecnólogos).

#### a) **Design**

Operadores – Não aplicável.

Técnicos – Tal conteúdo não foi considerado ponto fundamental, em um futuro de 5 a 10 anos. Seu caráter seria informativo, visto que não se considera a atividade de projeto de produtos uma função direta do técnico.

Tecnólogos – É importante que este profissional tenha noções básicas, pois vai estar diretamente envolvido no projeto, principalmente nas pequenas e médias empresas. Este conteúdo deveria ter **caráter formativo**.

#### b) **Novos Materiais**

Operadores – Necessário em **caráter informativo**.

Técnicos – Do que foi exposto na contextualização, é importante que este profissional tenha noções das características físicas e químicas dos novos materiais (plástico, borracha, novas misturas). Este conteúdo deveria ter um **caráter formativo**.

Tecnólogos – Devido ao maior conhecimento exigido, este profissional deve ter uma compreensão mais profunda das características físicas e químicas dos novos materiais (plástico, borracha, novas misturas). Este conteúdo deveria ter um **caráter formativo**.

#### c) **Tecnologias da Informação**

Operadores – Necessário em **caráter informativo**.

Técnicos – Com a inserção destas tecnologias nas MF, os técnicos deveriam ter noções de TI associadas a conhecimentos de *softwares* aplicados. Este conteúdo deveria ter **caráter formativo**.

Tecnólogos – Devido ao maior conhecimento exigido, este profissional deveria ter um conhecimento técnico mais profundo das tecnologias (*hardware* e *software*). Este conteúdo deveria ter um **caráter formativo**.

#### **d) Intensificação das habilidades comportamentais**

Em face da necessidade de desenvolvimento de competências comportamentais, recomenda-se que o SENAI reforce as metodologias de ensino que conduzam ao despertar dessas competências de forma integrada e contextualizada. Diante disso, faz-se necessária a contínua capacitação de docentes do SENAI para atuarem nessa metodologia de ensino (formação por competência), e na reavaliação das suas habilidades.

Além disso, o Grupo recomenda a estruturação de cursos de especialização, como por exemplo:

- Especialização em tecnologias da informação específicas ao setor.**
- Especialização em *softwares* CAES, CAD e 3D.**
- Especialização em Sistemas Produtivos Flexíveis.**
- Especialização em materiais.**

#### **7.3.3 Oferecimento de cursos de educação continuada**

##### **Contextualização:**

A difusão das tecnologias emergentes fará com que haja um redimensionamento do conhecimento dos profissionais que já atuam no setor de MF. O impacto das novas tecnologias caracteriza-se por um maior conhecimento técnico dos níveis operacionais, gerando uma considerável aproximação com os níveis técnicos. Apesar de ser exigido mais conhecimento do técnico, os conteúdos requeridos para o nível operacional tendem a se aproximar do técnico. Verifica-se ainda que neste novo cenário tecnológico a tendência será a de aumentar proporcionalmente as habilidades e conhecimentos de operadores e técnicos.

Os temas mais relevantes são os seguintes: Auto Cad, desenho, hidráulica, informática, matemática, programação, qualidade total, mecânica, pneumática, robótica, sensores, interação entre tecnologias, TPM e 5S.

Isto faz e fará com que as empresas invistam cada vez mais na educação continuada dos seus empregados, uma vez que foi observada a

valorização de operadores com um grande conhecimento prático. Por educação continuada entende-se a troca de experiências de forma contínua por parte do indivíduo, destacando-se a formação (especialização), o exercício profissional de suas atividades, a difusão de conhecimentos e a percepção da necessidade em adquirir novos conhecimentos.

Cabe aqui reforçar a importância dos cursos por competências, já oferecidos pelo SENAI, e que permitem aos alunos de qualificação e aos profissionais que já atuam no setor várias saídas intermediárias e finais, fazendo com que estes possam direcionar sua própria formação. Esta flexibilidade gerada pelos cursos por competência permite:

- O aperfeiçoamento dos profissionais nas tecnologias emergentes.
- Uma formação mais técnica dos operadores, uma vez que eles podem escolher uma especialização específica.
- A formação de um novo profissional com a possibilidade de se adequar rapidamente às necessidades específicas das diferentes empresas que compõem o setor.

### Recomendações

Dessa forma recomenda-se, como forma para estimular tal formação, em consonância com as diretrizes do SENAI para a formação inicial e continuada de trabalhadores, o estabelecimento ou intensificação das seguintes ações:

- **Envolvimento da empresa neste processo, através de uma parceria com o SENAI, para certificação por pessoas.**
- **Formatação de cursos de capacitação, em parceria com as empresas que adquiriram novas tecnologias, nos quais a capacitação teórica ficaria a cargo do SENAI e a parte prática (no equipamento) ocorreria na própria empresa.**
- **Formatação de cursos de capacitação, em parceria com os fornecedores de tecnologia.**

### 7.3.4 Implementação de pesquisa sobre as novas tecnologias

#### Contextualização:

Os estudos mostraram que as novas tecnologias, tais como as tecnologias *near net shape* e *high speed cutting* (corte a elevadas velocidades), geram um considerável impacto de conhecimento e conteúdo na formação dos programadores nas empresas usuárias e na necessidade de conhecimentos metrológicos tanto de fabricantes como de usuários.

Devido à forte interação entre fabricante e usuários, no tocante ao desenvolvimento tecnológico, e à formação genérica do egresso do SENAI – o qual pode atuar tanto nos fabricantes quanto nos usuários –, recomenda-se:

- **A realização de pesquisas que abordem o impacto das novas tecnologias integradas nas MF sobre profissionais que atuam nos usuários do setor.**
- **Se estude a possibilidade de inserção de conteúdos relacionados à metrologia no desenho curricular dos cursos técnicos.**

Outro ponto observado pelo estudo setorial, na parte de tendências tecnológicas, é o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de superfícies. As mais importantes são a tecnologia de recobrimento por polímeros e por jateamento de plasma. Esta tendência é ratificada pelo número de depósitos de patentes no período entre 2001 e 2004 (média de 561 depósitos). Estes valores reforçam o interesse industrial por essas tecnologias, uma vez que existe a tendência de que os novos materiais e os materiais produzidos sob encomenda irão determinar a estrutura e o escopo dos processos de fabricação. Devido ao crescimento da importância de tais tecnologias, recomenda-se que:

- **As tecnologias de tratamento de superfícies sejam monitoradas, juntamente com aquelas prospectadas.**
- **Se estude a possibilidade de inserção de conteúdos relacionados a tais tecnologias no desenho curricular dos cursos técnicos, ou o oferecimento de cursos de especialização.**



## 8 Relação de Especialistas e de Tecnologias Emergentes

### 8.1 Especialistas: Prospecção Tecnológica

Nome	Instituição/Indústria
Anselmo Eduardo Diniz	UNICAMP
Carlos Eduardo Pereira	UFRGS – Engenharia Elétrica
Clovis Pacheco	TECNOHOW
Daniel H. Aguirre Castaneda	INDEX
Fabiano Barboza	ALTUS
Gilberto Ávila	SISBBER ASSESSORIA TÉCNICA
Gustavo Meneghello	MURI ENGENHARIA
Iedo Vargas	UNISINOS
Jânio Bragança	Johnson Controls Automotive
Janito Vaqueiro Ferreira	UNICAMP
Jonas Carvalho	USP/São Carlos
Jun Okamoto Junior	USP
Luiz Sasada	GRAPHO
Marco Stipkovic Filho	STIP
Newton de Mello	ABIMAQ
Oswaldo Horikawa	USP
Reginaldo Teixeira Coelho	USP/São Carlos
Siegfried Koelln	SKA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
Vicente Pereira	ZEMA ZSELICS
Victor A. Rosales	ZF do Brasil
Werner Spieweck	OMNITEC AERONÁUTICA



## 8.2 Tecnologias Emergentes Específicas: 1ª Rodada

Segmento	Tecnologia	Tecnologia/Característica
Matéria-Prima	Bases fabricadas com concreto polimérico	Uso na estrutura de máquinas-ferramenta, em substituição às bases de ferro fundido, visando a maior absorção de impacto.
	Materiais cerâmicos	Uso em mancais, barramentos e guias de máquinas, visando a maior resistência ao desgaste e ao calor.
	Rolamentos de cerâmica	Uso em sistemas rotativos de elevada rotação, de alta precisão, em ambientes agressivos, no vácuo e em elevada temperatura.
	Processo CVD ( <i>chemical vapor deposition</i> ) para a deposição de diamante ou de DLC ( <i>diamond-like carbon</i> )	Uso no revestimento de ferramentas e peças metálicas e poliméricas, com a finalidade de aumentar a resistência ao calor e a dureza e baixar o coeficiente de fricção.
Projetos de Máquinas e Equipamentos	Software CAE para projeto de produto	Uso no projeto de máquinas e equipamentos antes de se construir um protótipo físico para simulação da utilização de componentes e conjuntos mecânicos, analisando vibrações no uso da máquina; estudo de esforços, tensões e avaliação da resistência de componentes e conjuntos das máquinas sob diferentes condições de aplicação.
	Software CAE para projeto do processo de fabricação	Uso no planejamento do processo de fabricação, para simulação dos processos de fabricação, analisando o escoamento de material nos processos de conformação mecânica, fundição e injeção plástica, a fim de avaliar o preenchimento de canais e moldes, surgimento de falhas, etc.
	Projeto de máquinas modulares	Uso no desenvolvimento de máquinas, para que a partir de um número menor de alternativas construtivas e módulos seja possível construir uma grande combinação de máquinas diferentes, aumentando o reaproveitamento de módulos.
	Prototipagem rápida	Uso no desenvolvimento de produtos para que novas peças sejam fabricadas do modelo CAD, sem necessidade de usinagem ou ferramentas de injeção ou forjamento, com objetivo de se testar a forma da peça com antecedência.
	Realidade virtual	Uso no projeto de máquinas para simulação e visualização de operação com base no modelo 3D dos componentes e conjuntos.
	Digitalização por luz estruturada	Uso no desenvolvimento de produto e prototipagem rápida de superfícies complexas, com a finalidade de reduzir o tempo de desenvolvimento, custos e obtenção de design apurado.
	CAD <i>High-End</i> para superfícies complexas	Uso na modelagem de superfícies complexas 3D, com a finalidade de reconstruir superfícies técnicas, reduzir o tempo de desenvolvimento do produto e obter ganho de qualidade.
CAD <i>High-End</i> para formas livres	Uso na modelagem de formas livres 3D com a finalidade de obter-se um <i>design</i> apurado e uma reconstrução rápida de superfícies.	
Processo de Fabricação	Injeção termoplástica com gás ou água	Uso na fabricação de peças termoplásticas, permitindo economia de material e menor peso das peças (peças ocas).
	Injeção multimaterial ou co-injeção	Uso na fabricação de peças plásticas de múltiplas cores ou materiais diferentes em uma mesma matriz, com objetivo estético ou funcional.
	Deposição de filmes cerâmicos	Uso no revestimento de ferramentas de corte, conferindo alta dureza, resistência ao desgaste por fricção e abrasão e maior vida útil da ferramenta.
	Ferramentas modulares de troca rápida	Uso nos processos de usinagem em máquinas operatrizes CNC, com a finalidade de diminuir o tempo de preparação de máquina e aumentar a produtividade.
	Novas geometrias de ferramentas de corte	Uso nos processos de usinagem, com o objetivo de aumentar o desempenho da ferramenta, facilitar o corte e melhorar o acabamento da peça, garantindo, assim, a obtenção de perfis complexos.

Processo de Fabricação	CBN (Nitreto Cúbico de Boro)	Uso em ferramentas de corte e conformação para aumentar a resistência ao desgaste.
	High Speed Cutting	Uso na usinagem de formas complexas e de peças de alta precisão, proporcionando, por meio de altas velocidades de rotação e avanço, redução de custos, tempo de produção e acréscimo de qualidade.
	Máquinas de usinagem de até 18 eixos (Hexapode)	Uso em sistemas de usinagem de 5 eixos em robótica (macro e micro), onde o volume trabalhado é pequeno em relação ao volume da máquina. As vantagens são as grandes acelerações, devido à pequena massa do cabeçote. Variantes são o hexaglide e concepções que unem características de cinemáticas paralelas e cinemáticas convencionais.
	Usinagem a seco (verde)	Uso em processos de usinagem não abrasivos, visando minimizar o impacto sobre o meio ambiente pela eliminação do fluido refrigerante.
	Corte por plasma	Uso no corte de materiais metálicos de alta resistência e pequenas espessuras.
	Corte a laser	Uso no corte de alta velocidade de materiais de alta dureza, aumentando o nível de precisão em cortes de geometrias complexas.
	Termoformagem	Uso na confecção de peças plásticas para a máquina-ferramenta por meio de conformação de filmes plásticos em peças através da utilização de calor no filme e de vácuo no molde
	Hydroforming	Uso na estampagem de peças de formas complexas em apenas uma operação, através da utilização de uma meia-ferramenta rígida e um fluido sob pressão.
	Soldagem a laser	Uso na união de peças metálicas com alta precisão, obtendo-se melhor qualidade da união soldada, com mínima deformação.
	Soldagem por fricção	Uso em materiais metálicos no estado sólido sem adição de material, obtendo-se melhores propriedades mecânicas e metalúrgicas do que os processos convencionais.
	Tratamento térmico a laser	Uso no tratamento localizado em peças metálicas com geometria complexa, resultando numa menor geração de deformações mecânicas.
	Plasma <i>spray</i>	Uso na deposição de filmes metálicos ou cerâmicos em peças metálicas, com a finalidade de melhorar as características mecânicas superficiais.
	Aspersão térmica <i>High Velocity Oxygen Fuel</i> – HVOF	Uso no revestimento metálico e cerâmico de ferramentas e peças, com a finalidade de aumentar a dureza e a resistência ao desgaste, corrosão e abrasão.
Automação	Válvulas microprocessadas	Uso em sistemas de automação hidráulica ou pneumática, no monitoramento e controle de variáveis.
	Músculo pneumático	Uso em acionamentos com elevadas forças e pequeno curso, através de um tubo capaz de executar contração e expansão, consumindo até 40% menos energia e força até 10 vezes maior que um cilindro convencional equivalente, e ocupando apenas 1/3 do espaço.
	Redes de campo ( <i>profibus, devicenet, fieldbus, etc.</i> )	Uso na interligação da instrumentação ao controle da máquina, possibilitando a comunicação da instrumentação, e, por conseguinte, a modularização da máquina e o diagnóstico do seu funcionamento.
	Redes neurais	Uso no aprendizado e na modelagem de sistemas de controle da máquina-ferramenta, com o objetivo de otimização e melhoria do desempenho.
	Monitoração remota de máquinas	Uso no controle da operação de máquinas, monitorando e transmitindo para sistemas de gestão os parâmetros de processo e uso.
	Monitoração integrada de processo	Uso no controle do processo de fabricação, monitoramento da fabricação por meio de sensores acústicos, térmicos e de força e permitindo a tomada de decisão autônoma pela máquina.

Automação	Sistema eletrônico integrado ( <i>SOC --System On Chips</i> )	Uso na automação de máquinas em geral de tecnologia baseada em microplaqueta com complexos sistemas eletrônicos integrados desenvolvidos com tecnologias submicrônicas sobre chips de silício, capaz de substituir volumosos <i>hardwares</i> .
	<i>Harmonic drives</i>	Uso na automação de máquinas e na robótica de tecnologia baseada em redutor coaxial com elevado torque, alta repetibilidade e taxas de redução de até 1 para 200 ou maior, para movimentações de precisão.
	Motores lineares	Uso em máquinas que necessitam de alto torque e velocidade, permitindo posicionamentos controlados em substituição de caixas de redução e outros sistemas mecânicos de movimentação.
	Motores integrados ao eixo-árvore	Uso em máquinas e equipamentos para acionamento em alta velocidade (até mais de 15.000 rpm) e torque de até 150 Nm.
	Robôs de soldagem	Uso na produção seriada de bens duráveis, permitindo movimentos rápidos e precisos de equipamentos de solda por corrente elétrica, gás, arco, plasma ou laser.
	Robôs de montagem	Uso na produção seriada de componentes ou partes de conjuntos. São capazes de selecionar e movimentar com rapidez e precisão posicionando as peças para montagem e fixação.
Qualidade	Micrômetro de varredura a laser	Uso na inspeção no processo produtivo de peças frágeis, muito pequenas, com altas temperaturas ou em movimento, realizando uma medição sem contato, rápida e de elevada exatidão.
	Laser na medição	Uso na inspeção dos erros de geometria da máquina-ferramenta, com resolução de até um nanômetro e faixa de medição de até 40 m.
	Tomografia de peças	Uso no controle de qualidade na fabricação de peças complexas, de tecnologia baseada na geração de imagens radiográficas em tempo real para obtenção da imagem em 3D.
	Método <i>grazing incidence optics</i>	Uso no controle de forma e posição de peças não especulares, com resolução de 10 nanômetros e dimensão de até 200 mm.
Gestão	<i>Software</i> de programação CN gráfica na máquina	Uso no CNC das máquinas, possibilitando que o operador crie programas interativamente, com maior eficiência, com base no modelo gráfico da peça, em substituição dos comandos alfanuméricos.
	<i>Software</i> de programação CN associado à máquina	Uso na programação CN durante o ciclo de trabalho, liberando a máquina para trabalhar em paralelo e utilizando o conhecimento do operador na programação CN.
	Dispositivo para <i>setup</i> rápido	Uso em máquinas-ferramenta, eliminando o tempo de preparação de máquinas e permitindo a produção de lote unitário de peças diferentes.
	Visualização gráfica da tarefa ao lado da máquina (folhas de instruções e croquis)	Uso no chão-de-fábrica ao lado dos equipamentos, permitindo aos operadores acessar instruções de trabalho atuais, que podem ser mudadas via <i>web</i> pela engenharia de processos, eliminando, assim, papéis e garantindo a qualidade do trabalho.
	CEP eletrônico integrado ao CNC	Uso nos comandos CN das máquinas, permitindo que dados de qualidade do processo sejam transmitidos on-line para os sistemas de gestão, possibilitando o monitoramento de produção discreta e intervenções de melhoria de qualidade quando necessário.
	Mapeamento de fluxo de valor	Uso na definição e otimização do <i>lay-out</i> de produção, fazendo com que o operador seja envolvido e dê a sua contribuição na organização da produção.
	Máquinas organizáveis em células	Uso na formação de células de produção, possuindo características de interconectividade com outras máquinas e equipamentos e assim otimizando a célula.
	Máquinas flexíveis para mudanças constantes de <i>lay-out</i>	Uso na formação de células de produção, eliminando a necessidade de fundação para instalação da máquina em um ambiente produtivo, permitindo assim uma maior flexibilidade de mudança da aplicação da máquina.
	Dispositivos <i>Poka Yoke</i>	Uso no controle de qualidade da produção, para diminuir ou eliminar as falhas no processo, por meio de métodos simples.



## 8.3 Especialistas: Prospecção Organizacional

<b>Nome</b>	<b>Instituição/Indústria</b>
Alfredo V. F. Ferrari	Ergomat
Antonio Batocchio	UNICAMP
Edson Ferreira	Begra
Günter Zikeli	Zikeli
Jorge Messias Pinto De Oliveira	Indextornos
Julio João V. Silveira	JVS
Marco Yashiro	Schuler
Oscar Passos	B. Grob
Paulo Wesley Dornellas	Marposs
Ramiro Martin Fernandez	Asamaq
Reinaldo Chinenatto	Chinenatto
Ronaldo Francischetti Marino	Imag
Sergio Vieira Holtz Filho	Sholtz



## 8.4 Participantes do Grupo de Prospecção e Monitoramento – GPM

Nome	SENAI
Alberto E. Besser Freitag	RJ
Cláudia Lopes Maia	PB
Edmar Alcântara	MG
Elizabeth Urban	RS
Érulos Ferrari Filho	SP
Fabrizio Machado Pereira	SC
Francy Guimarães	UNIPOG
Jairo Menezes de Oliveira	ES
Juliana Escandolhero	MS
Maria Eliane F. A. S. Monteiro	UNIEP
Marília de Souza	PR
Sílvia Barros	AM
Zeide Gusmão	UNITEC



## 8.5 Participantes dos Observatórios (SENAI)

<b>Especialista</b>	<b>SENAI</b>
Antônio Luiz Gaspar	MG
Claiton Costa	RS
Daniela Rocha Barra	MG
Janine Bendorovicz Trevisan	RS
Jaures Oliveira	RS
Marcos Borges	RS
Reynaldo Medeiros	RN
Tatiana Sanchez	RJ



# Referências

BARRADAS, A. **Impactos Ocupacionais no Setor de Máquinas e Equipamentos:** estudo de caso. Pleno Perfil Consultoria. Rio de Janeiro, 2004.

BURNS, M. **Automated Fabrication.** Prentice-Hall, New Jersey, 1993.

MASCIA, L. P. **Prospecção Organizacional para o Setor de Máquinas e Equipamentos.** São Paulo: USP, 2004.

NAVEIRO, R.M. **Estudo Setorial:** máquinas-ferramenta. Rio de Janeiro: UFRJ / Instituto de Economia, 2004.

PAGE, M. Product Innovation by End-Users. In: **Proceedings** - Mantys Conference EMO, Milão, 2003.

## **SENAI/DN**

### **Unidade de Tendências e Prospecção - UNITEP**

*Luiz Antonio Cruz Caruso*

Coordenador

### **Elaboração**

*Luiz Antonio Cruz Caruso*

*Marcello José Pio*

### **Grupo Executor**

*Henrique Rozenfeld, Dr.*

USP/São Carlos

*Walter Weingaertner, Dr.*

UFSC

*Alex Krummenauer*

DR/RS-CETEMP

*Laur Scalzaretto*

DR/SP-Escola Roberto Simonsen

*Nilton César Pereira*

DR/GO-CET Ítalo Bologna

*Rafael Grangeiro*

DR/RS-CETEMP

### **Grupo Técnico**

*Márcio Guerra Amorim*

SENAI/DN

Análise de Tendência Ocupacional

*Rosana B. Boani Pauluci*

SENAI/DN

Estudo de Educação Profissional Comparada

*Paulo Tigre, Dr.*

I.E/UFRJ

Prospecção Tecnológica

*David Kupfer, Dr.*

I.E/UFRJ

Prospecção Tecnológica

*Ricardo Naveiro, Dr.*

COPPE/UFRJ

Prospecção Tecnológica

*Afonso Fleury, Dr.*

E.P/USP

Prospecção Organizacional

*Fausto Mascia, Dr.*

E.P/USP

Prospecção Organizacional

*Anésia Barradas, Msc.*

Consultora

Mudanças Prováveis em Perfis Profissionais

*Maria Ilca S. Lima, Dra.*

Consultora

Ocupações Emergentes

## **Superintendência de Serviços Compartilhados – SSC**

### **Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND**

*Fernando Ouriques*

Normalização

---

*Roberto Azul*

Revisão Gramatical

*Exa World*

Projeto Gráfico