

---

## Capítulo 2

# Prospecção Tecnológica

A prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo. Diferentemente das atividades de previsão clássica, que se dedicam a antecipar um futuro suposto como único, os exercícios de prospecção são construídos a partir da premissa de que são vários os futuros possíveis. Esses são tipicamente os casos em que as ações presentes alteram o futuro, como ocorre com a inovação tecnológica. Avanços tecnológicos futuros dependem de modo complexo e imprevisível de decisões alocativas tomadas no presente por um conjunto relativamente grande de agentes não colusivos. Os exercícios de prospecção funcionam como meio de atingir dois objetivos: O primeiro é preparar os atores na indústria para aproveitar ou enfrentar oportunidades ou ameaças futuras. O segundo objetivo é desencadear um processo de construção de um futuro desejável. A seguir detalharemos o Modelo Senai de Prospecção Tecnológica partindo das definições necessárias para sua compreensão, passando pelos conteúdos dos estudos setoriais até a revisão da metodologia Delphi aplicada.

### **2.1 Invenção, Inovação e Difusão**

O sucesso na introdução de novas tecnologias depende fundamentalmente da capacidade das empresas absorverem eficientemente novos equipamentos, sistemas e processos produtivos. Isso inclui a incorporação de novas rotinas, procedimentos e informações técnicas que, para serem efetivamente adotadas, dependem da capacidade dos recursos humanos de transformar informação em conhecimento. Assim, a difusão de novas tecnologias está diretamente associada ao desenvolvimento de novas capacidades cognitivas para solucionar problemas na introdução, otimização e adaptação de tecnologias específicas ao seu ambiente de trabalho. É justamente nesta etapa da difusão que reside a ação do Senai que, além de atuar na qualificação profissional, contribui, através da prestação de serviços técnicos, para reforçar a capacidade sistêmica de absorção de novas tecnologias. A trajetória das mudanças tecnológicas, desde

---

a criação de um protótipo até sua ampla utilização no mercado, é geralmente dividida em três fases:

- **Invenção:** Criação de um processo, técnica ou produto inédito. Ela pode gerar protótipos, patentes e plantas pilotos sem necessariamente ter uma aplicação industrial.
- **Inovação:** Ocorre com a primeira aplicação de uma invenção em atividades econômicas. As melhorias incrementais feitas em produtos, processos ou serviços podem, também, ser consideradas inovações.
- **Difusão:** Processo temporal pelo qual o mercado adota a inovação. Segundo Rogers (1995), é o processo pelo qual uma inovação tecnológica é comunicada através de determinados canais de comunicação durante um período de tempo para os membros de um sistema social.

Quando ocorre uma inovação, ou seja, quando uma invenção é efetivamente introduzida no mercado, seus efeitos sobre a necessidade de novos conhecimentos e aptidões são geralmente limitados à empresa inovadora. Nesta fase ainda não há uma padronização de equipamentos e processos e as escalas de produção são tipicamente reduzidas, prescindindo da necessidade de qualificação de um volume significativo de recursos humanos. A demanda por novas qualificações profissionais na indústria surge quando uma tecnologia se mostra bem sucedida, ganha novas aplicações e se difunde para outras empresas. Na fase de difusão, a preocupação dos empresários passa a residir na capacidade de absorvê-la eficientemente, articulando os aspectos físicos e não físicos das tecnologias. Cabe lembrar que o processo de difusão realimenta a inovação, através dos processos de aperfeiçoamento e aprendizado por meio do uso e da interação com fornecedores e clientes.

## 2.2 A Dinâmica da Difusão

A dinâmica da difusão pode ser entendida como a trajetória de adoção de uma tecnologia no mercado, com foco nas características da tecnologia e nos demais elementos que condicionam seu ritmo e direção. Os estudos de difusão, entretanto, não podem se limitar ao monitoramento da introdução de “hardware” (bens físicos, máquinas, equipamentos, componentes, etc). O sucesso na introdução de novas tecnologias depende diretamente da forma como as empresas equacionam os elementos do tipo “soft”, a exemplo da aplicação e uso das informações codificadas, implementação de mudanças organizacionais

---

e re-treinamento dos recursos humanos. O processo de monitoramento da difusão comporta quatro fases:

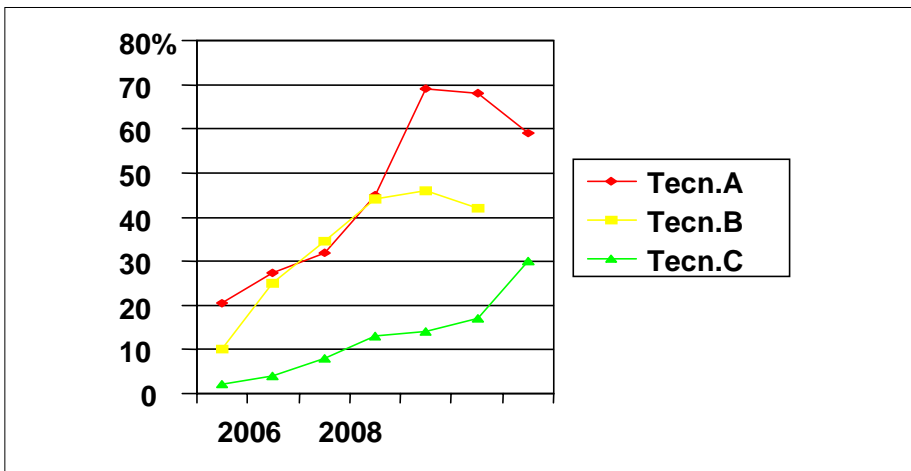
- *Direção Tecnológica*

Na fase de inovação, vários padrões diferentes competem entre si, enquanto as aplicações são incipientes e não estão ainda efetivamente testadas no mercado. Exemplos de “guerra de padrões” são encontrados em várias indústrias e é preciso inicialmente analisar quais inovações radicais e incrementais podem ser difundidas a curto, médio e longo prazo. Para isso é necessário, inicialmente, avaliar quais são as tendências ou rotas tecnológicas dominantes. A metodologia empregada inclui fontes primárias e secundárias. As secundárias se baseiam na revisão da literatura técnica e científica especializada dos estudos de prospecção tecnológica existentes, em revistas técnicas e na consulta a arquivos e *sites* de associações técnicas e científicas. Já as informações primárias são geralmente obtidas através da consulta a dirigentes de empresas, associações de classe, pesquisadores e técnicos atuando no setor.

- *Ritmo de Difusão*

A estimativa da velocidade com que uma nova tecnologia será difundida, ou seja, o tempo necessário para alcançar parcelas significativas de usuários, é um dos aspectos centrais dos exercícios de previsão tecnológica. O ritmo da difusão deverá determinar o mercado potencial, assim como balizar os esforços de treinamento dos recursos humanos. A figura abaixo projeta, de forma hipotética, o tempo necessário para três tecnologias atingirem determinados percentuais de difusão entre seus usuários potenciais.

Para avaliar o ritmo de difusão, é necessário avaliar em que setores ou segmentos da indústria ela será mais usada. As novas tecnologias podem ter uma aplicação restrita ou abrangente na indústria. Podem ser orientadas para uma determinada etapa da cadeia produtiva ou serem genéricas ou horizontais. Da mesma forma, a influência das economias de escala e escopo devem ser avaliadas. Em alguns casos, devido a tais economias, a difusão será limitada a grandes empresas, cujo volume de operações justifica a adoção de tecnologias e equipamentos de maior porte. Outra diferença pode estar relacionada ao tipo de mercado visado pela empresa. Em muitos casos, empresas voltadas para o mercado externo têm maiores demandas tecnológicas e, portanto, tendem a adotar mais rapidamente novas tecnologias. A figura de página seguinte mostra, de formas estilizadas, curvas de difusão hipotéticas para três tecnologias. As curvas têm a forma clássica de um “S”, alternando períodos de introdução, crescimento, maturação e declínio.



- *Fatores Condicionantes*

A difusão de novas tecnologias depende de vários fatores, que atuam tanto de forma positiva quanto negativa. Tais fatores podem ser divididos em técnicos, econômicos e institucionais, embora muitos destes aspectos estejam relacionados entre si.

Do ponto de vista técnico, o ritmo de difusão é condicionado pelo grau pelo qual uma inovação é percebida como difícil de ser entendida e usada. Quanto mais complexa, maiores serão os investimentos na qualificação de recursos humanos e maior a necessidade de externalidades positivas. Por exemplo, para que uma tecnologia considerada complexa se difunda é necessário contar com a disponibilidade de serviços locais de manutenção e treinamento e solução de problemas, o que dificulta a difusão em regiões menos desenvolvidas industrialmente. Tecnologias muito inovadoras podem criar impasses no processo decisório, devido à insuficiência de informações, incertezas e riscos do pioneirismo. Da mesma forma, muita variedade de alternativas tecnológicas torna difícil a comparação entre elas. Geralmente a difusão depende de um processo de co-evolução entre um conjunto relacionado de inovações. Ou seja, para que determinados produtos e serviços se difundam no mercado é preciso que outras inovações estejam disponíveis. A co-evolução é especialmente relevante em indústrias de rede, a exemplo das telecomunicações, onde a introdução de um novo equipamento ou tecnologia depende da possibilidade de interconectá-la às diversas partes e componentes de um determinado sistema conforme as aplicações requeridas pelos usuários.

---

A consolidação de determinados padrões tecnológicos é um condicionante técnico muito importante para a difusão. Os padrões podem ser resultado do sucesso comercial de um determinado protocolo ou conjunto de regras de inter-relacionalidade técnica (conhecidos na literatura como “padrões de fato”) ou estabelecidos de comum acordo por governos, associações de empresas ou organismos multilaterais.

Algumas inovações aumentam seu valor à medida que mais empresas os usam. O “feedback positivo” aumenta os efeitos de pequenas mudanças, produzindo retornos crescentes aos usuários. Quanto mais uma tecnologia é adotada, mais ela é utilizada, mais se aprende sobre ela e mais ela é desenvolvida e melhorada. À medida que uma tecnologia se difunde, um conjunto de outras tecnologias complementares é desenvolvido para apoiá-la.

Do ponto de vista econômico, o ritmo de difusão depende dos custos de aquisição e implantação da nova tecnologia assim como das expectativas de retorno do investimento. Os custos de manutenção, possibilidade de aproveitamento de investimentos já realizados em equipamentos (*vintage capital*) e em sistemas legados são importantes nesta avaliação. As estratégias competitivas das empresas também influem. Empresas inovadoras geralmente são pioneiras, devido a sua tendência de explorar oportunidades tecnológicas. Outras empresas são mais conservadoras em sua decisão de inovar, preferindo esperar os resultados dos inovadores para decidir imitar ou não. A avaliação dos custos deve incluir os riscos de o usuário tornar-se dependente ou cativo de um determinado fornecedor, fato que aumenta significativamente os custos de transação.

Por fim, os fatores institucionais estão associados à disponibilidade de financiamentos a longo prazo, aos incentivos fiscais, ao clima favorável ao investimento no país, aos acordos internacionais de comércio e investimento, à existência de capital humano e instituições de apoio, recursos conhecidos na literatura especializada como “sistema nacional ou local de inovações”. Dependendo do setor ou da tecnologia, os fatores institucionais que condicionam a difusão de novas tecnologias podem incluir o marco regulatório e o regime jurídico do setor ou do país como um todo.

- *Impactos*

A avaliação dos impactos depende dos objetivos de cada projeto. No caso do SENAI, os impactos relevantes da introdução das novas tecnologias estão associados ao volume quantitativo de emprego, ao conteúdo do trabalho e às necessidades de qualificação profissional.

---

O volume de emprego gerado ou eliminado depende tanto da natureza do processo quanto das mudanças organizacionais necessárias para sua implantação. A adoção de novas tecnologias pode ter grande impacto na estrutura organizacional das empresas e a decisão de investir é condicionada pela flexibilidade organizacional das plantas.

### 2.3 Condicionantes Setoriais

A forma como uma tecnologia se difunde e se integra ao sistema produtivo depende diretamente das características dos diferentes setores. A natureza dos produtos e processos, a trajetória das inovações, os fatores determinantes da dinâmica setorial, a escala típica e a intensidade do conhecimento incorporado constituem elementos diferenciados em setores ou conjunto de setores que precisam ser analisados para balizar exercícios de prospecção tecnológica. Os setores também apresentam características econômicas que influenciam a dinâmica de difusão tecnológica, a exemplo da intensidade da competição, concentração da produção, barreiras à entrada, abertura à competição internacional e regime de regulação. A dimensão setorial constitui, portanto, um instrumento essencial para entender o ambiente estrutural e sistêmico no qual as firmas estão inseridas.

Os setores podem ser agrupados segundo suas características técnicas e econômicas. Para os objetivos de nosso modelo de prospecção, recorreremos à taxonomia proposta pelo Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira (Ferraz, Kupfer e Haguener, 1996) que propõe uma divisão da indústria manufatureira em quatro segmentos, agrupados segundo o padrão de concorrência típico. As características do processo competitivo em cada um destes conjuntos de setores influenciam o processo de difusão tecnológica de diferentes formas. A natureza do produto e do padrão de competição em cada setor influencia diretamente o tipo e a trajetória das inovações. Assim, o estudo poderá atribuir maior ênfase a inovações de produto, de processo ou à gestão da produção, dependendo do setor analisado.

- *Setores Produtores de Commodities*

As *commodities*, a exemplo dos produtos químicos, siderúrgicos e da celulose, são produzidas através de fluxos contínuos em processos produtivos altamente integrados. Nestes setores observa-se elevada participação no mercado de um número limitado de empresas, uma estrutura industrial descrita na literatura econômica como oligopólio homogêneo. As plantas são intensivas

---

em capital e operam em grande escala. Nesse contexto, o investimento inicial condiciona as estratégias tecnológicas subseqüentes, pois os “custos afundados” são geralmente amortizados em longos períodos de tempo. A difusão de novas tecnologias depende da complementaridade e compatibilidade com o processo de produção específico adotado. A difusão resulta de um processo de co-evolução de um conjunto relacionado de inovações e, para que determinados equipamentos e processos sejam absorvidos, é necessário que sejam compatíveis com os padrões definidos inicialmente e com a possibilidade de serem conectados às diversas partes e componentes do sistema. Nas indústrias de fluxo contínuo, há, portanto, uma forte dependência da trajetória passada, pois a difusão de novas tecnologias depende de decisões técnicas progressas que prendem as empresas a determinados padrões.

Como as commodities são produtos pouco diferenciados, os preços têm um papel importante na competição. As inovações têm um viés de redução de custos, através da busca da otimização dos processos. Os produtos devem atender a especificações determinadas por padrões técnicos ou ambientais e pelas exigências dos processos produtivos dos clientes. Assim, ganham relevância na trajetória tecnológica das empresas as tecnologias não-incorporadas, tais como a gestão pela qualidade total e a adequação às novas legislações ambientais e trabalhistas. Apesar de serem produtos considerados homogêneos, observam-se em setores produtores de commodities esforços de diferenciação através do desenvolvimento de produtos de maior valor agregado. Os setores produtores de commodities não se limitam ao uso de tecnologias externas à empresa, pois recorrem freqüentemente a fontes internas de tecnologia para solucionar problemas inerentes à planta instalada.

- *Setores Tradicionais*

As indústrias definidas como “tradicionais” são bastante heterogêneas, dado à intensa segmentação de mercados em termos de níveis de renda dos consumidores. Segundo Ferraz et al (1996), a variedade de produtos e de procedimentos produtivos está associada à igual variedade na demanda. Nesse contexto, o grau de importância para a competitividade de atributos dos produtos, tais como preço, marca e adequação ao uso, irá variar de acordo com a renda. Quanto maior for a renda, menor o peso relativo do atributo preço e maior a importância dos atributos, adequação ao uso e às especificações da clientela. Assim, nos setores tradicionais coexistem processos produtivos e níveis tecnológicos diferenciados, segundo a escala produtiva e variedade de produtos.

---

Do ponto de vista da difusão de novas tecnologias, o setor caracteriza-se como usuário de inovações incorporadas em equipamentos e insumos críticos. Na maioria dos segmentos não há necessariamente um sistema integrado de produção. Na indústria têxtil, por exemplo, é comum um novo tear automatizado operar ao lado de equipamentos mais antigos na fabricação de um mesmo produto. Na maioria dos setores classificados como tradicionais não há um esforço próprio de pesquisa e desenvolvimento, embora possam ocorrer inovações em design e adaptações às necessidades e poder de compra dos consumidores. Para efeito de estudos de difusão, há maior facilidade de monitorar e analisar os impactos, à medida que a tecnologia geralmente é incorporada em novos equipamentos, matérias primas e insumos.

- *Setores Produtores de Bens Duráveis e seus Fornecedores*

As empresas inseridas nestes setores geralmente são de médio e grande porte e são inovadoras em várias áreas da atividade empresarial, incluindo novos produtos, processos, desenvolvimento de novos mercados, uso de novas matérias primas, inovações logísticas e organizacionais. Os setores automobilísticos e de bens eletrônicos de consumo, por exemplo, são pioneiros na introdução de inovações que mais tarde se difundem para outros segmentos da indústria manufatureira. A competição nestes setores é global e muito acirrada, exigindo uma constante renovação de produtos e incorporação de maior conteúdo tecnológico. Segundo Ferraz et al (1996) os produtores competitivos são aqueles capazes de diferenciar produtos e comandar a produção e montagem em grandes volumes de uma ampla gama de componentes. Isso requer o aumento das economias de escala e escopo e a difusão de técnicas para redução de custos e aumento da conformidade dos produtos e insumos às normas vigentes.

As empresas líderes nestes setores são pioneiras na introdução de modos de produção enxuta, em substituição dos modelos fordistas tradicionais. Tal produção requer a incorporação de equipamentos flexíveis de base microeletrônica, organização da produção em células, automação da produção e uso intensivo de técnicas organizacionais orientadas à melhoria contínua dos processos produtivos. Tais mudanças geralmente requerem a requalificação da força de trabalho, de forma a capacitá-la para absorver novas técnicas e operar em ambientes mais flexíveis e polyvalentes. Em função da elevada relação entre os custos dos componentes e o valor da produção, as indústrias de montagem tendem a desverticalizar e formar redes de empresas.



---

- *Setores Difusores do Progresso Técnico*

Os setores difusores do progresso técnico têm em comum o fato de suprirem tecnologia para os demais setores industriais através de máquinas, equipamentos e insumos estratégicos. Exemplos típicos são as indústrias de bens de capital, de especialidades químicas e de equipamentos e componentes para informática e telecomunicações. Tais setores são muito heterogêneos pela existência de intensa segmentação tecnológica dos mercados. Cada empresa está em concorrência direta com poucas outras, devido à especificidade das aplicações. O grau de endogenização dos esforços tecnológicos é maior, tipicamente em centros próprios de P&D, destinados ao desenvolvimento de novos produtos. Em muitos casos as escalas de produção são em lotes pequenos, tornando a tecnologia de processo um aspecto menos importante (exceto em qualidade).

Para efeito da análise dos impactos da difusão da tecnologia sobre a qualificação do trabalho, entretanto, é importante observar o processo de incorporação destas tecnologias em setores usuários. Por exemplo, uma nova máquina-ferramenta pode ser fabricada utilizando processos relativamente simples, mas seu impacto nos setores usuários pode não ser trivial. A operação dos novos equipamentos nos setores que incorporam as novas tecnologias freqüentemente alteram processos produtivos e demandam a requalificação da força de trabalho.

A definição de um elenco de tecnologias a serem prospectadas requer, portanto, uma visão prévia das características do setor e suas principais rotas tecnológicas. Algumas tecnologias têm aplicação multisetorial, exigindo uma visão mais ampla do processo de difusão. Em alguns casos pode ser necessária a visão da cadeia produtiva do setor, segundo a intensidade tecnológica e sua segmentação prática.

## **2.4 Avaliação do dinamismo econômico dos setores e segmentos**

Do ponto de vista econômico, é necessário avaliar o dinamismo setorial e suas perspectivas de investimentos em seus diferentes segmentos. A incorporação de novas tecnologias está diretamente associada ao dinamismo setorial. Os investimentos em novas tecnologias são geralmente realizados em fases de expansão do mercado, quando a capacidade instalada se mostra insuficiente para atender a demanda projetada. Alguns setores, principalmente os dominados pela escala, são caracterizados por “custos afundados” e as inovações são incorporadas quando há necessidade de introduzir uma nova

---

planta, ou linha de produtos. As oportunidades de crescimento podem ser verificadas através das seguintes análises:

- **Crescimento recente** nos diferentes segmentos que compõem o setor, através da análise da evolução da oferta e demanda, exportações e importações.
- **Estrutura da indústria.** Identificação das principais empresas, da concentração do mercado e do seu grau de abertura. Uma estrutura muito pulverizada pode retardar as inovações, enquanto setores mais concentrados geralmente apresentam economias de escala e escopo que viabilizam inovações. Uma orientação para o mercado externo também é indicação da necessidade de inovação, pois o segmento se defronta com mercados mais exigentes em termos de produtos e qualidade.
- **Evolução do número de trabalhadores** na indústria. O número absoluto de trabalhadores no segmento ou setor é um dado relevante para os propósitos do modelo, pois mostra a abrangência da demanda por formação profissional.
- **Investimentos programados.** A partir de informações setoriais (geralmente anunciadas na imprensa especializada), pode-se verificar a existência de planos de expansão, entrada de novos competidores no mercado.
- **Estrutura da cadeia de suprimentos.** O dinamismo e o grau de aproximação da cadeia de suprimento podem afetar diretamente o grau de difusão de uma tecnologia, caso ela necessite de novos padrões de matérias-primas.

Em setores difusores de tecnologia, o dinamismo do mercado pode ser avaliado pelo potencial de crescimento dos setores usuários. Havendo possibilidades de expansão de seus respectivos mercados, seja pelo crescimento econômico do país, pela alta elasticidade-renda, ou pelo crescimento das exportações (ou substituição das importações), impactos ocupacionais relevantes podem ocorrer.

---

## 2.5 Identificação das Tendências ou Trajetórias Tecnológicas e Fatores Determinantes de Difusão em cada Setor

Consideradas as características estruturais de um setor, é possível delimitar áreas críticas de desenvolvimento tecnológico, de forma a iniciar a seleção de tecnologias cujo processo de difusão deverá ser monitorado. Não existe um roteiro único, já que cada conjunto de setores apresenta certas peculiaridades. Mas os seguintes passos são necessários para tornar mais efetiva a análise.

- **Identificação de oportunidades tecnológicas** (*technology push*), resultantes de inovações radicais como ocorre na microeletrônica, na nanotecnologia, e na biologia molecular. Por exemplo, a incorporação de comando numérico em máquinas ferramentas, de SDCD nas indústrias de processo ou de robôs na indústria automobilística se originam em oportunidades de aplicação de tecnologias chaves como a microeletrônica, software e a mecatrônica.
- **Identificação de pressões da demanda** (*demand pull*), derivadas de novas exigências do mercado por novos produtos e serviços. Tais pressões ocorrem quando empresas inovadoras estabelecem novas trajetórias de inovações que caem nos gostos dos consumidores. Em outros casos, a demanda se posiciona em favor de certas inovações, seja por modismo ou pela demanda dos clientes por soluções inovadoras para determinados problemas.
- **Avaliação da complexidade tecnológica**, ou seja, o grau pelo qual uma inovação é percebida como difícil de ser entendida e usada também condiciona o processo de difusão. Tecnologias muito inovadoras podem criar impasses no processo decisório, devido à insuficiência de informações, incertezas e riscos do pioneirismo. Da mesma forma, muita variedade de alternativas tecnológicas torna difícil a comparação entre elas. Muitas inovações requerem tecnologias complementares para serem viabilizadas, especialmente em processos sistêmicos, aumentando os custos dos investimentos. A complexidade da tecnologia pode ser observada no descompasso entre o ritmo de introdução da inovação, do lado da oferta, e o ritmo do processo de aprendizado e acumulação de conhecimentos do lado da demanda. O aprendizado é um processo cumulativo e a experiência passada pode tanto facilitar como dificultar o processo de acumulação de uma determinada tecnologia na empresa.
- **Natureza dos conhecimentos**. Os conhecimentos codificados ou explícitos podem ser absorvidos através de linguagem formal, sendo

---

assim facilmente transmitidos entre os indivíduos de uma organização através de cursos, manuais e consulta a banco de dados. Já os conhecimentos tácitos envolvem fatores intangíveis como visões pessoais, expectativas e sistemas de valores, aspectos dificilmente transmissíveis através de linguagem formal. Assim, as tecnologias codificadas são de mais fácil difusão. A absorção de conhecimentos tácitos depende da contratação de técnicos e trabalhadores experientes que podem executar tarefas sem necessariamente descrevê-las formalmente. A experiência é acumulada através dos processos de “aprender-fazendo”, apoiados no registro sistemático de problemas e das soluções adotadas. O Controle Estatístico dos Processos (CEP) constitui um exemplo de ferramenta utilizada para codificar o conhecimento tácito visando promover o aperfeiçoamento contínuo.

- **Existência de fornecedores locais** capazes de adaptar novas tecnologias às necessidades dos clientes. O acesso a serviços especializados pode contribuir significativamente para o sucesso do processo de difusão. De forma inversa, o usuário pode contribuir para aperfeiçoar equipamentos e sistemas, através do processo de “aprender-usando”. O papel dos usuários em determinadas inovações está longe de ser passivo. Por exemplo, o sucesso de um novo software depende de seu teste em situações reais, onde os usuários detectam problemas e orientam os projetistas para o aperfeiçoamento do produto.
- **Capacidade tecnológica da empresa ou setor** para avaliar e incorporar diferentes componentes tecnológicos. Tal capacitação pode evitar o aprisionamento, ou seja, riscos de que o usuário se torne dependente de um determinado fornecedor. Mesmo em indústrias tradicionais, a capacidade de selecionar tecnologias e negociá-las de forma a evitar um excessivo aprisionamento representa um importante ativo para a difusão tecnológica. A introdução de uma inovação em uma empresa não acontece no vácuo. Existe uma estrutura operacional e gerencial implantadas, assim como rotinas, procedimentos e uma subjacente cultura organizacional. Quando uma empresa decide inovar, está, em maior ou menor grau, tomando uma decisão organizacional e assumindo os riscos de mudança. O impacto é diferenciado segundo a natureza da inovação e características do ambiente interno em que é incorporada. A flexibilidade organizacional, assim como a capacidade cognitiva para absorver novos conhecimentos, constituem elementos críticos para a difusão de novas tecnologias.

---

## 2.6 Metodologias de Prospecção

### 2.6.1 Abordagens Metodológicas da Prospecção Tecnológica

No plano lógico, a literatura consagra três abordagens para o problema de prospectar o futuro. A primeira delas, e também a mais convencional, é a abordagem baseada em inferência. Nesse caso, entende-se que o futuro tende a reproduzir, em alguma medida, os fenômenos já ocorridos, não implicando em rupturas ou descontinuidades nas trajetórias evolutivas dos objetos analisados. A inferência pode ser realizada por “extrapolação de tendências”, baseada tanto em modelos teóricos ou empíricos da realidade, quanto em construção por analogia dos antecedentes históricos do problema.

Uma segunda abordagem lógica para a prospecção do futuro é a geração sistemática de trajetórias alternativas. Nesse caso, o futuro é projetado por meio da construção de cenários em um processo de contraposição de determinadas variáveis.

Uma terceira abordagem lógica é a construção do futuro por consenso, baseada em intuição ou cognição coletiva. Nesse caso, o futuro é construído a partir de visões subjetivas de especialistas ou outros grupos de indivíduos dotados de capacidade de reflexão sobre os objetos do exercício de prospecção.

Esses planos lógicos se desdobram em uma grande variedade de metodologias de prospecção que, de modo geral, podem ser organizadas em três grupos principais:

- **Monitoramento** (*Assessment*) – consiste no acompanhamento da evolução dos fatos e na identificação dos fatores portadores de mudanças, realizados de forma sistemática e contínua.
- **Previsão** (*Forecasting*) – consiste na realização de projeções com base em informações históricas e modelagem de tendências
- **Visão** (*Foresight*) – consiste na antecipação de possibilidades futuras com base em interação não estruturada entre especialistas, cada um deles apoiado exclusivamente em seus conhecimentos e subjetividades.

Tanto o monitoramento quanto os exercícios de previsão são metodologia predominantemente quantitativas enquanto o *foresight* é normalmente qualitativo. A “extração” de conhecimentos de especialistas (visão) pode ser feita de diferentes formas, conforme mostra o quadro 2 seguinte:

---

## Quadro 2: Formação de Visão através da Consulta a Especialistas

| Contato Interação  | Remoto                                    | Presencial                               |
|--------------------|---|--|
| Indireta (Passiva) | Delphi<br>Entrevistas                     | Seminários<br>Debates                    |
| Direta (Ativa)     | Listas de Internet<br>Fóruns de discussão | Workshops Presenciais<br>"Brainstorming" |

Os exercícios de prospecção baseados em visão são extremamente úteis para organizar a percepção coletiva sobre eventos futuros incertos ou para os quais não se tem uma base teórica de análise. A visão pode ser considerada uma "prospecção intuitiva".

A metodologia adotada no Modelo Senai de Prospecção para estimar a difusão de novas tecnologias é a técnica Delphi, considerada o mais proeminente dentre os métodos de prospecção baseados em consenso (Jones 1980). A escolha deste método se deve ao fato de não haver séries históricas de difusão de tecnologias disponíveis para realizar projeções quantitativas. Cabe ressaltar que, mesmo que existissem tais informações, a condição essencial para que as projeções quantitativas fossem úteis, seria a expectativa de um futuro que fosse a sucessão natural do presente, isto é, quando não se esperam rupturas nas estruturas básicas que governam a sucessão dos fatos (Bijl 1992). Este não é necessariamente o caso das tecnologias emergentes que precisamos prospectar, que em muitos casos são inovações de caráter radical. Linstone and Turoff (1975) sugerem que o uso da técnica Delphi é recomendado quando:

- Não há técnica analítica que permita estruturar adequadamente o problema;
- O problema a ser analisado é excessivamente amplo ou complexo de modo que não há conceitos, linguagens ou formas de comunicação capazes de uniformizar o entendimento dos diversos especialistas sobre os temas envolvidos;
- Devido à amplitude ou complexidade do problema, o número de pessoas a serem envolvidas é excessivo para permitir formas diretas eficientes de interação entre elas;
- Existem restrições de tempo ou recursos que não permitem métodos estruturados de interação entre os envolvidos;

- 
- Existem desacordos políticos ou ideológicos entre os envolvidos que impedem um processo de comunicação que não seja conflitivo e ineficiente;
  - Existe excessiva heterogeneidade social, econômica ou cultural entre os envolvidos de sorte que não se consegue evitar dominação por parte de alguns grupos sobre os demais.

A técnica Delphi pode ser aplicada em uma grande diversidade de objetivos. Dentre esses, destacam-se (i) a definição de metas para uma determinada ação; (ii) identificação das variáveis-chave de um problema multivariável complexo; (iii) previsão da data em que um evento irá ocorrer com certa intensidade ou vice-versa, isto é, a intensidade com que um evento irá ocorrer em uma certa data; e (iv) formulação de estratégias ou linhas de ação.

O princípio conceitual que orienta a realização de exercícios Delphi é o de buscar otimizar o processo de obtenção de opiniões de um grupo de especialistas minimizando os problemas causados por personalidades dominantes ou polarização excessiva do processo de interação, frequentes em painéis presenciais. Assim, os exercícios Delphi devem respeitar quatro características principais:

- **Questionário estruturado:** O instrumento de coleta de informação deve consistir de um questionário montado de forma que todas as possíveis opções de resposta estejam pré-definidas.
- **Anonimato entre os respondentes:** os respondentes devem preencher o questionário com base apenas em sua visão pessoal, devendo ser evitadas qualquer forma de troca de opinião entre os participantes.
- **Iteração:** as respostas fornecidas devem ser agregadas gerando estatísticas que devem retornar para reavaliação dos respondentes tantas vezes quantas as requeridas para ser atingido o nível de consenso desejado.
- **Feedback controlado:** os moderadores do exercício Delphi devem ser os únicos a conhecerem as respostas de forma individualizada e deverão intervir no processamento sempre que necessário para favorecer a obtenção do consenso

Desde a sua criação, na década de 1950, a técnica Delphi incorporou um grande número de variantes em termos de procedimentos operacionais e aplicações. Woudenberg (1991) sugere que as variantes podem ser organizadas em três tipos de exercícios Delphi: (i) O *Delphi Convencional* voltado para

---

estimar valores; (ii) o “*Policy Delphi*” voltado para gerar o espectro de visões diferentes; e (iii) o “*Decision Delphi*” orientado para tomada de decisão sobre temas conflitivos.

### 2.6.2 A Operacionalização do Método Delphi

O método Delphi envolve um conjunto de passos e procedimentos cuja adequação ao caso brasileiro foi testada e aperfeiçoada no Modelo Senai de Prospecção. O roteiro aqui apresentado representa uma sugestão que poderá eventualmente ser alterada para se adequar melhor a casos específicos. Verificamos ser necessário levar em conta os seguintes aspectos:

- O tempo mínimo para preparação e aplicação do método é de 30-45 dias.
- É necessário definir um grupo de trabalho e um comitê executor composto de especialistas para coordenar e executar o projeto.
- Os objetivos e metas do experimento precisam ser discutidos e definidos com nitidez e apresentados de forma explícita.
- Um cronograma de trabalho factível é fundamental para coordenar as diferentes etapas do exercício.
- O número de participantes potenciais, dependendo da natureza do experimento, é de 25 a 100 pessoas. As pessoas são definidas através de um perfil específico, são indicadas através do processo de conominação, e são previamente contatadas para verificar interesse e solicitar nomes adicionais (de preferência dois nomes).
- Preparar o questionário e o plano tabular em função dos objetivos e aspectos setoriais.

### 2.6.3 Principais aplicações e problemas do Delphi

O método Delphi pode ser aplicado sempre que se busca consenso de especialistas sobre um evento indeterminado. As aplicações práticas mais frequentes são:

- Cenarização econômica e de mudanças sociais



- 
- Desenvolvimento tecnológico
  - Desenvolvimentos da medicina
  - Processos regulatórios
  - Necessidades sociais futuras
  - Avaliação de orçamentos
  - Soluções de conflitos / guerras
  - Objetivos e metas de programas educacionais
  - Planejamento de currículos
  - Desenvolvimento de critérios de avaliação de alunos
  - Medidas de custo-benefício de programas educacionais

Quanto aos problemas, podemos destacar:

- Painel de respondentes inadequado. O problema é como incluir somente especialistas qualificados, com visões globais do problema, colaborativos e disciplinados.
- Ausência de motivação
- Personalidades dominantes. Este inconveniente é, de certa forma, eliminado pelo anonimato.
- Captura dos participantes, quando representam instituições e não a visão individual do especialista.

#### 2.6.4 *A Pesquisa Senai*

A pesquisa formatada pelo Modelo Senai de Prospecção tem por objetivo aplicar um instrumento de “VISÃO” para obtenção de percepções coletivas sobre probabilidades de difusão de tecnologias emergentes específicas de um determinado setor industrial pré-identificado. O método de prospecção foi baseado no conceito Delphi de busca de consenso em anonimato. O resultado esperado é a delimitação da trajetória de mudança tecnológica prevista para os setores-alvo da pesquisa de modo a subsidiar a avaliação de impactos sobre a demanda de qualificações do trabalho. Trata-se, portanto, de insumo para as atividades de planejamento e tomada de decisão do Senai com relação aos seus programas de treinamento e qualificação de trabalhadores e também das

---

empresas com relação à definição de suas estratégias tecnológicas. Cabe observar que exercícios dessa natureza são especialmente adequados como suporte às pequenas e médias empresas que normalmente são carentes de recursos de planejamento em geral.

O instrumento de coleta de informação consiste em um questionário montado na forma de uma tabela na qual as linhas registram o elenco de tópicos descritivos das tecnologias emergentes a serem avaliados e as colunas contêm perguntas sobre o ritmo e a abrangência esperada da difusão.

Seguindo o conceito de busca de consenso estabelecido na metodologia “Delphi”, o questionário é aplicado a um painel fixo de especialistas em duas rodadas. Na primeira rodada os especialistas são solicitados a responder livremente as perguntas. Na segunda rodada, os respondentes recebem novamente o mesmo questionário junto com os resultados de um processamento estatístico simples (cálculo da média, mediana e desvio padrão) das respostas da primeira rodada para que possam reformular suas opiniões iniciais, caso considerem pertinente. O “Problema” colocado é identificar tecnologias com maior probabilidade de difusão no Brasil no horizonte de 5 a 10 anos

O conceito-chave da pesquisa é o de Tecnologia Emergente Específica. O qualificativo Emergente denota tecnologias em desenvolvimento, em fase pré-comercial ou recentemente introduzidas no mercado, mas ainda pouco utilizadas (taxa de difusão inferior a 10%). Trata-se de uma relação de inovações que sejam tecnicamente factíveis de serem introduzidas em um horizonte temporal de médio prazo (5 a 10 anos). Não denota qualquer tipo de avaliação sobre a viabilidade econômica ou o potencial comercial da tecnologia. Já o qualificativo Específica denota tecnologias de produtos, processos e sistemas periféricos desenvolvidos para o uso na indústria. Exclui tecnologias genéricas que sejam horizontais e indiferenciadas. Como exemplo de tecnologia emergente específica da indústria têxtil, temos a *estamparia digital de alta velocidade* (mais de 30 m<sup>2</sup> por hora) com base em impressoras jato de tinta.

O instrumento de coleta de informação utilizado consiste em um questionário montado em forma de tabela na qual as linhas registram o elenco de tecnologias emergentes específicas a serem avaliadas e as colunas contêm perguntas sobre o ritmo e a abrangência esperada da difusão, compreendendo:

- Grau de conhecimento do respondente sobre o tópico: para cada tópico o respondente deve assinalar em que profundidade conhece a tecnologia.
- Chance de viabilidade comercial da tecnologia em um horizonte de até dez anos:

- 
- Impacto da tecnologia sobre as qualificações do trabalhador (se radical, incremental ou pequeno/nenhum)
  - Quando é esperado que a tecnologia alcance taxas de difusão correspondentes a um-terço e dois-terços do universo potencial de adotantes.

Para efeito de utilização no questionário, cada tecnologia emergente específica é descrita em um texto com, no máximo, 30 palavras, de acordo com o seguinte formato geral:

Uso em \_\_\_\_\_ (definir segmento onde ocorrerá a difusão)  
de um \_\_\_\_\_ (nome do tópico tecnológico),  
com/baseado/a partir de \_\_\_\_\_ (descrever características)

O painel de respondentes é composto de pelo menos 25 especialistas, escolhidos entre engenheiros (mecânicos, químicos, de produção, etc.), economistas, administradores, tecnólogos, pesquisadores e outros que sejam “pensadores” (tenham reflexão sobre a dinâmica tecnológica global) em suas respectivas áreas de atuação. Não é prevista a inclusão nos painéis de representantes de associações de classe patronais ou de trabalhadores ou de órgãos de governo, pois o que se pretende obter é a visão pessoal e não institucional dos participantes do experimento. Os resultados são processados através de uma planilha Microsoft Excel, produzindo um relatório de Tabela Dinâmica com a frequência de respostas.