

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM ADMINISTRAÇÃO

JOSÉ MARIANO VARGAS ARIGONY

COMPLEXIDADE E CAPACIDADE TECNOLÓGICA: UMA ANÁLISE NO
SETOR METAL MECÂNICO DA INDÚSTRIA DO RIO GRANDE DO SUL

Porto Alegre
2012

JOSÉ MARIANO VARGAS ARIGONY

COMPLEXIDADE E CAPACIDADE TECNOLÓGICA: UMA ANÁLISE NO
SETOR METAL MECÂNICO DA INDÚSTRIA DO RIO GRANDE DO SUL

Dissertação de Mestrado apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em
Administração da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antônio
Zawislak

Porto Alegre
2012

CIP - Catalogação na Publicação

Arigony, José Mariano Vargas

Complexidade e capacidade tecnológica: uma análise no setor metal mecânico da indústria do Rio Grande do Sul / José Mariano Vargas Arigony. -- 2012.
116 f.

Orientador: Paulo Antônio Zawislak.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Complexidade tecnológica. 2. Capacidade tecnológica. 3. Indústria metal mecânica. I. Zawislak, Paulo Antônio, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do caminho trilhado no desenvolvimento deste trabalho, muitas pessoas foram importantes e merecem o meu reconhecimento, portanto meus mais sinceros agradecimentos são para:

- os pacientes e incansáveis professores do PPGA por iluminarem tantas mentes;
- o Professor Paulo Antônio Zawislak pela valorosa e imprescindível interlocução;
- os membros da banca pela avaliação crítica do trabalho;
- os colegas e amigos do NITEC com quem eu tanto aprendi e compartilhei;
- o Centro de Estudos e Pesquisas em Administração (CEPA), em especial para a Lourdes dos Santos que fez a coleta de dados acontecer;
- os 303 colaboradores das empresas que se dispuseram a responder o questionário;
- à Joana Dietrich, minha namorada e companheira pelo apoio incondicional;
- aos meus pais, Maria do Carmo e José Narciso, pela confiança de sempre nas minhas escolhas;
- à minha irmã, Aninha, eterna referência;
- ao Maurício Corte, meu cunhado, pela força, sobriedade e dedicação à minha família.

*Dedico este trabalho ao meu pai,
José Narciso Arigony.*

RESUMO

A dificuldade técnica enfrentada pelas firmas em seu cotidiano é frequentemente atribuída ao *grau de complexidade* das tecnologias, produtos ou processos de produção utilizados. Não obstante, a repetida referência ao termo complexidade em estudos sobre gestão da tecnologia e da inovação parece haver uma lacuna no que diz respeito a uma definição formal desse conceito. Por outro lado, capacidade tecnológica, o grau de acúmulo e domínio tecnológico que permite à firma adaptar tecnologias em variadas circunstâncias de mercado (LALL, 1992), é um conceito que vem sendo utilizado por diversos autores ao longo das últimas duas décadas (PANDA E RAMANATHAN, 1996; KIM, 1999; FIGUEIREDO, 2009). Enquanto o esforço das pesquisas dos últimos anos permitiu avançar na compreensão das capacidades tecnológicas nas firmas de diferentes setores industriais, todavia pouco se compreende a respeito da complexidade do conteúdo tecnológico que as firmas carregam, além da respectiva relação com o desenvolvimento das capacidades tecnológicas. Este trabalho tem como objetivo avançar na direção de uma definição de complexidade tecnológica, bem como no estabelecimento da relação entre o *grau de complexidade* da tecnologia de uma firma e as capacidades tecnológicas existentes na mesma. Mediante uma pesquisa de levantamento com 303 empresas de 5 setores da indústria metal mecânica, buscou-se estabelecer a relação entre estes dois conceitos. Os resultados indicam que a capacidade tecnológica não se apresenta exclusivamente vinculada à adaptação da tecnologia e à busca de soluções tecnológicas inéditas. Um nível elevado de complexidade na tecnologia manipulada pelas firmas pode exigir também o desenvolvimento de capacidades tecnológicas.

Palavras-chave: Complexidade tecnológica, Capacidade tecnológica, Indústria metal mecânica.

ABSTRACT

The technical difficulty faced by firms in its routine activities is often attributed to the complexity of technologies, products or production processes applied. Despite the repeated references to the term complexity in studies on technology management and innovation, there seems to be a gap with respect to a formal definition of this concept. On the other hand, technological capacity, i.e. the degree of accumulation and technological mastery that allows the firm to adapt technologies in different market circumstances (Lall, 1992), is a concept that has been successfully applied by several authors in this area of research over the past two decades (Panda and Ramanathan, 1996; Kim, 1999; Figueiredo, 2009). While the research effort in recent years has allowed us to advance the understanding of the technological capabilities of firms in different industries, little is explained about the technological complexity that firms carry and its relationship with firm technological capability acquisition process. This paper aims to move forward a definition of technological complexity, and also the establishment of the relationship between the degree of complexity of a technology and the technological capabilities existing in the firm. Through a research survey of 303 companies in five sectors of the metalworking industry, sought to establish the relationship between these two concepts. The results indicate that technological capability seems not only to be linked to technology adaptation and the search for novel technological solutions. A high level of complexity in the technology manipulated by firms can also provoke the development of technological capabilities.

Keyword: technological complexity, technological capability, metalworking industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diferentes tipos de <i>Complexidade</i>	22
Figura 2: Três esferas da <i>Complexidade</i>	38
Figura 3: Proposta conceitual de <i>Complexidade Tecnológica</i>	42
Figura 4: Relação entre <i>Capacidade Tecnológica</i> e <i>Complexidade da Tecnologia</i>	49
Figura 5: Matriz de classificação de tecnologias	52
Figura 6: Faturamento em P&D.....	86
Figura 7: Pessoas em P&D.....	87
Figura 8: Matriz de classificação tecnológica da relação entre <i>Complexidade</i> e <i>Capacidade</i>	95
Quadro 1: Matriz de <i>Capacidades Tecnológicas</i> de Lall.....	48
Quadro 2: Variáveis indicativas de <i>Complexidade Tecnológica</i> na produção ..	55
Quadro 3: Variáveis indicativas de <i>Complexidade Tecnológica</i> de produto	56
Quadro 4: Variáveis indicativas de <i>Capacidade Tecnológica</i>	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> de projetos.....	27
Tabela 2: Indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> de Wonglimpiyarat.....	29
Tabela 3: Indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> dos CoPS.....	34
Tabela 4: Resumo de indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i>	36
Tabela 5: Os setores do complexo metal mecânico do Rio Grande do Sul.....	58
Tabela 6: Distribuição da amostra entre os setores.....	66
Tabela 7: Distribuição da amostra por idade da firma	66
Tabela 8: Distribuição da amostra por faixas de faturamento.....	66
Tabela 9: Média do número de funcionários por setor	67
Tabela 10: Distribuição das firmas por porte	67
Tabela 11: Distribuição das firmas por estrutura legal	68
Tabela 12: Distribuição das firmas pela origem do capital.....	68
Tabela 13: Participação percentual das exportações no faturamento das firmas	68
Tabela 14: Estatísticas de tendência central dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> na produção	70
Tabela 15: Estatísticas de tendência central dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> na produção por setor.....	71
Tabela 16: Distribuições de frequência dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> na produção.....	72
Tabela 17: Estatísticas de tendência central dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> de produto.....	75
Tabela 18: Estatísticas de tendência central dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> de produto II.....	75
Tabela 19: Estatísticas de tendência central dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> de produto por setor.....	76
Tabela 20: Estatísticas de tendência central dos indicadores de <i>Complexidade Tecnológica</i> de produto por setor II.....	76
Tabela 21: Matriz de análise fatorial de componentes rotacionados por VARIMAX: conjunto completo de variáveis.....	79

Tabela 22: Matriz de análise fatorial de componentes rotacionados por VARIMAX: conjunto reduzido de variáveis (q5_In e q11_In eliminadas).....	80
Tabela 23: Utilização de patentes.....	82
Tabela 24: Utilização de pesquisas de mercado durante o desenvolvimento de produtos.	83
Tabela 25: Autoria das pesquisas de mercado realizadas no desenvolvimento de produtos.....	83
Tabela 26: Utilização de pesquisas científicas durante o desenvolvimento de produtos.	84
Tabela 27: Autoria das pesquisas científicas realizadas no desenvolvimento de produtos.	84
Tabela 28: Percentual médio do faturamento investido em P&D nos últimos 5 anos.....	84
Tabela 29: Produtos lançados nos últimos 5 anos.	85
Tabela 30: Número de pessoas que participam do processo de desenvolvimento (P&D).....	85
Tabela 31: Estatísticas de tendência central dos indicadores de Capacidade Tecnológica por setor.	87
Tabela 32: Setores ordenados por indicadores de Capacidade Tecnológica... 88	
Tabela 33: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Utilização de Patentes.....	91
Tabela 34: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Pesquisas de Mercado.	92
Tabela 35: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Pesquisas Científicas.	93
Tabela 36: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Exportação.	94
Tabela 37: Agrupamentos de <i>Complexidade Tecnológica</i> na produção.....	96
Tabela 38: Agrupamentos de <i>Complexidade Tecnológica</i> de produto.	97
Tabela 39: Agrupamentos de <i>Complexidade Tecnológica</i>	98
Tabela 40: <i>Clusters</i> de <i>Complexidade Tecnológica</i> versus Utilização de Patentes.....	98
Tabela 41: <i>Clusters</i> de <i>Complexidade Tecnológica</i> versus Pesquisas de Mercado.	98

Tabela 42: <i>Clusters de Complexidade Tecnológica versus Pesquisas Científicas.</i>	98
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVO.....	18
1.2. JUSTIFICATIVA	18
2. COMPLEXIDADE DA TECNOLOGIA.....	20
2.1. COMPLEXIDADE: UMA VISÃO GERAL	20
2.2. COMPLEXIDADE, ECONOMIA E ORGANIZAÇÃO	23
2.3. COMPLEXIDADE E A ESFERA TECNOLÓGICA.....	28
2.3.1. COMPLEXIDADE E MUDANÇA TECNOLÓGICA	28
2.3.2. <i>CoPS - COMPLEX PRODUCT SYSTEMS</i>	33
2.4. COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA: UMA PROPOSTA DE CONCEITUAÇÃO..	37
2.4.1. CONCEITO DE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA.....	40
3. RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE E CAPACIDADE TECNOLÓGICA.....	44
3.1. CAPACIDADE TECNOLÓGICA	44
3.2. COMPLEXIDADE E CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	49
4. INSTRUMENTOS E MÉTODOS	54
4.1. ESQUEMA DE ANÁLISE.....	54
4.2. O SETOR METAL MECÂNICO	57
4.3. INSTRUMENTO DE PESQUISA.....	59
4.4. AMOSTRAGEM.....	61
4.5. PLANO DE ANÁLISE.....	62
4.5.1. ANÁLISE FATORIAL DE COMPONENTES PRINCIPAIS	62
4.5.2. ANÁLISE DISCRIMINANTE MÚLTIPLA	63
4.5.3. ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS	63
4.6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA	63
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
5.1. DESCRIÇÃO GERAL DA AMOSTRA	65

5.2. DESCRIÇÃO DA COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA.....	69
5.2.1. INDICADORES DE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA NA PRODUÇÃO.....	69
5.2.2. INDICADORES DE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA DE PRODUTO	74
5.2.3. ANÁLISE FATORIAL DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	77
5.3. DESCRIÇÃO DAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS.....	82
5.4. DESCRIÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE DA TECNOLOGIA E CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	89
5.4.1. ANÁLISE DISCRIMINANTE MÚLTIPLA	89
5.4.2. ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS	95
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	111

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas se tem observado um grande aumento no volume de informações disponíveis aos agentes econômicos. A integração dos mercados e o surgimento de novas tecnologias de informação estão associados à esse crescimento substancial de complexidade que afeta consideravelmente as atividades de produção e o ambiente social e institucional (PEREZ, 1983; FREEMAN E PEREZ, 1988). Até pouco tempo, muitas firmas, principalmente em países em desenvolvimento, podiam sobreviver nos seus mercados sem ter de levar em conta um número muito grande de informações nas suas rotinas e processos de tomada de decisão.

Essa realidade, onde a produção em si já era um sinônimo de competitividade, vem se transformando. Hoje uma exigência cada vez maior por constantes inovações se faz presente. Essas inovações dependem da capacidade das firmas de monitorar, processar e responder a um número crescente de fatores de natureza variada, ou seja, dependem da capacidade que as firmas e os indivíduos têm de lidar, bem ou mal, com a crescente complexidade (THOMAS E MENGEL, 2008; KAPSALI, 2011).

A observação da complexidade, tanto na esfera econômica quanto na organizacional e tecnológica, mostra que existe um espectro largo de circunstâncias na indústria nas quais a mesma se faz presente. Enquanto, por exemplo, a complexidade minimamente exigida para a produção de um *simples* sapato não parece ser grande, observa-se a extrema diversidade de fontes de conhecimento envolvidas na produção de um *complexo* avião. Mesmo em se tratando de um único setor industrial essas discrepâncias nos níveis de complexidade podem ser gritantes. Enquanto alguns produtores de vinho, por exemplo, dependem de altos investimentos em pesquisas de mercado, desenvolvimento de produtos e de parcerias comerciais para escoar a sua produção, outros produtores coexistem baseados em modelos de negócios tradicionais, sem maiores preocupações estratégicas (ALVES; ZEN; PADULA, 2010).

No setor farmacêutico, por exemplo, observa-se um alto nível de investimentos em pesquisa para o desenvolvimento de novos fármacos que,

em geral, não dão retorno financeiro em menos de alguns anos. Esse setor depende fortemente de demoradas pesquisas científicas, incorrendo em riscos muito elevados de falhas e retrocessos ao longo do processo de desenvolvimento. Já a indústria de *software* vem demonstrando nos últimos anos uma tendência na direção de customizações e venda de serviços, ou seja, cada vez mais se intensifica a participação dos usuários no processo de produção. Tanto a dependência na ciência básica, como acontece no caso da indústria farmacêutica, quanto os vínculos cada vez mais intensos com o consumidor, observado na indústria de *software*, representam um acréscimo na complexidade da tecnologia dominada e manipulada por essas firmas.

Outras indústrias, tais como a automotiva e a de produtos eletrônicos, enfrentam o desafio de projetar e produzir em larga escala produtos com *design* cada vez mais inteligentes e adequados às crescentes necessidades dos consumidores. Ao mesmo tempo, esses produtos devem ter custos de produção reduzidos ao máximo. O foco nas atividades de produção, com um grau elevado de automação e práticas inovadoras de gestão, caracterizam esses segmentos da indústria. Emerge neste contexto a necessidade de inovações de componentes e arquiteturas (HENDERSON E CLARK, 1990; ULRICH, 1995; PEINE, 2009). Essas inovações têm levado ao desenvolvimento de plataformas de produtos que são utilizadas para a produção de versões específicas adequadas aos variados segmentos de mercado. O crescente aumento no número de competidores desses mercados, situação agravada pela expansão dos novos produtores asiáticos, por exemplo, é outro fator que contribui para o aumento da competitividade e, conseqüentemente, da complexidade nesses ramos.

O conceito de complexidade aparece, justamente, em algumas abordagens teóricas recentes como a das capacidades tecnológicas (LALL, 1992; PANDA E RAMANATHAN, 1996; KIM, 1999; HOBDAÏ, RUSH E BESSANT, 2004; ZHOU E WU, 2010) e a dos CoPS – *Complex Product Systems* – (HANSEN E RUSH, 1998; HOBDAÏ, 1998; HOBDAÏ, 2000; HOBDAÏ, RUSH E TIDD, 2000; NIGHTINGALE, 2000; HARDSTONE, 2004). No contexto da Teoria Evolucionária de Nelson e Winter (2005), por exemplo, Patel e Pavitt (1997) ressaltam a prevalência de um constante aumento da *complexidade das tarefas* executadas pelos indivíduos e pelas organizações.

Muito embora esses autores recorram ao conceito de complexidade no desenrolar de seus argumentos, pouca atenção tem sido dada à definição desse construto. Complexidade aparece notoriamente associada ao um número crescente de fatores que precisam ser monitorados e processados pelas firmas para que possam se manter em desenvolvimento. É evidente, entretanto, que a complexidade não é a variedade e o número de fatores gerenciáveis em si, mas sim, o efeito causado pelo crescente número desses fatores nas rotinas e processos de tomada de decisão das firmas.

Levar em conta um número maior e mais diverso de fatores provoca nas firmas um aumento no número de interdependências entre diferentes componentes, indivíduos, áreas, etc. A complexidade varia, portanto, em função do volume de informações e variáveis que precisam ser coordenadas por cada agente nessa composição. O aumento do volume de informações e variáveis explicita a racionalidade limitada dos agentes (SIMON, 1997) e favorece o surgimento de laços de realimentação e de incertezas nas atividades desempenhadas pelas firmas (THOMPSON, 1976). A ocorrência desses laços de realimentação ou interdependências caracteriza genericamente o que, neste estudo, entende-se por complexidade.

A capacidade tecnológica, por sua vez, é o conceito que representa o grau de acúmulo e domínio tecnológico das firmas, bem como a adaptação de tecnologias pelas firmas nas mais variadas circunstâncias competitivas (LALL, 1992). Para Kim (1999), as capacidades tecnológicas são a estrutura de rotinas tácitas e explícitas que acompanham o florescimento e a aplicação de tecnologias por parte das firmas nos diferentes mercados. Os modelos de capacidade tecnológica evidenciam, de forma geral, que as firmas com níveis mais elevados de capacidades tecnológicas são responsáveis pelo desenvolvimento de novas tecnologias e lideram globalmente em termos de competitividade.

Figueiredo (2009) destaca que a abordagem das capacidades tecnológicas tem sido utilizada como orientação do desenvolvimento de firmas e setores industriais em países com processo de *catching-up*¹ e não é o foco

¹ Emparelhamento ou equiparação tecnológica ao “estado da arte” internacional. Trata-se de um processo que tende a ocorrer de forma concentrada, num período de tempo determinado,

principal das firmas e governos de países que já possuem níveis avançados de capacidades tecnológicas. Essa visão considera que as firmas mais atrasadas no processo de desenvolvimento tecnológico se utilizam daquelas que detêm capacidades tecnológicas avançadas como parâmetro de referência para a medida de seu desenvolvimento atual. Figueiredo (2009) é outro autor que também salienta o constante aumento da complexidade na esfera tecnológica.

O modelo de Lall (1992), um dos mais citados na literatura de capacidades tecnológicas, estabelece para essas capacidades uma medida em três níveis: básico, intermediário e avançado. O critério que baliza a distinção entre esses níveis é, justamente, o grau de complexidade. Ou seja, quanto maior é a complexidade das rotinas, maior é também o nível de capacidade tecnológica presente na firma. Confrontando essas duas ideias presentes nas propostas de Figueiredo (2009) e Lall (1992), que são respectivamente: (i) a abordagem das capacidades tecnológicas é uma forma de estabelecer um parâmetro de comparação do desenvolvimento tecnológico de uma firma em relação às firmas mais avançadas de seu setor e (ii) o critério de distinção entre os níveis de capacidades tecnológicas é o grau de complexidade; faz-se o seguinte questionamento: se os níveis de capacidade tecnológica seguem a lógica de menos para o mais complexo, não bastaria estabelecer os fatores que determinam a complexidade em si, para se compreender os possíveis caminhos para a expansão do conteúdo tecnológico de uma firma (independentemente do nível atual de sua capacidade tecnológica)?

Necessariamente, para responder a essa pergunta, precisa-se interpretar o que exatamente se entende por *grau de complexidade* dentro da abordagem das capacidades tecnológicas. Parece ser necessário também estabelecer qual a relação do grau de complexidade com a complexidade observada no ambiente técnico e econômico decorrente do incremento generalizado no fluxo de informações disponíveis aos diversos agentes.

Pelos exemplos descritos anteriormente, pode-se concluir que existem fontes variadas de complexidade influenciando as tecnologias em cada indústria. Tecnologia aqui representa a aplicação de conhecimentos para a execução de tarefas. Conhecimentos que podem ser manifestados tanto na

acompanhado de altas taxas de crescimento da economia, com elevação da produtividade e da competitividade internacional de setores e empresas (CASTRO, 2007, p. 1).

forma de “modos de fazer” quanto através de “instrumentos ou máquinas” (ZAWISLAK, 1995). Essas fontes de complexidade estão, portanto, associadas às tecnologias empregadas e às formas de organização e estruturação particulares de cada setor industrial.

Existe, assim, uma nítida distinção entre o que na abordagem das capacidades tecnológicas é chamado de *grau de complexidade* e o que se chamará aqui de complexidade tecnológica. Essa última, a complexidade tecnológica, caracteriza o conteúdo tecnológico da firma, enquanto o *grau de complexidade* diz respeito às capacidades tecnológicas da firma e, definitivamente, conteúdo e capacidades são coisas distintas². Parece intuitiva a ideia de que a complexidade da tecnologia deva estar relacionada ao *grau de complexidade* das capacidades tecnológicas, entretanto, de que forma essa relação de fato se apresenta nas firmas?

A complexidade tecnológica é, por vezes, referida na literatura de gestão da tecnologia e da inovação, entretanto, não existe a preocupação de se estabelecer uma definição formal. Busca-se aqui, abordar o conceito de complexidade tecnológica partindo das definições propostas na literatura corrente. Existem pontos em que parece haver algum consenso com relação às fontes de complexidade.

Além disso, complexidade tecnológica é frequentemente associada a maior diversidade de campos tecnológicos dominados pelas firmas (PATEL E PAVITT, 1997), ao maior número de componentes distintos nos produtos e etapas nos processos (McEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002) e ao maior grau de dependências externas das firmas (HOBDDAY, 1998). São fatores que também estão frequentemente vinculados ao aumento do grau de incerteza e de dificuldade que a tecnologia impõe para o seu domínio e adaptação (LALL, 1992). Além desses indicadores associados à complexidade tecnológica, as interdependências entre tarefas ou laços de realimentação, parecem ser a característica latente, de alto nível, que melhor descreve complexidade tecnológica de forma geral (THOMPSON, 1976).

² Vale destacar que no contexto de estudo das capacidades tecnológicas, “capacidade” é a tradução atualmente mais empregada para “capability” e não de “capacity”, esta diferença pode confundir o leitor menos familiarizado com o conceito e dificultar a compreensão acerca da distinção sinalizada.

Muitos elementos que indicam haver complexidade tecnológica já foram incluídos em trabalhos sobre gestão da tecnologia e inovação. Dessa forma, a tarefa aqui proposta não vai além da compilação, comparação, síntese e teste das variadas formas de avaliação da complexidade de produtos e nos processos produtivos já presentes na literatura.

A pergunta de pesquisa que este estudo busca responder é: *qual é a relação entre a complexidade tecnológica e as capacidades tecnológicas das firmas?*

1.1. OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo é identificar a relação existente entre a complexidade do conteúdo tecnológico dominado pelas firmas e as capacidades tecnológicas desenvolvidas pelas mesmas.

São definidos ainda os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e descrever a complexidade predominante nas tecnologias utilizadas pelas firmas estudadas;
- Identificar e descrever as capacidades tecnológicas existentes nas firmas estudadas;
- Estabelecer as formas de relação entre os níveis de capacidade tecnológica e complexidade tecnológica das firmas estudadas.

1.2. JUSTIFICATIVA

Dado à recorrente percepção de aumento da complexidade no ambiente competitivo e das inúmeras possíveis consequências deste aumento no desempenho das firmas e dos mercados, faz-se necessária uma concepção clara e objetiva de complexidade tecnológica. Esse conceito operacionalizado e descrito pode servir de parâmetro para a adequação das capacidades tecnológicas das firmas para as crescentes e variadas exigências que lhes são impostas pela competição, bem como poder contribuir para a formulação de políticas governamentais de incentivo e suporte às atividades tecnológicas na indústria.

A realização deste estudo se justifica pela potencial contribuição na direção de uma definição dos elementos que indicam haver maior ou menor complexidade na tecnologia dominada em um setor industrial. Uma interpretação precisa da relação entre complexidade tecnológica e as respectivas capacidades tecnológicas desenvolvidas ao longo da trajetória de cada firma pode dar origem às ferramentas de gestão do desenvolvimento mais aderentes às contingências específicas de cada ambiente tecnológico.

Explanar-se-á o estudo através de uma pesquisa de levantamento (*survey*) setorial na indústria metal mecânica do Rio Grande do Sul. O setor metal mecânico contempla cinco códigos da classificação CNAE – Cadastro Nacional de Atividades Econômicas – do IBGE: metalurgia; fabricação de produtos de metal; fabricação de máquinas e equipamentos; fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias; e fabricação de outros equipamentos de transporte. Totalizando, esses cinco setores que correspondem atualmente à aproximadamente 27% do número de firmas industriais no estado do Rio Grande do Sul (FIERGS, 2010) e geram em média 32% do valor da transformação industrial do estado (IBGE, 2011). A diversidade das atividades-fim, o número de firmas e a representatividade do setor para a economia do estado contribuíram para escolha do mesmo para a realização deste estudo.

Estruturar-se-á o trabalho em seis capítulos incluindo a introdução. Falar-se-á, a seguir, no segundo capítulo, sobre uma discussão acerca do conceito de complexidade e da sua relação com a tecnologia. No terceiro capítulo, revisar-se-á o conceito de capacidade tecnológica e a relação entre capacidades tecnológicas e complexidade tecnológica desenvolvida. No quarto capítulo, tratar-se-ão de questões metodológicas, da métrica de complexidade tecnológica e de informações gerais a respeito do setor metal mecânico. No quinto capítulo, apresentar-se-ão os resultados obtidos a partir da pesquisa de campo. No sexto e último capítulo, explanar-se-ão algumas considerações finais, as limitações, bem como as recomendações para futuros trabalhos.

2. COMPLEXIDADE DA TECNOLOGIA

Partindo do conceito geral de complexidade, busca-se promover uma discussão acerca da relação entre complexidade e tecnologia, a fim de sustentar o desenvolvimento de uma conceituação de complexidade tecnológica. Este capítulo desenvolve a ideia de complexidade tecnológica, dividindo-se em quatro partes: inicialmente é apresentada uma classificação dos diferentes conceitos de complexidade. Na sequência é abordada a relação entre complexidade, economia e organização; ao que se segue uma introdução às perspectivas de complexidade tecnológica, ou seja, relacionadas a produtos e processos de produção. Por fim, as principais relações descritas são consideradas na formulação do conceito de complexidade tecnológica proposto.

2.1. COMPLEXIDADE: UMA VISÃO GERAL

O termo complexidade aparece com frequência na caracterização de elementos constituintes do universo técnico econômico. Pode-se encontrar na literatura de gestão da tecnologia e gestão da inovação constantes referências às tecnologias complexas, projetos complexos, produtos complexos, processos complexos, entre outras. Em virtude das diferentes conotações que se pode atribuir a esse termo e da sua importância, faz-se necessário um posicionamento com relação ao sentido que se está empregando neste estudo.

Complexidade é primordialmente a propriedade atribuída a tudo aquilo que seja complexo, neste caso, a tecnologia. O termo, entretanto, pode ser empregado com sentidos mais abrangentes e é importante distinguir cada caso. Primeiramente, pode-se entender complexidade como algo abstrato. De um ponto de vista filosófico, por exemplo, complexidade é um conceito que engloba toda uma forma de interpretação do processo de construção de conhecimento. Para autores como Morin (2005, 2007), o paradigma da complexidade representa uma ruptura diante da ciência normal, institucionalizada globalmente. Essa complexidade abstrata diz respeito à

interpretação de cunho filosófico da expressão, sendo, portanto, ampla e de difícil simplificação.

Além da complexidade abstrata podemos definir também uma complexidade concreta. Em oposição à complexidade abstrata, a complexidade concreta tem caráter objetivo e é passível de simplificação em algum enunciado fechado. Dentro dessa linha de complexidade está a Teoria dos Sistemas Complexos que se baseia na utilização do potencial de computadores para simular modelos de extrema complexidade. As simulações de computador tentam aproximar ao máximo, levando em conta o maior número possível de variáveis que possam ser relevantes³, circunstâncias de problemas reais que variam desde, por exemplo, a formação de um tornado até as condições que levaram à extinção de uma espécie.

Assim, a abordagem dos Sistemas Adaptativos Complexos, como também é conhecida, propõe modelos de sistemas, em geral não lineares, no âmbito, por exemplo, da biologia sistêmica (CSETE E DOYLE, 2002), ecologia, ciência da computação, economia (ARTHUR, 1999), teoria organizacional (ANDERSON, 1999; MOREL, 1999) e mudança tecnológica e organizacional (BROWN E EISENHARDT, 1997; FLEMING E SORENSON, 2001; ALLEN, STRATHERN E BALDWIN, 2007; PRIES-HEJE E BASKERVILLE, 2008; STRUMSKY, LOBO E TAINTER, 2010), entre outros.

Sendo assim, pode-se ainda dividir a complexidade concreta em outras duas: complexidade relativa e complexidade absoluta. A complexidade concreta e relativa diz respeito à relação entre um objeto e diferentes observadores. É decorrente do fato de que um objeto pode parecer simultaneamente complexo para um sujeito e simples para outro. Basta que para isso pelo menos um desses sujeitos não o compreenda bem. Por isso complexidade relativa, já que decorre das diferentes relações que podem se estabelecer entre sujeitos distintos e um mesmo objeto. A complexidade relativa é, portanto, uma consequência da assimetria de informações e conhecimentos. Quando se sabe pouco sobre algo, esse algo tende a parecer complexo, pelo menos em um primeiro momento.

³ Este “aproximar ao máximo” admite a realização de alguma simplificação e deflagra a distinção essencial entre a *complexidade abstrata* e a *complexidade concreta*, vide Vesterby (2008).

Já a complexidade concreta e absoluta é uma característica exclusiva de objetos, ou seja, produtos, processos, projetos, etc. Um produto complexo, no sentido concreto e absoluto do termo, sempre é complexo, independentemente do quanto o observador em questão o conheça, dado o número elevado de partes e interconexões que se apresentam no mesmo. A complexidade absoluta está ligada às características intrínsecas ao objeto que não permite a sua concepção de forma rápida e direta. Um algo complexo qualquer, normalmente é grande e com muitas partes, subdividido, embaraçado, dificultoso. A figura 1 apresenta um resumo dessa proposta de classificação.

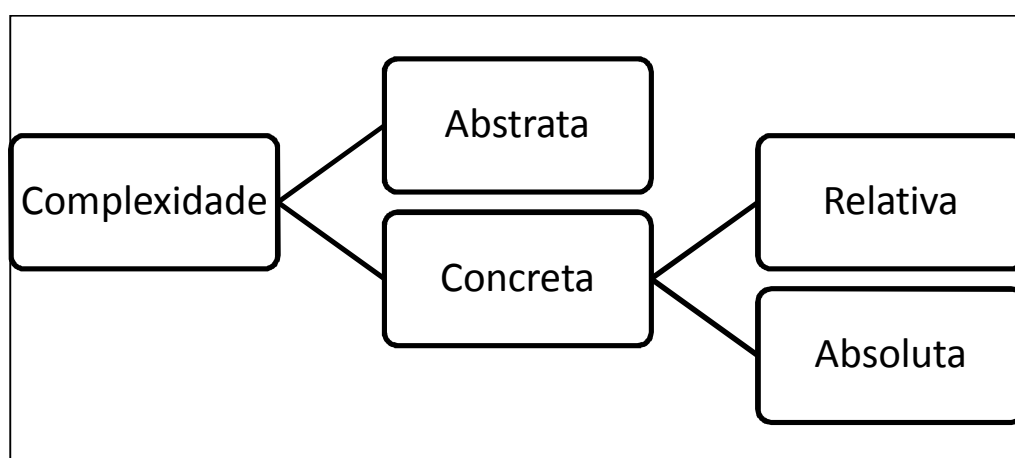


Figura 1: Diferentes tipos de *Complexidade*

Alguns autores da teoria organizacional forjam o construto de complexidade aproximadamente nesses termos: Simon (1997), Thompson (1976), Dess e Beard (1984) e Barney (2001). Dentro de uma linha ligada à organização industrial Williamson (1979, 1985, 2010) considera a complexidade dos contratos, além da especificidade de ativos e de distúrbios em geral, um fator relevante para a Economia dos Custos de Transação.

O modelo de interdependência entre tarefas de Thompson (1976) é um exemplo de concepção de complexidade no contexto da Teoria da Contingência. Este modelo de complexidade apresenta três categorias de dependência entre tarefas que representam respectivamente três níveis de complexidade tecnológica. Dess e Beard (1984), afilados a Teoria da Dependência de Recursos, utilizam também uma medida de complexidade que, nesse caso, diz respeito ao ambiente de atuação das firmas. Quanto

maior o nível de especialização e de concentração geográfica, maior é essa complexidade ambiental.

Barney (2001), um dos autores da Teoria Baseada em Recursos da Firma, defende que a inelasticidade na oferta de alguns fatores de produção, ou recursos, pode ser causada pela *complexidade social*. Neste caso, complexidade representa as diversas inter-relações que os membros da organização podem ter com agentes externos, como clientes e fornecedores, que formam uma *barreira intangível à imitação*.

A literatura que aborda mais especificamente a tecnologia e a sua utilização pelas firmas apresenta algumas perspectivas que contemplam também de forma absoluta e concreta a variável complexidade. Alguns autores, por exemplo, definem complexidade com relação a: produtos e processos produtivos (HOBDAI, 1998; NOVAK E EPPINGER, 2001; MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002), organização das atividades tecnológicas e de inovação (LALL, 1992; DAY E SCHOEMAKER, 2004; FIGUEIREDO, 2009) e gestão de projetos (BACCARINI, 1996; THOMAS E MENGEL, 2008; VIDAL *ET AL*, 2010). É sobre essa concepção absoluta e concreta de complexidade que este trabalho está calcado.

Após essa breve sistematização das diferentes concepções do termo complexidade encontradas, passa-se para a análise desse conceito em seu relacionamento com os variados fenômenos da esfera econômica, tecnológica e organizacional.

2.2. COMPLEXIDADE, ECONOMIA E ORGANIZAÇÃO

As teorias organizacionais compreendem a firma como um sistema complexo, englobando múltiplos indivíduos (GRANT, 1996). A estrutura da organização e as inter-relações entre suas partes constituintes são o foco de análise dessas teorias. Grant (1996) afirma que a produção requer uma complexa integração de múltiplos tipos de conhecimento em um sistema único, estabelecendo, assim como também fazem McEvily e Chakravathy (2002), a relação entre aquela complexidade inerente à organização e a complexidade associada às suas tecnologias em uso. Grant afirma (1996, p. 115):

"Enquanto as rotinas podem ser sequências simples, sua característica interessante é a capacidade de suportar padrões complexos de interações entre indivíduos na ausência de regras, diretrizes, ou mesmo comunicação verbal significativa. Nesta medida, as rotinas incorporam a noção de Thompson de coordenação por ajuste mútuo [THOMPSON, 1976]. Existem duas dimensões principais para essa complexidade. Primeiro, as rotinas são capazes de suportar um alto nível de simultaneidade de desempenhos individuais de suas tarefas específicas [...]. Em segundo lugar, as rotinas podem permitir sequências muito variadas de interações."

A hierarquia, estrutura oposta ao mercado e que representa a firma na Economia dos Custos de Transação (WILLIANSO, 1985), é uma característica inerente de sistemas complexos que emergem em função das suas vantagens evolutivas para a resolução de problemas. As hierarquias são mecanismos eficientes de coordenação de sistemas complexos. A teoria organizacional tem se focado na resolução de problemas relativos à cooperação causados pela condição de conflito de interesses nas organizações. Entretanto, a complexidade da integração de conhecimento que é um problema essencialmente de coordenação não parece ser uma trivialidade e está presente mesmo na ausência de problemas de conflito de interesses (GRANT, 1996).

Nesse sentido, Metcalfe (2010) faz uma extensa revisão do significado da tecnologia na teoria econômica. Afirma que a compreensão da tecnologia é definitivamente inseparável da ideia de divisão do trabalho e da correlata divisão do conhecimento⁴, portanto, dependente das dimensões das habilidades e do conhecimento humano. A divisão do conhecimento é um dos fatores que está associada à complexidade tecnológica. Os problemas de coordenação referidos por Grant (1996) são originados dessa divisão do conhecimento. Esses problemas de coordenação ganham destaque na literatura de gestão da tecnologia em ambientes de alta complexidade tecnológica (HUANG E CHEN, 2010).

Thompson (1976), mencionado por Grant (1996), afirma que é a tecnologia que determina o grau de interdependência das tarefas e propõe uma categorização em três tipos de interdependências: (i) recíproca, (ii) sequencial e (iii) combinada. A interdependência sequencial é a mais simples, onde as

⁴ A tentativa de empregar conjuntamente conhecimentos "que não se conversam" é, sem dúvida, uma imagem muito fidedigna da ideia de complexidade tecnológica expressa neste estudo.

tarefas são executadas sequencialmente, ou seja, para que uma tarefa qualquer do processo possa ser iniciada é preciso que as suas tarefas precedentes tenham sido concluídas. A interdependência recíproca representa o tipo de sequenciamento de tarefas no qual, duas tarefas são por algum tempo necessariamente executadas simultaneamente. Ou seja, mesmo havendo dependência, não existe uma relação rígida de precedência entre as tarefas. Já a interdependência combinada diz respeito àquelas tarefas que não têm qualquer relação de precedência para a sua execução, porém, compartilham recursos comuns da organização.

Patel e Pavitt (1997) apontam a complexidade e a dependência da trajetória como características fundamentais das grandes firmas inovadoras abordadas em seu estudo de patentes. Nelson e Winter (2002), precursores da Teoria Evolucionária da Mudança Econômica, ressaltam a prevalência de um constante aumento da complexidade das tarefas executadas pelos indivíduos e pelas organizações. Patel e Pavitt (1997) atribuem aos artefatos tecnológicos, bem como às organizações e ao mundo econômico, as características de complexidade e constante mudança, ressaltando a impossibilidade de uma completa modelagem, predição e controle do seu comportamento através de teorias explícitas e codificadas. Patel e Pavitt (1997) afirmam também que os perfis tecnológicos das grandes firmas são predominantemente estáveis ao longo do tempo.

Já Henderson e Clark (1990, p. 13) apontam para a relação entre a experiência da organização, ou seja, sua trajetória, e a evolução das suas tecnologias dominadas e capacidade de inovação:

“[...] não se pode compreender o desenvolvimento da capacidade inovadora de uma organização ou seu conhecimento sem compreender a maneira pela qual elas são formadas pela experiência da organização com uma tecnologia em evolução”.

A trajetória tecnológica de uma firma é forjada pelas escolhas estratégicas que direcionaram o desenvolvimento de sua tecnologia ao longo do tempo. Lall (1992, p. 168) afirma que:

“A capacidade da firma de identificar o escopo de especialização eficiente em atividades tecnológicas, para estender e aprofundar este escopo com a experiência e o esforço e para recorrer seletivamente a

outras firmas a fim de complementar seus ativos, é a marca de uma firma madura tecnologicamente”.

Esta firma “madura tecnologicamente” a qual se refere Lall (1992) faz uso eficiente da tecnologia que detém. A questão de expandir ou aprofundar o escopo tecnológico da firma tem estreita relação com a divisão do conhecimento, coordenação, hierarquia e as possíveis trajetórias tecnológicas percebidas e traçadas pela firma ao longo do seu desenvolvimento.

Complexidade aparece em Lall (1992), fortemente associada à incerteza. Todavia, as principais fontes de incerteza para o entendimento da Economia dos Custos de Transação são comportamentais. Sendo que essa incerteza é causada pela racionalidade limitada dos agentes econômicos (SIMON, 1997) e é fonte de distúrbios nas organizações. As estruturas de governança (mercado, hierarquia e híbridas) se distinguem por sua capacidade de responder efetivamente a esses distúrbios. Assim, neste contexto de estudo, são realizadas análises comparativas dos atributos adaptativos de estruturas de governança alternativas (WILLIAMSON, 1985).

Williamson (2010) faz ainda referência ao que chama de interfaces tecnológicas. Podem-se definir interfaces tecnológicas, tais como o conjunto de ligações lógicas entre diferentes conhecimentos ou tecnologias interdependentes necessários para dar sentido econômico para um processo específico. Essas interfaces representam um obstáculo à plena circulação das informações nas firmas e entre firmas e mercados. Muitas interfaces tecnológicas representam um custo extra de produção ou de transação. Baseado nessa interpretação sugere-se que existe um “custo de complexidade” relacionado às interfaces tecnológicas. Diante disso, parece que a complexidade não reside na tecnologia em si, mas tem origem na ocorrência dessas interfaces tecnológicas.

Já no contexto da literatura de gerenciamento de projetos, Baccarini (1996) busca também critérios para a determinação da complexidade tecnológica. Baccarini (1996) faz a distinção entre complexidade tecnológica e complexidade organizacional e atribui a complexidade tecnológica principalmente aos fatores como “diferenciação entre partes” e “interdependências”. Incerteza, por sua vez, constitui uma dimensão distinta e uma definição prática de complexidade não deveria incluir incerteza. Baccarini

(1996) defende ainda que a dificuldade estaria mais associada à incerteza do que propriamente à complexidade.

Baseado nas definições de Baccarini (1996), Vidal *et al* (2010) faz uma caracterização da complexidade de projetos a partir de um quadro de análise que contém duas categorias, tecnológica e organizacional, bem como quatro famílias de fatores: (i) tamanho, (ii) variedade, (iii) interdependências e (iv) dependência em relação ao contexto. Esse modelo conceitual gerou uma série de critérios de avaliação da complexidade de projetos. Os critérios que determinam a complexidade tecnológica identificados por Vidal *et al* (2010), bem como as suas pontuações médias na sua pesquisa entre especialistas em projetos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Indicadores de *Complexidade Tecnológica* de projetos

INDICADORES DE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA	FAMÍLIA
Complexidade do ambiente (ambiente de relacionamento)	Dependência no Contexto
Interdependências na especificação	Interdependência
Dependências dos processos tecnológicos	Interdependência
Interdependência entre os componentes do produto	Interdependência
Grau de inovação tecnológica	Dependência no Contexto
Largura do escopo (número de componentes)	Tamanho
Variedade de tecnologias usadas durante o projeto	Variedade
Configuração e variedade cultural	Dependência no Contexto
Variedade de componentes do produto	Variedade
Variedade de recursos manipulados	Variedade
Número e quantidade de recursos	Tamanho
Interdependência de recursos e matéria prima	Interdependência
Novas leis e regulamentações	Dependência no Contexto
Variedade de dependências tecnológicas	Variedade
Demanda de criatividade	Dependência no Contexto
Variedade de habilidades tecnológicas necessárias	Variedade
Escopo para desenvolvimento	Dependência no Contexto
Leis e regulamentações locais	Dependência no Contexto
Configuração institucional	Dependência no Contexto
Importância na agenda pública	Dependência no Contexto
Competição	Dependência no Contexto

Fonte: Adaptado de Vidal *et al* (2010).

Observa-se uma recorrente associação feita pelos autores citados nesta seção entre tecnologia, complexidade e organização. Os critérios de complexidade reunidos por Vidal *et al* (2010) apresentam uma ideia do quanto à tecnologia e a organização da firma estão vinculadas. Esses critérios serão

utilizados junto aos demais indicadores repassados e as considerações destacadas para a formulação do conceito de complexidade tecnológica na seção 2.4.

2.3. COMPLEXIDADE E A ESFERA TECNOLÓGICA

Complexidade tecnológica diz respeito àquelas características mensuráveis de produtos e processos de produção que contribuem para a ocorrência de laços de realimentação ou interdependências, nas rotinas e nos processos de tomada de decisão das firmas. Apresentar-se-ão ao longo desta seção os principais indicadores mencionados por autores da área de gestão da tecnologia e inovação, assim como o impacto dessas características no cotidiano das firmas.

2.3.1. Complexidade e Mudança Tecnológica

Alguns autores focam sua atenção na relação ente complexidade e as atividades de mudança tecnológica. Essas mudanças ocorrem na firma através da introdução de novos produtos e processos ou melhorias nos já existentes. Wonglimpiyarat (2005) procura, sem sucesso, verificar a existência de uma relação entre a complexidade da mudança tecnológica e a sua velocidade de implementação. Para tal, uma métrica de complexidade da mudança tecnológica dividida em três estágios foi desenvolvida: (i) caminho para desenvolver, (ii) caminho para entregar e (iii) ida ao mercado. Os indicadores escolhidos por Wonglimpiyarat (2005) para representar cada um desses estágios são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Indicadores de *Complexidade Tecnológica* de Wonglimpiyarat

AUTOR	INDICADORES DE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA
Wonglimpiyarat (2005)	<p>Caminho para desenvolver</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dificuldade científica e tecnológica na tarefa de desenvolvimento; 2. Coordenação da rede ou interface do sistema implementado; 3. Capital investido; 4. Proteção por patente (instrumentos legais) <p>Caminho para entregar</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Distribuição do produto 6. Padronização <p>Ida ao mercado</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Entendimento da demanda do cliente; 8. Existência de fluxo de receitas concorrentes 9. Atividades de <i>marketing</i> 10. Incertezas de mercado

Fonte: Adaptado de Wonglimpiyarat (2005)

Com relação ainda às mudanças tecnológicas, Zawislak (1996) defende que as atividades de resolução de problemas no ambiente de produção se apresentam de diferentes formas e em diferentes graus de complexidade. Nesse caso, complexidade aparece associada ao grau de documentação ou formalização das atividades de produção e de desenvolvimento tecnológico.

Com o objetivo de apreender a relação entre complexidade e desempenho inovador, Patel e Pavitt (1997) pesquisam as competências tecnológicas⁵ de grandes firmas através dos seus registros de patentes. As competências analisadas estão espalhadas por um grande número de campos tecnológicos, refletindo a complexa e multivariada natureza dos produtos específicos e métodos de produção utilizados. Patel e Pavitt (1997) defendem que a complexidade restringe a busca e a experimentação entorno daquilo que a firma já conhece.

McEvily e Chakravarthy (2002) apontam para a possibilidade de redução da velocidade do desenvolvimento de melhorias em produtos e processos em função da crescente complexidade dos mesmos. Porém, McEvily e Chakravarthy (2002) também admitem que uma maior complexidade possa expandir as oportunidades para a inovação. Esses efeitos devem ser balanceados pelo domínio e manipulação, por parte da firma, da interação entre campos de conhecimento complementares.

⁵ Aqui, *competência tecnológica* quer dizer: conhecimento em algum campo tecnológico específico i.e. física, química, metalurgia, etc., algo distinto de capacidades tecnológicas (vide definição formal apresentada no capítulo 3).

Patel e Pavitt (1997) alegam, ainda, que as firmas espalham os seus recursos tecnológicos além do espectro dos seus produtos e processos e ainda sobre campos particulares onde as mesmas não têm vantagens distintivas, aumentando assim a sua complexidade. São apontadas duas causas principais para esse fenômeno: (a) interdependência tecnológica e (b) emergência de oportunidades tecnológicas.

A interdependência tecnológica diz respeito às possibilidades de mudanças e aprimoramentos nos “complexos produtos e sistemas produtivos” que requerem mudanças complementares da parte dos fornecedores de materiais, componentes e bens de produção. Essas competências secundárias são essenciais para identificação, integração e adaptação aos requisitos tecnológicos específicos da cadeia de suprimentos da firma e para as tecnologias de produção relacionadas. Já a emergência de oportunidades tecnológicas, diz respeito ao fato de que a firma deve dominar campos de conhecimentos afins aos seus para poder identificar e reagir a potenciais contribuições ou ameaças aos negócios provenientes dessas áreas correlatas (PATEL E PAVITT, 1997).

McEvily e Chakravarthy (2002) argumentam que complexidade, de forma geral, é definida de acordo com as dimensões que aumentam a dificuldade de compreensão sobre a forma com que um sistema (i.e., uma organização, um organismo, um dispositivo) funciona ou produz um resultado. McEvily e Chakravarthy (2002) definem “sistema complexo” como sendo aquele constituído de muitas partes únicas que interagem e que têm efeitos equivalentes no resultado produzido pelo sistema. Com a conceituação de complexidade baseada em características sistêmicas, McEvily e Chakravarthy (2002) puderam ir além da definição teórica, partindo para uma abordagem operacional do construto e a delimitação do que chamam de “partes constituintes do sistema produto”. McEvily e Chakravarthy (2002, p. 289) criam, assim, uma forma de medida empírica da complexidade de produtos e processos apoiada na perspectiva sistêmica:

"Os elementos são distintos quando um indivíduo não pode usar o mesmo conhecimento para entendê-los, crescendo assim o número de elementos únicos aumenta a quantidade de informação que deve ser processada para entender o comportamento do sistema. Se cada elemento é igualmente importante para a obtenção de um desempenho final, saber

como um elemento funciona isoladamente revela muito pouco sobre como o sistema funciona no todo. Além disso, se os elementos individuais são interdependentes, então é preciso compreender os seus efeitos conjuntos no desempenho obtido, e o número de interações aumenta geometricamente com o número de elementos".

Em Lall (1992), a complexidade aparece como sinônimo de dificuldade e está predominantemente associada ao risco e à incerteza envolvida nas atividades tecnológicas. Sendo assim é possível fazer um contraste entre dois usos de complexidade, o de Lall (1992) e o de McEvily e Chakravarthy (2002). Essas complexidades diferem sensivelmente, enquanto Lall (1992) se refere à complexidade mais como um sinônimo de dificuldade ou incerteza envolvida nos processos. McEvily e Chakravarthy (2002) se referem à complexidade como uma característica sistêmica que contribui para o aumento da dificuldade de compreensão desses sistemas, como, por exemplo, um número elevado de partes que interagem. A diferença entre essas duas formas de entender complexidade é que essa última diz respeito à dificuldade para compreensão do sistema imposta a um agente externo (complexidade concreta absoluta), enquanto para Lall (1992) a complexidade decorre do grau de novidade das atividades (complexidade concreta relativa).

McEvily e Chakravarthy (2002) não se resumem a usar a incerteza envolvida nos processos como indicador de complexidade como faz Lall (1992), introduzindo na discussão o que chamam de “complexidade do sistema produto ou da tecnologia” que leva em conta o número de elementos distintos e as suas respectivas inter-relações.

Em um artigo que trata da relação entre verticalização e complexidade de produtos, Novak e Eppinger (2001) afirmam que a maior complexidade de um produto aumenta os desafios impostos à coordenação durante o seu desenvolvimento. Novak e Eppinger (2001, p. 189) defendem que:

“a produção interna é mais atraente quando a complexidade do produto é alta, pois as firmas buscam capturar os benefícios do seu investimento nas habilidades necessárias para coordenar o desenvolvimento e produção de projetos [produtos] complexos”.

Apoiados na Economia dos Custos de Transação (WILLIAMSON, 1985), Novak e Eppinger (2001) alegam que a complexidade do produto gera um aumento nos custos de coordenação para o *design* e a execução da produção.

Williamson (1985) define que as dimensões principais que distinguem as transações são: especificidade dos ativos, incerteza e a frequência dessas transações. Ativos específicos são condições, características ou atributos únicos que caracterizam uma transação. Williamson (1985) define quatro tipos principais de especificidade de ativos: (i) de local; (ii) física; (iii) de recursos humanos; e (iv) ativos dedicados. Transações que envolvem investimentos em ativos específicos não são instantâneas e as partes envolvidas são personificadas, ou seja, se distinguem de transações “anônimas” de mercado.

Complexidade do produto é uma variável indicativa de custo de transação, entretanto, Novak e Eppinger (2001) alertam que o conceito de complexidade tecnológica não é idêntico ao de especificidade de ativos e, portanto, não captura por completo essa mesma dimensão. A complexidade tecnológica se aproxima da especificidade de recursos humanos e de ativos dedicados de Williamson (1985), mas não parece incluir as especificidades de local e físicas. Novak e Eppinger (2001) concluem que a complexidade do produto e a estrutura da firma estão relacionadas, além do que uma maior complexidade no produto seria complementar a ocorrência de uma maior integração vertical, indo ao encontro do que é esperado a partir da Economia dos Custos de Transação. Por conseguinte, uma maior complexidade do produto é concomitante com um espectro tecnológico mais amplo para a firma.

Quanto à compreensão de Novak e Eppinger (2001), a respeito do conceito de complexidade do produto os autores alegam que se deve a três elementos principais: (a) o número de componentes do produto a serem especificados e produzidos; (b) a extensão das interações a serem gerenciadas entre tais componentes (partes acopláveis); e (c) o grau de novidade do produto.

Entre essas diferentes aplicações do conceito de complexidade utilizadas para a caracterização de produtos e processos de produção, uma abordagem específica se destaca. Baseada fundamentalmente a distinção entre produtos simples e complexos, a perspectiva dos CoPS – *Complex Product Systems* (HOBDA, 1998; HANSEN E RUSH, 1998; HOBDA, RUSH E TIDD, 2000; NIGHTINGALE, 2000) apresenta de uma forma específica algumas definições de complexidade tecnológica, bem como elenca uma série de diferentes indicadores.

2.3.2. CoPS - Complex Product Systems

Os CoPS – *Complex Product Systems* – são produtos ou processos diferenciados de produção industrial de alta complexidade (HANSEN E RUSH, 1998). Hobday (1998) afirma que os “sistemas de produtos complexos” deveriam ser estudados como uma categoria de análise distinta. No ambiente de produção de CoPS existe uma forte tendência à influência de mecanismos não mercadológicos, como por exemplo, interferências políticas e questões interorganizacionais.

Para Hobday (1998), os CoPS são definidos como empreendimentos, redes, sistemas de produtos intensivos em tecnologia e de alto custo. O termo complexo é utilizado para conotar o número de componentes customizados, a diversidade dos conhecimentos e habilidades empregados e o grau de conhecimento novo envolvido na produção entre outras dimensões críticas (HOBDAY, 1998).

Os CoPS são produzidos através de projetos e em alguns casos pequenos lotes. As demais formas de produção, denominados genericamente de “não complexas”, se dão através de pequenos e grandes lotes, produção em massa e processos contínuos. Essa distinção tem como base a tipologia de Woodward (WOODWARD, 1954 *apud* HOBDAY, 1998). Apesar dessa classificação em dois tipos de produtos, isto é, os complexos e os não complexos, Hobday (1998, p. 707) defende que existem também graus intermediários de complexidade entre esses extremos.

“A comparação entre CoPS e bens produzidos em massa não deve ser levada muito longe. De fato, o [este] artigo argumentou que, existem padrões de coordenação industrial em um *continuum* de complexidade do produto muito simples, através de vários níveis intermediários, até os de custo extremamente elevado, artefatos e sistemas extremamente complexos. Algumas das dimensões constituintes da complexidade do produto foram discutidas, incluindo novidade tecnológica, customização de componentes, arquitetura de produto e hierarquia necessária para a produção. *Ceteris paribus*, quanto maior o custo total e o grau de complexidade, maior a probabilidade de incertezas de informação, riscos e laços de realimentação entre as fases finais e iniciais do processo de produção. Igualmente, quanto maior o grau de complexidade, custo e incerteza, mais difícil é a tarefa de coordenação e gestão de projetos”.

Hobday (1998) afirma ainda que o controle de processos, a interface produto-processo e o *design* orientado para manufatura são três práticas muito empregadas para os produtos *não complexos* que não são importantes para os CoPS. Hobday (1998) também defende que quanto maior e mais complexo for o projeto, mais importante se torna o conhecimento tácito para o seu *design* e execução. A tabela 3 apresenta os indicadores de complexidade tecnológica de produtos e processos na visão dos CoPS.

Tabela 3: Indicadores de *Complexidade Tecnológica* dos CoPS

AUTOR	INDICADORES DE COMPLEXIDADE
Hobday (1998)	Custo unitário / escala financeira do projeto; Volume do produto (inverso); Grau de novidade tecnológica; Medida de <i>software</i> embarcado no produto; Quantidade de subsistemas e componentes; Grau de customização dos componentes; Grau de customização do sistema final; Complexidade e escolha da arquitetura de sistema; Quantidade de alternativas de trajetórias para o <i>design</i> de componentes; Laços de realimentação dos estágios finais para os iniciais; Variedade de bases de conhecimento; Variedade de habilidades e conhecimento tecnológico; Intensidade de envolvimento com o usuário; Incerteza e mudança nas requisições dos usuários; Intensidade do envolvimento de outros fornecedores; Intensidade do envolvimento de fatores regulatórios;

Fonte: Adaptado de Hobday (1998).

Hansen e Rush (1998) definem CoPS como produtos customizados de alto custo, intensivos em tecnologia, engenharia e informação que contém um grande número de componentes e subsistemas feitos sob medida. Hansen e Rush (1998) argumentam ainda que os CoPS tipicamente não seguem os padrões de ciclo de vida de produto e processo dos produtos tradicionais (UTTERBACK E ABERNATHY, 1975; TUSHMAN E ANDERSON, 1986). Os CoPS são comercializados entre firmas, ou seja, não são bens de consumo e, em baixos volumes, além de serem produzidos em projetos de alianças entre múltiplas firmas. Assim como Hobday (1998), Hansen e Rush (1998) defendem que os CoPS requerem técnicas diferentes de gestão da inovação. Hansen e Rush (1998) apontam ainda algumas áreas problemáticas relacionadas à produção de CoPS como: (i) dependência de fornecedores e problemas com contratos; (ii) incertezas e dificuldades técnicas; (iii) problemas organizacionais e de estrutura de projetos e (iv) gerenciamento e captação de requisitos.

Nightingale (2000) busca entender como as incertezas no *design* e o número de laços de realimentação (interdependências) podem ser reduzidos para tornar a produção de CoPS mais rápida e econômica. Nightingale (2000) ressalta ainda o alto grau de envolvimento dos usuários na produção dos CoPS, que na sua concepção são bens de capital intensivos em engenharia, produzidos em empreendimentos multifirma e em mercados altamente regulamentados.

Outra característica apontada por Nightingale (2000) é a inversão na sequência do processo de seleção dos produtos pelo mercado que se observa para os CoPS. A abordagem de Nightingale (2000), ao ressaltar essa última característica, assim como o envolvimento dos usuários no processo de produção, aproxima o entendimento do processo de inovação dos CoPS à perspectiva de inovação em serviços (BARRAS, 1986; GALLOUJ, 1997). Nightingale (2000) defende ainda que, nos CoPS uma estrutura piramidal de resolução de problemas é gerada em simetria oposta aos componentes, subsistemas e sistemas do produto, refletindo assim a sua complexidade.

Muito embora na abordagem dos CoPS se busque tratar de questões relativas à organização de sistemas de produção e gestão de projetos, entende-se que a principal contribuição da mesma para esse trabalho seja o desenvolvimento de critérios objetivos que caracterizam a complexidade de produtos e processos. Entende-se nessa abordagem que todo produto ou processo tem algum grau mínimo de complexidade. A divisão entre produtos complexos e produtos não complexos (de produção em massa) desenvolvidos por Hobday (1998) é útil para caracterizar dois extremos de um contínuo de complexidade tecnológica, porém não retrata a realidade da indústria onde diversos graus intermediários de complexidade podem coexistir, como o próprio Hobday (1998) admite.

Constata-se ainda, através dos indicadores apontados por Hobday (1998), que a complexidade tecnológica é derivada de fontes variadas. Por essa razão, a complexidade tecnológica pode ter características também variadas. Se existem inúmeras formas de se caracterizar a complexidade tecnológica, como a diversidade de campos tecnológicos (PATEL E PAVIT, 1997) o número de componentes (NOVAK E EPPINGER, 2001; MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002), a intensidade da interação com agentes externos

(HOBDA, 1998; WONGLIMPIYARAT, 2005; VIDAL *ET AL*, 2010) entre outras, podem ainda existir maneiras mais adequadas de se organizar cada configuração específica de complexidade.

Interessante referir que, na próxima seção, percorrer-se-ão alguns trabalhos que identificaram e buscaram compreender a relação entre complexidade e a organização das atividades tecnológicas nas firmas. A tabela 4 mostra os principais indicadores de complexidade tecnológica identificados na literatura e que foram abordados até aqui ao longo deste capítulo.

Tabela 4: Resumo de indicadores de *Complexidade Tecnológica*

AUTOR	INDICADORES DE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA
Lall (1992)	Dificuldade; Incerteza (grau de novidade da tecnologia);
Grant (1996)	Integração; Múltiplos tipos de conhecimento; Interações;
Baccarini (1996)	Diferenciação entre as partes (componentes de entrada / saída e processos); Especialidades tecnológicas; Interdependência (entre tarefas, redes de tarefas, times, tecnologias e entradas);
Patel e Pavitt (1997)	Grande número de campos tecnológicos; Trajetória tecnológica; Interdependências;
Hobday (1998)	Custo unitário / escala financeira do projeto; Volume do produto (inverso); Grau de novidade tecnológica; Medida de <i>software</i> embarcado no produto; Quantidade de subsistemas e componentes; Grau de customização dos componentes; Grau de customização do sistema final; Complexidade e escolha da arquitetura de sistema; Quantidade de alternativas de trajetórias para o <i>design</i> de componentes; Laços de realimentação dos estágios finais para os iniciais; Variedade de bases de conhecimento; Variedade de habilidades e conhecimento tecnológico; Intensidade de envolvimento com o usuário; Incerteza e mudanças nas requisições dos usuários; Intensidade do envolvimento de outros fornecedores; Intensidade do envolvimento de fatores regulatórios;
Novak e Eppinger (2001)	Interdependência; Integração; Número de componentes; Interações de partes acopláveis; Incerteza (grau de novidade da tecnologia);
McEvily e Chakravarthy (2002)	Dificuldade; Incerteza (grau de novidade da tecnologia); Muitas partes únicas; Interações;
Wonglimpiyarat (2005)	Dificuldade científica e tecnológica na tarefa de desenvolvimento; Coordenação da rede ou interface do sistema implementado; Capital investido; Proteção por patente (instrumentos legais) Distribuição do produto Padronização Entendimento da demanda do cliente; Existência de fluxo de receita concorrente Atividades de <i>marketing</i> Incertezas de mercado
Vidal <i>et al</i> (2010)	Tamanho (número de componentes); Variedade tecnológica; Interdependência; Dependência em relação ao contexto;

2.4. COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA: UMA PROPOSTA DE CONCEITUAÇÃO

Após essa revisão de algumas abordagens de complexidade, busca-se sintetizar uma visão do conceito. Com a pulverização das fontes de informação devido ao incremento na capacidade de geração, armazenamento e transmissão de dados disponíveis, a complexidade imposta aos agentes econômicos tende a aumentar. Não apenas na esfera tecnológica, foco principal deste estudo, mas também na esfera econômica e organizacional o volume aumentado de informações disponíveis limita a ação independente de qualquer agente. Daí decorre as interdependências, ou seja, as complexidades, das três esferas representadas na figura 2.

Como apontado ao longo deste capítulo, complexidade é uma característica atribuída a muitas unidades de análise na literatura de gestão da tecnologia, inovação, teoria organizacional e economia industrial. A figura 2 organiza uma divisão dessas unidades de análise em função dessas três perspectivas e das suas interseções.

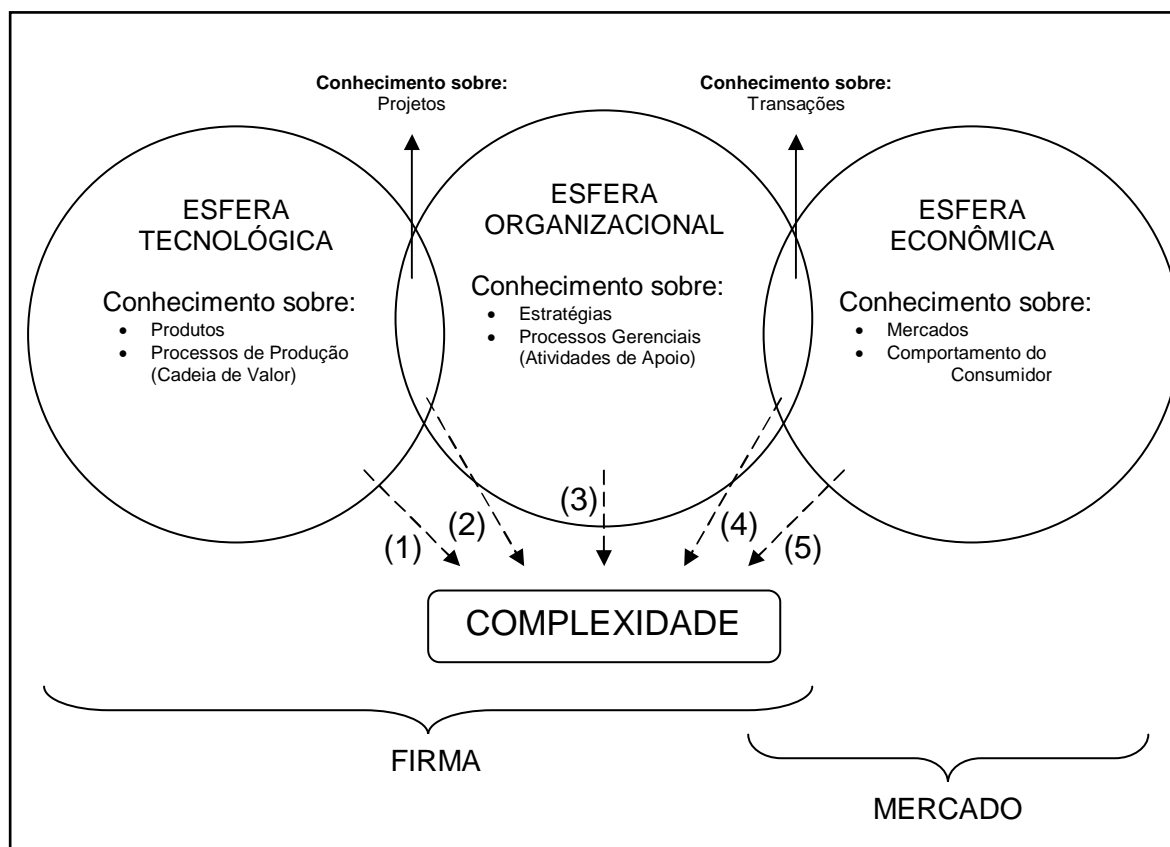


Figura 2: Três esferas da *Complexidade*

- (1) Complexidade de produtos e processos (UTTERBACK E ABERNATHY, 1975; PAVITT, 1984; HENDERSON E CLARK, 1990; PATEL E PAVITT, 1997; HOBDDAY, 1998; NOVAK E EPPINGER, 2001; MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002);
- (2) Complexidade de projetos (LALL, 1992; BACCARINI, 1996; KIM, 1999; NIGHTINGALE, 2000; THOMAS E MENGEL, 2008; VIDAL *ET AL*, 2010; KAPSALI, 2011);
- (3) Complexidade organizacional (THOMPSON, 1976; SIMON, 1997; DESS E BEARD, 1984; GRANT, 1996);
- (4) Complexidade contratual (WILLIAMSON, 1985, 2010);
- (5) Complexidade econômica (NELSON E WINTER, 2005; ARTHUR *ET AL*, 1999; TORRES E ALLEN, 2009).

Na esfera tecnológica (seta 1) as principais unidades de análise são inovações (PAVITT, 1984; HENDERSON E CLARK, 1990), patentes (PATEL E PAVITT, 1997; HUANG E CHEN, 2010; STRUMSKY, LOBO E TAINTER, 2010) ou características de produtos ou processos (NOVAK E EPPINGER, 2001; MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002).

A literatura de capacidades tecnológicas busca analisar funções ligadas à tecnologia como as de absorção de conhecimento, adaptação e implementação de melhorias. Aqui essas funções serão denominadas genericamente como “projetos” (seta 2).

Os trabalhos que tratam da complexidade organizacional costumam utilizar atividades ou rotinas gerenciais, estrutura organizacional, assim como o processo de tomada de decisão como unidades de análise (seta 3). Na

interface entre organização (hierarquia) e mercado a unidade de análise mais comumente utilizada é a “troca” (seta 4), que se apresenta em duas abordagens: a da “escolha” na economia Neoclássica e a dos “contratos” na Economia dos Custos de Transação. Dessas duas, apenas a abordagem dos custos de transação considera o aspecto complexidade, na forma de uma complexidade contratual (WILLIAMSON, 1979).

Na esfera econômica (seta 5), o fator complexidade é relacionado ao conjunto de agentes econômicos como firmas, consumidores, governos, etc. A complexidade é, portanto, uma característica representativa da estrutura geral dos mercados, das instituições e também do comportamento dos consumidores (ARTHUR, 1999; TORRES E ALLEN, 2009).

As três esferas tecnológica, organizacional e econômica se desenvolvem ao longo do tempo. Uma mudança na complexidade do ambiente tecnológico da firma certamente tem impacto no seu ambiente organizacional e vice-versa. A magnitude desta “transferência” de complexidade da esfera tecnológica para a organizacional e o consequente impacto no desempenho econômico da firma no mercado parece estar relacionada às capacidades tecnológicas e de transação de cada firma.

As evidências empíricas apontam para o crescimento da complexidade no ambiente econômico, tecnológico e organizacional. No esquema apresentado na Figura 2, a capacidade tecnológica está na interface entre a esfera organizacional e a tecnológica. Existem estudos que focam na complexidade organizacional (ANDERSON, 1999; MOREL, 1999), mas pouco se conhece sobre a relação entre o nível de complexidade tecnológica e as capacidades tecnológicas das firmas.

Já na interface entre organização e mercado, no esquema apresentado na Figura 2, essas relações parecem ser mais bem compreendidas, especialmente através da Economia dos Custos de Transação, que estabelece parâmetros objetivos envolvidos na influência mútua entre firma e mercado através da análise das transações. Williamson (2010) aponta três principais fatores de influência na caracterização das transações: complexidade, especificidade de ativos e distúrbios aos quais as transações estão sujeitas.

A análise dos custos de transação busca enquadrar os limites da firma a partir da perspectiva de contratos em detrimento da perspectiva de escolha,

baseada em preços, visão predominante na economia Neoclássica. Neste contexto, a complexidade aparece também como consequência da racionalidade limitada dos agentes (SIMON, 1997) e se manifesta através das incompletudes contratuais.

2.4.1. Conceito de Complexidade Tecnológica

A complexidade da tecnologia varia em função do volume de informações e variáveis que precisam ser coordenadas pelo agente produtor. O aumento do volume de informações e variáveis explicita a racionalidade limitada dos agentes (SIMON, 1997) e favorece o surgimento de laços de realimentação e incertezas nas atividades desempenhadas pelas firmas. A ocorrência desses laços de realimentação ou interdependências que caracteriza genericamente a complexidade tecnológica (THOMPSON, 1976; BACCARINI, 1996; PATEL E PAVITT, 1997; HOBDAV, 1998; NOVAK E EPPINGER, 2001; VIDAL *ET AL* 2010).

O volume de informações e variáveis aumenta de acordo com três características recorrentes na literatura apresentada: (i) diversidade ou heterogeneidade do conhecimento empregado para manipulação da tecnologia; (ii) volume de componentes do sistema manipulado (produto, subsistemas, etapas do processo produtivo) e (iii) número de dependências externas à organização para manipulação da tecnologia.

Nessa concepção, complexidade tecnológica se manifesta, em um primeiro momento, pela coexistência, na mesma firma, de muitos diferentes conhecimentos ou campos tecnológicos (PATEL E PAVITT, 1997; MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002). Assim, a complexidade tecnológica aumenta com o aumento do número de campos tecnológicos necessários para o *design* dos produtos e a execução da produção, bem como pelo aumento concomitante que se dá nessas circunstâncias e no número de interfaces tecnológicas existentes na firma (WILLIAMSON, 2010).

A segunda forma de ocorrência da complexidade tecnológica diz respeito ao número e a variedade de componentes dos produtos e sistemas de produção utilizados (NOVAK E EPPINGER, 2001; MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002). Portanto, entende-se que produtos compostos por

um elevado número de peças ou módulos, ou da mesma forma, produzidos através de processos que contemplam um grande número de etapas diferentes devem ser de maior complexidade.

A terceira forma de apresentação da complexidade é através das dependências externas da firma. Essas dependências podem ser com relação aos clientes, fornecedores, parceiros ou agentes governamentais envolvidos nas suas atividades de desenvolvimento e produção (HOBDA, 1998; WONGLIMPIYARAT, 2005; VIDAL *ET AL*, 2010). Um elevado grau de participação de clientes e fornecedores na especificação de novos produtos, assim como uma elevada intervenção normativa externa sobre a firma, caracteriza um ambiente tecnológico de maior complexidade.

Esses três vetores sintetizam as principais causas da complexidade tecnológica existentes nas firmas. Complexidade da tecnologia é entendida em alto nível como o grau de interdependência entre as tarefas de desenvolvimento tecnológico e produção devido aos três fatores principais de baixo nível: (i) diversidade dos campos tecnológicos (ii) número e variedade de componentes ou partes constituintes dos sistemas manipulados (produtos e processos); e (iii) grau de dependência externa da firma. Esses três vetores, presume-se, que devem estar presentes em maior intensidade nas firmas que buscam com maior ênfase o desenvolvimento de soluções tecnológicas alternativas e que, por conseguinte, toleram um nível mais elevado de incerteza nas suas rotinas de busca e de produção. A figura 3 sintetiza essa definição de complexidade tecnológica.

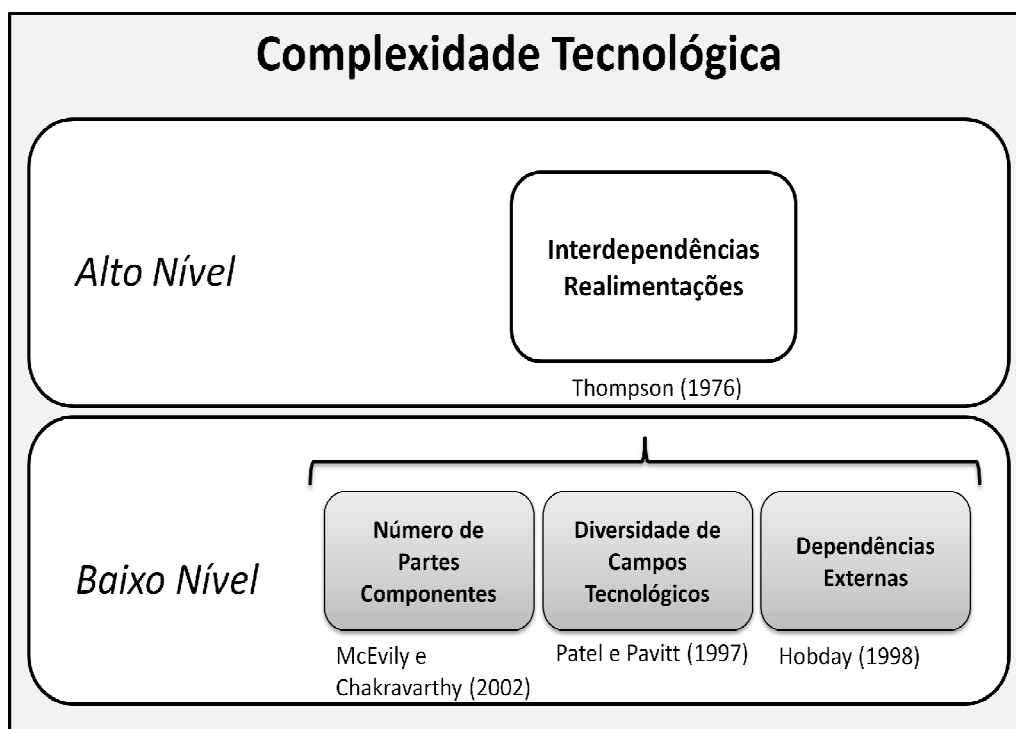


Figura 3: Proposta conceitual de *Complexidade Tecnológica*

A característica central que permeia os três vetores é o aumento no número de interdependências entre atividades (THOMPSON, 1976; BACCARINI, 1996; PATEL E PAVITT, 1997; HOBDAY, 1998; NOVAK E EPPINGER, 2001; VIDAL *ET AL* 2010). O grau de interdependência ou retroatividade entre tarefas em um ambiente de desenvolvimento tecnológico ou produção nesta interpretação é a última manifestação do *grau de complexidade* da tecnologia.

Este trabalho busca estabelecer a relação entre complexidade tecnológica e a capacidade tecnológica da firma (seta 1 e 2 na figura 2). Presume-se que a complexidade do conteúdo tecnológico (complexidade tecnológica) e o grau de desenvolvimento das capacidades tecnológicas apresentam algum tipo de relação. A complexidade tecnológica também se relaciona à criação de novas tecnologias, produtos e métodos de produção. Sendo que essa relação se dá através da introdução de incertezas ao ambiente tecnológico das firmas que buscam por soluções tecnológicas alternativas.

A criação de novas tecnologias está associada também aos níveis avançados de capacidades tecnológicas. Evidencia-se que essa relação comum entre complexidade tecnológica, capacidade tecnológica e

desenvolvimento de soluções tecnológicas alternativas será mais explorada no próximo capítulo.

Passar-se-á então à discussão acerca da relação entre esse conceito de complexidade tecnológica e as capacidades tecnológicas acumuladas pelas firmas.

3. RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE E CAPACIDADE TECNOLÓGICA

Para avançar no entendimento da relação entre complexidade tecnológica e as capacidades tecnológicas da firma, faz-se necessário uma compreensão mais detalhada do conceito de capacidade tecnológica. Assim, este capítulo tem por objetivo revisar o conceito de capacidade tecnológica e relacioná-lo a complexidade da tecnologia de forma a sustentar a discussão apresentada nos próximos capítulos.

3.1. CAPACIDADE TECNOLÓGICA

A capacidade tecnológica é primordialmente constituída pelas rotinas através das quais o conhecimento técnico das firmas é aplicado. A abordagem das capacidades tecnológicas faz uma descrição do fenômeno de evolução tecnológica na indústria, em especial nos países em desenvolvimento. Diversos estudos longitudinais vêm ilustrando nas últimas duas décadas a absorção de capacidades tecnológicas e o avanço tecnológico dos países em desenvolvimento na direção da fronteira mundial do conhecimento (LALL, 1992; PANDA E RAMANATHAN, 1996; KIM, 1999; FIGUEIREDO, 2009). Esses trabalhos, de forma geral, ressaltam a importância do processo de inovação tecnológica nas firmas como catalisador do progresso econômico e social de países emergentes. Nesta seção, algumas das principais conceituações de capacidade tecnológica serão apresentadas.

Para Lall (1992), capacidade tecnológica diz respeito aos graus de acúmulo de tecnologia pela firma, ou seja, é o domínio que a firma exerce sobre as tecnologias e a sua capacidade de adaptação dessas tecnologias em condições variadas. Kim (1999), por sua vez, compreende capacidade tecnológica como a habilidade da firma de fazer uso efetivo do conhecimento tecnológico e aponta a capacidade tecnológica como a principal determinante da competitividade industrial.

Kim (1999) defende, ainda, que a capacidade tecnológica é essencialmente um conjunto de conhecimentos tácitos, Kim (1999, p. 121):

“Capacidade tecnológica na firma não é uma coleção de conhecimento explícito, mas é, em grande parte, uma coleção de conhecimento tácito. A firma pode ter a propriedade de algum conhecimento explícito como especificações de projetos e padrões de procedimentos operacionais, porém, estes são úteis apenas quando o conhecimento tácito permite aos seus membros utilizá-los”.

Panda e Ramanathan (1996) definem capacidade tecnológica como um conjunto de habilidades funcionais, refletidas no desempenho da firma através de várias atividades tecnológicas cuja finalidade no nível de gestão de valor da firma é o desenvolvimento de habilidades organizacionais difíceis de copiar.

Já Figueiredo (2009) afirma que capacidade tecnológica é um conjunto de recursos de natureza cognitiva, atribuindo à capacidade tecnológica o potencial de definição do desempenho distintivo da firma no mercado. Lall (1992) aponta que a capacidade tecnológica delimita o que a firma é capaz de obter no mercado enquanto são os incentivos gerenciais que guiam o uso dessas capacidades e estimulam a sua expansão, renovação ou eventual desaparecimento.

Panda e Ramanathan (1996) definem a capacidade tecnológica como um conjunto de habilidades funcionais que por sua vez podem ser classificadas tendo como base estágios de agregação de valor. Essas habilidades funcionais são divididas em três tipos: (a) estratégicas: criação, *design*, engenharia e construção de capacidades; (b) táticas: produção, *marketing* e vendas, e de serviços; e (c) suplementares: aquisição e suporte. Além desses três tipos de habilidades funcionais, Panda e Ramanathan (1996) incluem em seu modelo outro tipo de capacidade que não seria tecnológica, no caso da capacidade de direção, que é responsável pelo efetivo aproveitamento e desenvolvimento da capacidade tecnológica.

Nessas definições, alguns autores atribuem à capacidade tecnológica a determinação do desempenho das firmas no mercado (KIM, 1999; FIGUEIREDO, 2009), enquanto outros autores (LALL, 1992; PANDA e RAMANATHAN, 1996) se referem à capacidade tecnológica unicamente como uma condição necessária, porém não suficiente, para um desempenho econômico superior. Assim, na visão desses últimos, a capacidade tecnológica não seria um fator capaz de explicar o desempenho econômico das firmas por si só (LALL, 1992; PANDA E RAMANATHAN, 1996). Decorrente disso, é

atribuída a alguma outra capacidade das firmas a função de converter a capacidade tecnológica em resultado. Lall (1992) se refere aos incentivos, enquanto Panda e Ramanathan (1996) se referem à certa capacidade de direção.

Hobday (2004) divide capacidade tecnológica em nove subcategorias: (a) consciência da necessidade de melhorar; (b) capacidade de pesquisa em relação às ameaças e oportunidades externas; (c) construção de capacidades distintivas centrais; (d) desenvolvimento de uma estratégia de tecnologia para suportar o negócio; (e) capacidade de avaliar e selecionar soluções tecnológicas apropriadas; (f) aquisição e absorção dessas tecnologias apropriadas; (g) implementação e uso eficaz das tecnologias; (h) capacidade de aprender com a experiência, a fim de melhorar a capacidade tecnológica de mudança e (i) habilidade de formar e explorar as ligações com uma rede de fornecedores e de firmas colaboradoras. Hobday (2004) inclui no conceito de capacidade tecnológica o que chama de capacidade tecnológica de mudança e apresenta, portanto, uma conceituação de capacidade tecnológica que tem um significado amplo, indo ao encontro da definição de Kim (1999) e também de Figueiredo (2009).

Por fim, neste estudo, se optou por utilizar o conceito de capacidade tecnológica de Lall (1992): graus de acúmulo, domínio e adaptação de tecnologias pelas firmas em condições variadas. Portanto, o desempenho da firma depende da capacidade tecnológica, mas também depende da capacidade da firma de habilitar a sua capacidade tecnológica a partir de outra capacidade, a qual Lall (1992) chama de incentivos e Panda e Ramanathan (1996) chamam de capacidade de direção. Em outras palavras, a opção pela definição de Lall (1992) desvincula a ocorrência de maiores capacidades tecnológicas de um desempenho econômico superior, dado que para tal, deve ainda existir uma capacidade de direção ou de prover incentivos.

O modelo proposto por Lall (1992) aponta que, dependendo do tipo de atividade que dá origem à capacidade tecnológica, existe um grau distinto de complexidade, ou dificuldade inerente. O modelo divide tais atividades em três graus de complexidade: (a) básica; (b) intermediária e (c) avançada. As atividades de complexidade básica são simples e rotineiras, baseadas na experiência. As atividades de complexidade intermediária visam duplicação ou

adaptação de capacidades, sendo baseadas em rotinas de busca. Já as atividades de complexidade avançada, são inovadoras e arriscadas, baseadas fundamentalmente na pesquisa.

Quanto à função destas atividades, Lall (1992) faz uma classificação em dois tipos: (a) de investimento e (b) de produção. Essas duas dimensões, ou seja, graus de complexidade (ou dificuldade) e funções formam uma matriz de classificação de atividades que constituem o modelo de Lall (1992) apresentado no quadro 1.

		FUNCIONAL						
		PRÉ INVESTIMENTO	INVESTIMENTO EXECUÇÃO DE PROJETO	ENGENHARIA DE PROCESSO	ENGENHARIA DE PRODUTO	PRODUÇÃO ENGENHARIA INDUSTRIAL	LIGAÇÕES COM A ECONOMIA	
G R A U D E C O M P L E X I D A D E	B Á S I C A	SIMPLES ROTINA (Baseada na experiência)	Viabilidade prévia e estudo de viabilidade, seleção de local, cronograma de investimentos.	Construção civil, serviços de apoio. Obtenção de equipamentos. Comissionamento.	Depuração, balanceamento, controle de qualidade, manutenção preventiva, assimilação da tecnologia de processo.	Assimilação do <i>design</i> do produto, pequenas adaptações às necessidades do mercado.	Fluxo de trabalho, cronograma, estudos de tempos e movimentos. Controle de estoque.	Acesso local a produtos e serviços, troca de informações com fornecedores.
	I N T E R M E D I Á R I A	ADAPTATIVA DUPLICATIVA (Baseada em busca)	Procura por fontes de tecnologia. Negociação de contratos. Barganha dos termos acordados. Sistemas de informações.	Acesso a equipamentos. Detalhamento de engenharia. Treinamento e recrutamento de pessoal qualificado.	Extensão de equipamentos, adaptação de processos e redução de custos, licenciamento de novas tecnologias.	Melhoria na qualidade dos produtos, licenciamento e assimilação de novas tecnologias de produto importadas.	Monitoramento da produtividade, melhorias na coordenação.	Transferência de tecnologia de fornecedores locais, <i>design</i> coordenado, ligações com o sistema de ciência e tecnologia.
	A V A N Ç A D A	INOVATIVA ARRISCADA (Baseada em pesquisa)		Processo de <i>design</i> básico. <i>Design</i> de equipamentos e fornecimento.	Inovação interna de processos. Pesquisa básica.	Inovação interna de produto. Pesquisa básica.		Projetos <i>turnkey</i> , P&D cooperativo, licenciamento de tecnologia própria para terceiros.

Quadro 1: Matriz de *Capacidades Tecnológicas* de Lall
Fonte: LALL (1992)

3.2. COMPLEXIDADE E CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

No modelo de capacidade tecnológica de Lall (1992), o grau de complexidade aparece como o eixo que distingue entre as capacidades básicas, intermediárias e avançadas. Em um primeiro momento, se pode presumir que o grau de complexidade da capacidade tecnológica está intrinsecamente relacionado ao grau de complexidade tecnológica da firma. Assim, busca-se saber se o nível capacidade tecnológica está mesmo associado ao grau de complexidade do conteúdo tecnológico da firma. Essa ideia fica, porém, fortemente atrelada ao que se entende precisamente por complexidade tecnológica. A figura 4 representa um primeiro esboço dessa relação.

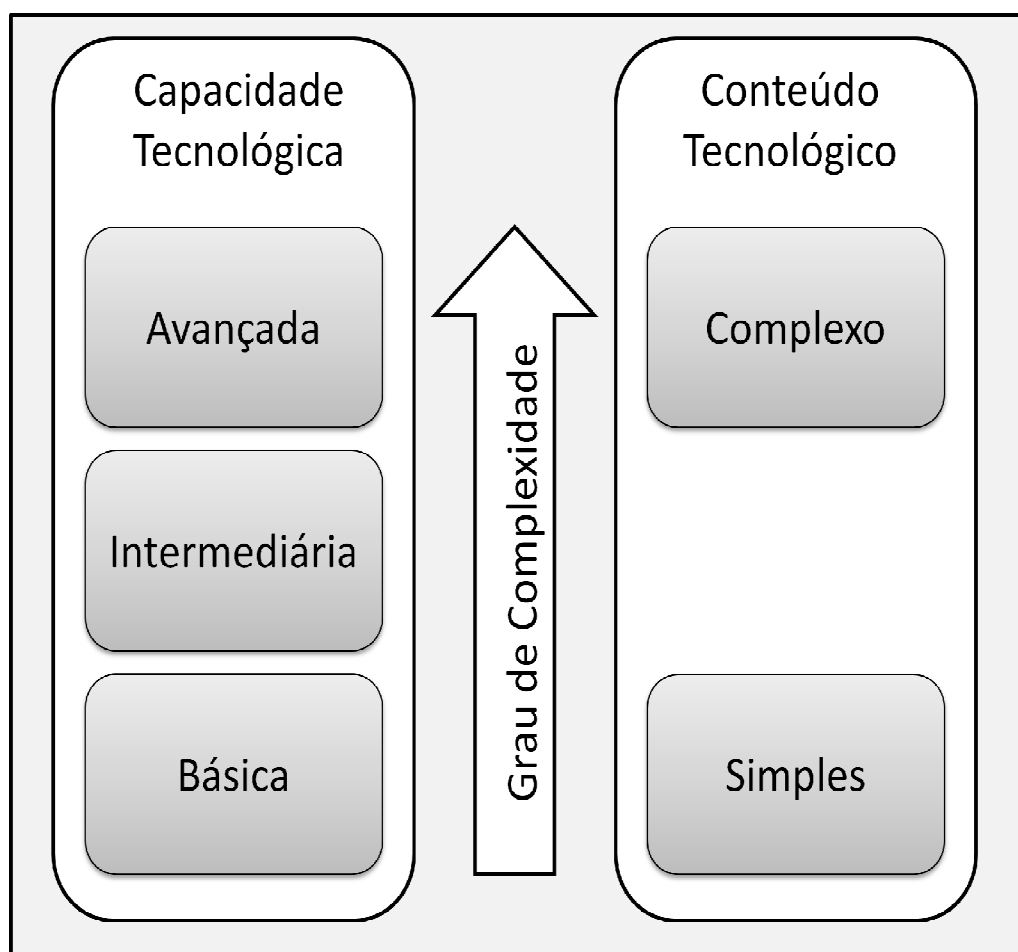


Figura 4: Relação entre *Capacidade Tecnológica* e *Complexidade da Tecnologia*

A análise da matriz de capacidades tecnológicas de Lall (quadro 1 apresentado ao final da última seção) permite observar que os níveis de capacidade tecnológica crescem com o aumento no grau de complexidade das atividades envolvidas. No nível das capacidades básicas ou rotineiras, as funções de pré-investimento, execução de projeto, engenharia de processo, engenharia de produto, engenharia industrial e de ligação com a economia são mais gerenciais do que propriamente tecnológicas (cronograma, controle de qualidade, fluxo de trabalho, troca de informações com fornecedores, etc.). Ou seja, a firma detentora unicamente de capacidades tecnológicas básicas não aparenta ter a tecnologia como competência distintiva (HAMEL e PRAHALAD, 1990). Decorrente disso é intuitivo que essas firmas devam manipular tecnologias mais simples ou alternativamente tradicionais.

Por outro lado, as firmas que apresentam capacidades tecnológicas intermediárias, ou seja, adaptativas ou duplicativas exercem funções de assimilação de conteúdo tecnológico (barganha em termos de contratos, treinamento e recrutamento de pessoal qualificado, licenciamento de novas tecnologias, transferência de tecnologia, etc.). Essas firmas mesmo não dominando completamente novas tecnologias, pois são predominantemente usuárias das mesmas, precisam para poder sobreviver no mercado de algum conhecimento tecnológico mais aprofundado. Dessa forma, é razoável supor que as tecnologias envolvidas nesse tipo de atividade tenham um grau de complexidade que não seja mínimo.

Já as firmas que detêm capacidades avançadas ou inovadoras são aquelas que manipulam de fato novas tecnologias de produtos e processos realizando mudanças substanciais nos mesmos. Nesse caso, o conteúdo tecnológico dessas firmas deve ser, provavelmente, de maior complexidade.

Vale observar que, tradicionalmente, as capacidades tecnológicas são avaliadas em função das competências já desenvolvidas anteriormente pelas firmas que lideram a competição na fronteira tecnológica internacional (LALL, 1992; FIGUEIREDO, 2009). Ou seja, firmas que detêm capacidades tecnológicas intermediárias ou avançadas devem ser capazes de manipular tecnologias mais próximas da fronteira tecnológica, em outras palavras, devem dominar tecnologias mais novas, em estágios iniciais de difusão. Vê-se em Lall

(1992, p.167), por exemplo, “assimilação de novas tecnologias de produto importadas”.

Entretanto, o grau de novidade de uma tecnologia é uma proposição sempre relativa. Quanto mais difundida for uma tecnologia, menores serão as barreiras para o uso dessa tecnologia. O domínio de uma tecnologia plenamente difundida, evidentemente, não deve caracterizar um grau elevado de capacidades tecnológicas. Ao se observar uma firma individualmente, é impossível dizer se a mesma detém um nível básico ou avançado de capacidades tecnológicas. É sempre necessário medi-la em relação às demais e se perguntar depois se as tecnologias da firma em questão são mais ou menos avançadas.

Dado que o conceito de capacidade tecnológica aparece fortemente associado ao grau de novidade das tecnologias manipuladas pela firma, o mesmo adquire um caráter relativo da mesma forma que a complexidade concreta relativa apresentada na seção 2.1. Como se optou por tratar complexidade tecnológica em um sentido mais restrito (absoluto), de forma a eliminar esse caráter comparativo, a mesma fica desvinculada da questão de novidade da tecnologia. É importante resaltar que essa opção contraria, por exemplo, a proposição conceitual de Novak e Eppinger (2001). Entretanto, ao se fazer uma definição de complexidade tecnológica de forma desvinculada do grau de novidade da tecnologia, abre-se a relação entre complexidade e capacidade tecnológica para outras possibilidades.

Assim, propõe-se a distinção entre, por exemplo, tecnologias novas e tecnologias tradicionais e assumir, momentaneamente, que seja esse o eixo principal que distingue entre os níveis de capacidade tecnológica básica, intermediária e avançada. Como a complexidade tecnológica não necessariamente está vinculada à novidade da tecnologia em si, pode-se estabelecer diferentes configurações tecnológicas. A figura 5 apresenta essa relação.

	Complexidade Baixa	Complexidade Alta
Capacidade Tecnológica Básica	Tecnologia Simples e Tradicional	Tecnologia Complexa e Tradicional
Capacidade Tecnológica Avançada	Tecnologia Simples e Nova	Tecnologia Complexa e Nova

Figura 5: Matriz de classificação de tecnologias

A definição de complexidade tecnológica proposta no final do último capítulo tem foco em dimensões distintas do grau de novidade da tecnologia. Entende-se que novos produtos e formas de produção alternativas aparecem como consequência de um maior nível de incerteza tolerado no ambiente tecnológico de uma firma. A incerteza, por sua vez, de acordo com a definição proposta está diretamente associada ao maior grau de complexidade tecnológica.

Nesse entendimento, a dimensão que relaciona mais diretamente o conceito de complexidade tecnológica e capacidade tecnológica é o nível de incerteza tecnológica tolerado pela firma. Como o grau de novidade da tecnologia também é uma possível fonte de incertezas para o ambiente tecnológico de uma firma que parece ser o caminho principal que liga a capacidade tecnológica e o conceito proposto de complexidade da tecnologia.

Como a tecnologia pode ser mais complexa devido a uma diversidade maior de campos tecnológicos ou devido à mesma dar origem a produtos e processos com componentes mais variados, ou ainda, devido a forte dependência da interação com agentes externos à firma, podem existir configurações variadas entre complexidade e capacidade tecnológica: tecnologias novas, porém simples; tecnologias tradicionais, porém complexas.

Assim, tecnologias mais novas, que exigem maior capacidade tecnológica das firmas para serem manipuladas, não precisam ser necessariamente, mais complexas. Da mesma forma, nem toda tecnologia tradicional, que não exija um alto nível de capacidade tecnológica, precisa ser necessariamente mais simples.

Alternativamente, pode-se avaliar as capacidades tecnológicas não mais em função exclusivamente da novidade da tecnologia. Se as capacidades tecnológicas estão mesmo relacionadas à complexidade da tecnologia e essa tem fontes distintas, outras possibilidades de interpretação das capacidades tecnológicas nas firmas podem ser levantadas. Invertendo as posições dos níveis de capacidade tecnológica na figura 4, por exemplo, ver-se-ia também a possibilidade de criação de produtos ou processos novos a partir de tecnologias tradicionais ou simples. A distinção entre tecnologia e produto apontada por Pavitt (1998) permite tal proposição.

Em suma, a relação que se busca estabelecer entre capacidade tecnológica e a complexidade da tecnologia, não se dá exclusivamente através da dimensão novidade da tecnologia e da incerteza que as tecnologias novas impõem ao ambiente tecnológico de uma firma. Este estudo tenta estabelecer parâmetros objetivos de interpretação para as diferentes trajetórias de desenvolvimento de capacidades tecnológicas pelas firmas através do conceito de complexidade tecnológica proposto. Ou seja, defende-se que a distinção entre tecnologia nova e velha, sobre a qual a maioria dos estudos a respeito de capacidades tecnológicas se estabelece, não é capaz de apreender as diferentes configurações de desenvolvimento tecnológico existentes na indústria.

A escolha de um setor, o metal mecânico, cuja tecnologia empregada não se encontra em fase inicial de desenvolvimento não é por acaso. Entender, como se dão e qual a relação entre as capacidades tecnológicas presentes em um setor tradicional da indústria e a complexidade das tecnologias empregadas no mesmo pode ser útil para uma interpretação renovada das trajetórias de desenvolvimento tecnológico e do acúmulo de capacidades tecnológicas nas firmas industriais.

4. INSTRUMENTOS E MÉTODOS

Dados os objetivos descritos na seção introdutória, assim como a pergunta de pesquisa formulada, este estudo consistiu em uma *survey* que buscou captar o padrão da relação entre complexidade do conteúdo tecnológico e as capacidades tecnológicas das firmas de um setor industrial.

Esta pesquisa foi dividida em quatro etapas: levantamento de dados a partir de fontes secundárias, teste do instrumento de pesquisa, levantamento de dados pela aplicação de questionário estruturado e análise dos dados obtidos através de métodos estatísticos seguindo as orientações de Hair *et al* (2009) e Downing e Clark (2006). Conclui-se que é um estudo setorial de caráter descritivo e quantitativo, no qual permitiu uma visão instantânea dos elementos elencados para análise, em contraposição a uma visão ao longo do tempo, ou longitudinal (HAIR *ET AL*, 2003).

As amostras foram coletadas na população das indústrias metal mecânicas do estado do Rio Grande do Sul. Além das variáveis representativas dos construtos estudados, foi incluída no questionário uma série de variáveis de classificação geral de firmas como: idade da firma, número de funcionários, faturamento, estrutura proprietária, entre outras.

Este capítulo apresenta o modelo conceitual utilizado para a coleta de dados à luz da discussão teórica previamente apresentada. As definições operacionais para complexidade tecnológica e capacidade tecnológica são apresentadas na próxima seção.

Na seção subsequente, descrever-se-ão as etapas de construção do instrumento utilizado, ao que segue uma breve descrição das firmas do setor metal mecânico.

Logo após, o plano amostral e o plano de análise serão apresentados. O capítulo se encerrará com uma discussão a respeito das principais limitações deste estudo.

4.1. ESQUEMA DE ANÁLISE

Partindo-se da definição de complexidade tecnológica, laços de realimentação ou interdependências no ambiente tecnológico das firmas, e de

capacidade tecnológica, graus de acúmulo, domínio e adaptação de tecnologias pelas firmas em condições variadas (LALL, 1992), busca-se estabelecer os tipos de relação entre os diferentes níveis possíveis de capacidade e complexidade tecnológica.

Como forma de enquadrar o conceito de complexidade tecnológica nos ambientes tecnológicos de produção e de desenvolvimento, optou-se pela separação das variáveis coletadas em dois grupos, um de complexidade tecnológica na produção e outro de complexidade tecnológica de produto.

Para analisar a complexidade tecnológica das firmas foram utilizadas ao todo 16 variáveis, das quais 8 representam a complexidade na produção e 8 representam a complexidade de produto. A complexidade dos processos produtivos ou complexidade na produção, está relacionada aos fatores como porte, custo, número de etapas, número de partes envolvidas e outros fatores associados ao aumento na variedade de conhecimentos e informações necessários para realizar a produção. Nessa concepção foram propostas as 8 variáveis representativas de complexidade tecnológica na produção apresentadas no quadro 2.

Variável	Descrição
Funcionários na produção	Número de funcionários diretamente envolvidos com a produção
Graus hierárquicos	Número de níveis hierárquicos existentes na área de produção.
Linhas de produto	Número de linhas de produtos produzidos na unidade industrial.
Produtos	Número de produtos cadastrados no estoque de saída.
Etapas	Número de etapas do processo produtivo do principal produto da unidade fabril.
Fornecedores	Número de fornecedores de matéria prima que a unidade trabalha regularmente.
Terceiros	Número de empresas terceiras diretamente envolvidas com as atividades de produção.
Distribuição	Número de empresas envolvidas com a distribuição dos produtos.

Quadro 2: Variáveis indicativas de *Complexidade Tecnológica* na produção

Para analisar a complexidade dos produtos foram escolhidas variáveis relacionadas ao número de partes componentes dos produtos; ao processo de desenvolvimento de novos produtos, como duração e grau de formalização dos projetos de desenvolvimento e ao envolvimento de diferentes agentes durante essa etapa. Essas variáveis são apresentadas no quadro 3.

Variável	Descrição
Pessoas para desenvolver	Número mínimo de pessoas necessárias para desenvolver um produto típico.
Duração de projetos	Duração média dos projetos de desenvolvimento de novos produtos.
Partes do produto	Número de partes do principal produto.
Grau de formalização dos projetos	Grau de formalização das atividades de desenvolvimento.
Nível de monitoramento dos projetos	Nível de monitoramento dos projetos de desenvolvimento de novos produtos.
Envolvimento de clientes	Grau de envolvimento de clientes no desenvolvimento de novos produtos.
Envolvimento de instituições de pesquisa	Grau de envolvimento de universidades ou institutos de pesquisa no desenvolvimento de novos produtos.
Influência de agentes reguladores	Grau de influência de agentes de regulação no desenvolvimento de novos produtos.

Quadro 3: Variáveis indicativas de *Complexidade Tecnológica* de produto

Por sua vez, o modelo da capacidade tecnológica empregado foi operacionalizado através de 12 variáveis relacionadas ao grau de acúmulo, domínio e adaptação de tecnologias pelas firmas em condições variadas (LALL, 1992). Foram empregadas variáveis como: a utilização de patentes ou algum tipo de mecanismo de proteção à propriedade intelectual, realização de pesquisas de mercado, realização de pesquisas científicas, novos produtos, número de pessoas em P&D e faturamento empregado em P&D. Essas variáveis foram utilizadas como forma de captar os níveis mais elevados de capacidades tecnológicas e estão relacionadas ao que Lall (1992) denominou de Capacidade Tecnológica Inovativa Arriscada ou Avançada (vide quadro 1). No modelo de Lall (1992) a realização de pesquisa básica, a inovação interna de produtos e processos e as ligações com o sistema de ciência e tecnologia caracterizam as firmas que alcançaram os níveis mais avançados de

capacidades tecnológicas. As variáveis empregadas na representação da capacidade tecnológica são apresentadas no quadro 4.

Variável	Descrição
Utilização de patentes	Se a firma utiliza ou não patentes ou algum outro mecanismo formal de proteção à propriedade intelectual.
Frequência de utilização de patentes	Com que frequência os mecanismos de proteção de propriedade intelectual são utilizados.
Tipos de patentes	Quais os tipos de patentes solicitados.
Patentes nos últimos 5 anos	Número de patentes solicitadas nos últimos 5 anos.
Pesquisas de mercado	Realização de pesquisas de mercado.
Frequência de pesquisas de mercado	Frequência de realização de pesquisas de mercado.
Autoria das pesquisas de mercado	Se a firma realiza pesquisas de mercado por conta própria ou com o auxílio de terceiros.
Pesquisas científicas	Realização de pesquisas científicas.
Autoria das pesquisas científicas	Se a firma realiza pesquisas científicas por conta própria ou com o auxílio de terceiros.
Faturamento em P&D	Percentual do Faturamento investido no desenvolvimento de produtos, processos ou tecnologias.
Produtos lançados nos últimos 5 anos	Número de produtos lançados nos últimos 5 anos.
Pessoas em P&D	Número total de pessoas envolvidas com atividades de desenvolvimento de produtos, processos ou tecnologias.

Quadro 4: Variáveis indicativas de *Capacidade Tecnológica*

4.2. O SETOR METAL MECÂNICO

O setor metal mecânico contempla cinco códigos da classificação CNAE – Cadastro Nacional de Atividades Econômicas – do IBGE: metalurgia; fabricação de produtos de metal; fabricação de máquinas e equipamentos; fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias; e fabricação de outros equipamentos de transporte. Metalurgia e fabricação de produtos de metal são indústrias classificadas como de média baixa intensidade tecnológica para os países OECD (HATZICHRONOGLU, 1997) ou como de baixa intensidade tecnológica especificamente para o caso brasileiro. A fabricação de

máquinas e equipamentos e a fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias são classificados como indústrias de média alta intensidade tecnológica para os países OECD e para o Brasil. Já a fabricação de outros equipamentos de transporte é classificada como de média alta intensidade tecnológica no âmbito da OECD e de alta intensidade tecnológica no contexto brasileiro (FURTADO E CARVALHO, 2005).

Todos esses setores reunidos são responsáveis por 26% (IBGE, 2011)⁶ do emprego na indústria do estado do Rio Grande do Sul, tendo, portanto, grande impacto na economia regional. A tabela 5 apresenta o número de firmas e os principais produtos de cada um dos cinco segmentos. Dentro dos campos de conhecimento tradicionalmente úteis à indústria metal mecânica encontram-se: processos de deformação plástica, solda, fundição, estudo das propriedades dos materiais além de fenômenos de fadiga e atrito.

Tabela 5: Os setores do complexo metal mecânico do Rio Grande do Sul

Metalurgia	Número de empresas no RS: 228
<u>Principais Produtos:</u> Gusa, aço líquido, alumina, metais semiacabados, laminados, relaminados, trefilados, retrefilados, canos, tubos, peças fundidas e barras de aço.	
Fabricação de Produtos de Metal (exceto máquinas e equipamentos)	Número de empresas no RS: 1634
<u>Principais Produtos:</u> Estruturas metálicas, caldeiras, tanques, reservatórios metálicos, produtos de serralheria, forjaria, estamparia, funilaria, metalurgia de pó, cutelaria, embalagens metálicas, ferramentas, armas e munições.	
Fabricação de Máquinas e Equipamentos	Número de empresas no RS: 1064
<u>Principais Produtos:</u> Máquinas e equipamentos, componentes mecânicos, partes e peças para as atividades industriais, agrícolas, extração mineral, construção, transporte, elevação de cargas e pessoas, ventilação, refrigeração, instalações térmicas e outras atividades semelhantes.	
Fabricação de Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias	Número de empresas no RS: 310
<u>Produtos Principais:</u> Veículos automotores para transporte de pessoas e mercadorias, cabines, carrocerias, reboques e semirreboques para veículos automotores.	
Fabricação de Outros Equipamentos de Transporte (exceto veículos automotores)	Número de empresas no RS: 28
<u>Principais Produtos:</u> Embarcações, estruturas flutuantes, veículos ferroviários, aeronaves, motocicletas, bicicletas, veículos militares de combate, cadeiras de rodas e outros equipamentos de transporte.	

Fonte: Adaptado de FIERGS (2010) e IBGE (2011).

⁶ Dados de 2008.

4.3. INSTRUMENTO DE PESQUISA

O desenvolvimento do instrumento de pesquisa utilizado se deu a partir da análise dos principais indicadores relacionados na literatura e mencionados nos capítulos iniciais deste trabalho. Uma análise das variáveis mais comumente utilizada para aferição de complexidade tecnológica foi realizada. Aquelas variáveis que melhor se encaixaram com a definição conceitual apresentada no capítulo 2 levaram a formulação de questões incluídas em um questionário piloto. O questionário para realização da pesquisa foi desenvolvido ao longo de três etapas.

1ª Etapa

Inicialmente foram elencados os indicadores de complexidade tecnológica e capacidade tecnológica mencionados, ao que foram acrescentadas variáveis gerais de classificação de firmas, tais como faturamento, número de funcionários, estrutura legal, etc. Os indicadores foram então transcritos na forma de questões. Para as questões relativas à complexidade tecnológica deu-se preferência às escalas métricas do tipo razão. O objetivo foi levantar dados que permitissem a uma análise com maior poder estatístico, com os quais fosse possível realizar o cálculo de médias, desvios e demais manipulações matemáticas eventualmente necessárias. A utilização de escalas razão não exclui a possibilidade da composição de variáveis categóricas a partir do fechamento por faixas, ao passo que o procedimento contrário se mostra inviável. Ao fim desse processo uma primeira versão do questionário foi formulada.

2ª Etapa

A segunda etapa consistiu no teste deste questionário em campo. Foram eleitas 5 firmas representantes de cada um dos 5 subsetores da indústria metal mecânica para a realização de uma entrevista piloto. Destas 5 firmas, 3 se

dispuseram a participar do estudo. Foram então realizadas entrevistas *in loco* nessas firmas com profissionais ligados às áreas de desenvolvimento de produtos ou gestão da produção.

A primeira firma visitada atua no setor de Metalurgia. Trata-se de uma firma familiar especializada em fundição de aço com aproximadamente 180 funcionários e 25 anos de atividade no setor. O entrevistado nessa firma atua na área de vendas, *marketing* e desenvolvimento. A segunda firma pesquisada é uma multinacional do setor Automotivo que produz peças para montadoras de automóveis. Tem aproximadamente 1.700 funcionários em duas unidades fabris no estado do Rio Grande do Sul, de onde exporta média de 15% de sua produção. A terceira firma a participar do piloto é do setor de Máquinas e Equipamentos, essa firma tem origem Alemã e opera no Rio Grande do Sul há 31 anos, onde tem hoje cerca de 1.800 funcionários e exporta 50% da sua produção.

A partir da aplicação do questionário nessas três firmas, realizou-se a transcrição das entrevistas e das notas de campo. Uma avaliação da reação dos entrevistados a cada pergunta que foi realizada. Fatores como tempo para responder, segurança na resposta, entendimento da pergunta e satisfação ao responder cada questionamento foram levados em conta na análise. Esses critérios foram utilizados para descartar algumas das perguntas nas quais um ou mais dos três entrevistados demonstraram dúvidas na compreensão ou mesmo incertezas e ou insatisfação ao responder. Não foram realizadas alterações no questionário original ao longo dessas três entrevistas. Ao final, uma nova versão contemplando a análise das três entrevistas foi desenvolvida.

3ª Etapa

A terceira etapa consistiu na validação do questionário por dois especialistas da área de gestão da tecnologia e um especialista em pesquisas no ramo de ciências sociais aplicadas. Durante esse processo a forma e o conteúdo das questões foram discutidos tendo como objetivo resolver possíveis ambiguidades na compreensão das mesmas, bem como alinhar as questões ao constructo teórico ao qual a mesma se vincula. Novas alterações foram

então realizadas. A versão definitiva do questionário foi então empregada para a coleta de dados.

4.4. AMOSTRAGEM

A população de firmas do complexo metal mecânico do Rio Grande do Sul é composta por 3.071 firmas, das quais 6,3% são do setor de metalurgia; 49,6% do setor de produtos de metal; 33,2% do setor de máquinas e equipamentos; 9,8% são do setor de fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias; e 1,1% do setor de fabricação de outros equipamentos de transporte. Do total de firmas, 65% são consideradas microfirms (tendo até 19 funcionários), 25% são pequenas firmas (de 20 até 99 funcionários), 8% são firmas de tamanho médio (de 100 até 499 funcionários) e 2% são grandes firmas (com mais de 500 funcionários).

Para a etapa de amostragem, deu-se preferência para as firmas de maior porte. Nesse sentido, foram excluídas do processo de seleção para a coleta aquelas firmas que apresentavam menos de 20 funcionários no cadastro utilizado para o sorteio. A amostragem foi realizada a partir da estratificação da população restante, após a exclusão das microfirms, nos cinco setores industriais que compõem o complexo metal mecânico no Rio Grande do Sul. A partir desse ponto, utilizou-se uma amostragem aleatória simples em cada um desses estratos mantendo sempre a proporção original constatada.

Essa amostra aleatória de firmas de cada um dos 5 subsetores pesquisados foi então contatada via telefone no período de 9 a 20 de abril de 2012. Ao todo 303 firmas aceitaram participar da pesquisa. A coleta foi realizada com 2 pesquisadores contratados que foram orientados quanto à natureza e os objetivos da pesquisa.

4.5. PLANO DE ANÁLISE

A análise dos dados foi dada através de uma variedade de procedimentos estatísticos. Foram empregadas técnicas que variam desde o cálculo de médias, medianas e desvio padrão, até técnicas mais sofisticadas de análise multivariada como, por exemplo, análise fatorial de componentes principais, análise discriminante múltipla e análise de agrupamentos. Segue uma breve descrição dos procedimentos multivariados e as respectivas justificativas de sua utilização.

4.5.1. Análise Fatorial de Componentes Principais

Com o objetivo de reduzir o número de indicadores de complexidade tecnológica, assim como de facilitar e simplificar a interpretação dos resultados se optou por realizar uma análise fatorial de componentes principais. Apesar de ser mais usualmente utilizada com medidas de opinião, ou seja, atitudes, comportamento, avaliação de atributos e com escalas intervalares, o requisito principal para que se possa realizar uma análise fatorial é que o tipo de medida das variáveis permita o cálculo de correlações (HAIR *ET AL*, 2009). Assim, como as variáveis de complexidade tecnológica apresentadas anteriormente têm escalas do tipo razão, a técnica pode ser aplicada sobre as mesmas.

Para a realização desse tipo de análise existe a exigência de normalidade nas distribuições de frequência das variáveis, a normalidade pode ser verificada através dos valores de curtose e assimetria ou ainda com algum teste específico de normalidade. Existe ainda a exigência de um nível mínimo de correlações entre as variáveis para a aplicação da técnica de análise fatorial. Para facilitar a interpretação dos fatores nesse tipo de análise são empregadas técnicas de rotação de eixos, como os algoritmos *Varimax* e *Quadrimax*. Esses algoritmos de rotação maximizam a variância de carga dos campos de entrada em cada fator, ou seja, têm como objetivo encontrar uma rotação de eixos na qual algumas variáveis tenham cargas elevadas e outras, cargas mínimas para cada fator (HAIR *ET AL*, 2009).

4.5.2. Análise Discriminante Múltipla

Uma análise discriminante múltipla foi utilizada também para avaliar a relação entre complexidade tecnológica e algumas variáveis representativas de capacidade tecnológica: utilização de patentes, pesquisas de mercado e pesquisas científicas. O método de estimação simultânea foi empregado para obtenção de uma função discriminante para essas variáveis. Seguindo as orientações de Hair *et al* (2009), utilizou-se em cada caso a medida de lambda de Wilks como critério de aferição da significância estatística do poder discriminatório das funções discriminantes geradas. Os resultados foram validados através da técnica de validação cruzada.

4.5.3. Análise de Agrupamentos

Com o objetivo de explorar a forma com que as firmas presentes na amostra se dividiam em relação ao quesito complexidade tecnológica, foram realizadas análises de agrupamentos. A análise de agrupamentos é uma técnica analítica multivariada de interdependência que visa identificar subgrupos significativos de objetos em uma amostra ou população com base nas similaridades apresentadas entre os mesmos (HAIR *ET AL*, 2009).

Na análise de agrupamentos, utilizou-se um procedimento hierárquico de agrupamento aglomerativo. A medida de similaridade normalmente empregada, ou seja, a forma com que a similaridade entre os casos e agrupamentos é calculada é a medida de distância Euclidiana. Para o emprego dessa técnica é necessária ainda a utilização de algum critério para a determinação do número de agrupamentos no resultado final (HAIR *ET AL*, 2009).

4.6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Por maior que tenha sido o esforço para uma descrição fiel dos elementos teóricos na operacionalização dos construtos, no levantamento de dados e na análise dos resultados, não são poucas as limitações que se

podem apontar neste estudo. Tais limitações não ficam, portanto, restritas a essas que estão apresentadas brevemente nesta seção.

Então, começa-se pela extensão e a diversidade de referências que tratam, direta ou indiretamente, dos temas abordados. Um apanhado geral, possível, não por isso, menos restrito que foi apresentado. O instrumento de coleta de dados forjado inicialmente, por uma questão funcional, precisou ser reduzido ao longo das etapas de desenvolvimento, contemplando no fim apenas os elementos considerados mais representativos para a operacionalização dos conceitos envolvidos.

O instrumento de pesquisa utilizado, embora contemple muitas variáveis frequentes em estudos sobre gestão de tecnologia e da inovação, é essencialmente um arranjo inédito, o que evidentemente acrescenta incertezas quanto à validação dos resultados obtidos.

O processo de amostragem também encerra suas próprias limitações. As restrições na coleta de dados não permitiram que se pudessem fazer algumas das análises individualmente para cada um dos cinco setores presentes no estudo. Essas análises poderiam ter levado a uma compreensão mais exata dos conceitos comparados levando em conta as especificidades de cada ramo industrial.

O método predominantemente quantitativo empregado na análise também oferece limites a este estudo. A abordagem qualitativa que se deu, por exemplo, no contato direto com os entrevistados nas três primeiras entrevistas presenciais não parece ter sido completamente esgotada. Cooper e Schindler (2000) apontam ainda que as entrevistas realizadas por telefone reduzem o envolvimento do entrevistado, o que pode eventualmente prejudicar a sua compreensão e até mesmo a precisão das informações repassadas.

Qualquer inferência que se possa querer fazer a partir dos resultados deste estudo deve levar em conta o fato do mesmo de ter sido realizado sobre uma população específica de firmas do setor metal mecânico em uma região e país particular. A opção por firmas de maior porte na amostragem, com a exclusão das microfirms, também é outra importante limitação no que diz respeito às possíveis inferências feitas a partir dos resultados deste estudo.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este estudo teve como objetivo avançar na compreensão da relação existente entre a complexidade do conteúdo tecnológico dominado pelas firmas e as capacidades tecnológicas que essas firmas desenvolvem. Para cumprir esse objetivo realizou-se uma pesquisa de levantamento no grande setor metal mecânico da indústria do Rio Grande do Sul. A amostra coletada foi composta por firmas representantes dos 5 subsetores da indústria metal mecânica: metalurgia; fabricação de produtos de metal; fabricação de máquinas e equipamentos; fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias; e fabricação de outros equipamentos de transporte.

Na seguinte seção, apresentar-se-á uma descrição geral da amostra coletada. Na seção 5.2 é realizada a identificação e a descrição da complexidade tecnológica predominante nas firmas. Na seção 5.3, identificar-se-á e descrever-se-á a capacidade tecnológica dessas mesmas firmas. Na seção 5.4, buscar-se-á avançar na compreensão da relação existente entre capacidade tecnológica e complexidade tecnológica. O capítulo se encerra com uma discussão acerca dos resultados deste estudo.

5.1. DESCRIÇÃO GERAL DA AMOSTRA

A amostra total coletada foi composta por 303 empresas das quais 3 foram desconsideradas. A amostra final ficou composta por 300 empresas, das quais 20% são do setor de metalurgia; 38,3% do setor de produtos de metal; 28,3% do setor de máquinas e equipamentos; 3,3% do setor de fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias; e 10% do setor de fabricação de outros equipamentos de transporte. Esses dados são apresentados na tabela 6.

Essa amostra abrange empresas com idades bastante variadas. Entretanto, as empresas têm em média 30,7 anos de atividade. Predomina na amostra empresas na faixa de 20 a 30 anos de atuação no mercado. Em virtude do viés introduzido na coleta de dados, quando se deu preferência para empresas pequenas, médias e grandes, em detrimento das microempresas, esse resultado está de acordo com o esperado.

Tabela 6: Distribuição da amostra entre os setores

CNAE 2.1	Subsetor	Frequência	Percentual
24	Metalurgia	60	20
25	Produtos de Metal	115	38.3
28	Máquinas e Equipamentos	85	28.3
29	Automotores	10	3.3
30	Equipamentos de Transporte	30	10
	Total	300	100

Tabela 7: Distribuição da amostra por idade da empresa

Faixa	Frequência	Percentual	Percentual Acumulado
Até 10 anos	28	9.3	9.3
De 10 a 20 anos	80	26.7	36.0
De 20 a 30 anos	82	27.3	63.3
De 30 a 40 anos	48	16.0	79.3
De 40 a 50 anos	15	5.0	84.3
De 50 a 60 anos	16	5.3	89.7
De 60 a 70 anos	14	4.7	94.3
De 70 a 80 anos	6	2.0	96.3
De 80 a 90 anos	3	1.0	97.3
De 90 a 100 anos	7	2.3	99.7
Mais de 100 anos	1	.3	100.0
Total	300	100.0	

Quanto ao faturamento, as empresas foram divididas em cinco faixas, nas quais foram classificadas 78% da amostra total. Ao todo 66 empresas (22% do total amostrado) se recusaram a declarar a sua faixa de faturamento. Os dados são apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Distribuição da amostra por faixas de faturamento

Faixa	Frequência	Percentual
Até R\$ 240.000	50	16.7
De R\$ 240.000 a R\$ 2.400.000	88	29.3
De R\$ 2.400.000 a R\$ 6.000.000	55	18.3
De R\$ 6.000.000 a R\$ 20.000.000	29	9.7
Mais de R\$ 20.000.000	12	4.0
Total	234	78.0
Não Respondeu	66	22.0

As empresas apresentaram ainda uma média de 222 funcionários quando todos os setores são considerados juntos. As médias individuais do número de funcionários na amostra para cada setor são apresentadas a seguir. Mais uma vez, em virtude da preferência que se deu para empresas de maior porte, esse resultado está de acordo com o esperado.

Tabela 9: Média do número de funcionários por setor

Subsetor	Média	n
Metalurgia	267.07	59
Produtos de Metal	184.84	114
Máquinas e Equipamentos	171.37	84
Automotores	100.40	10
Equipamentos de Transporte	458.23	30
Média Total	222.14	

Ainda considerando o número de funcionários que o entrevistado afirmou trabalhar na empresa, foi realizada uma classificação quanto ao porte em 4 faixas distintas: (i) microempresa, para empresas de até 20 funcionários⁷; (ii) pequena empresa, para empresas na faixa entre 21 e 100 funcionários; (iii) empresa média, para a faixa entre 101 e 500 funcionários e (iv) grande empresa, para as empresas com mais de 500 funcionários. Como dito, o processo de amostragem privilegiou empresas de porte pequeno, médio e grande.

Dessa forma, a distribuição das empresas quanto ao quesito porte não reflete com fidelidade a distribuição da população original, na qual de acordo com dados da FIERGS (2010), predominam as microempresas, de até 20 funcionários. A tabela 10 apresenta a distribuição das empresas de acordo com o seu porte.

Tabela 10: Distribuição das empresas por porte

Porte	Frequência	Percentual
Micro	23	7.7
Pequena	160	53.9
Média	93	31.3
Grande	21	7.1
Total	297	100.0
Não Respondeu	3	

⁷ A amostra não deveria a princípio conter microempresas, entretanto, esta categoria precisou ser criada em virtude da diferença entre o número de funcionários no cadastro utilizado para o sorteio e o número de funcionários que o entrevistado afirmou trabalhar na empresa.

Com relação ao quesito estrutura legal a amostra é composta na sua maior parte por Sociedades Limitadas, tipo que corresponde por 87,3% do percentual válido. Por sua vez, as Sociedades Anônimas correspondem por 12,0% da amostra válida. Apenas 2 empresas declararam ter uma estrutura legal diferente de Sociedade Limitada ou Sociedade Anônima, correspondendo a 0,66% da amostra. Os dados são apresentados na tabela 11.

Tabela 11: Distribuição das empresas por estrutura legal

<i>Estrutura Legal</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>
Sociedade Anônima	36	12.0
Sociedade Limitada	262	87.3
Outro tipo	2	0.6
Total	300	100.0

A maioria absoluta das empresas na amostra declara ser de capital nacional (92,7%). Apenas 22 empresas afirmam ter capital estrangeiro investido. Para essas últimas o capital é proveniente de 8 países diferentes, a saber: Alemanha, China, Espanha, EUA, França, Japão, Reino Unido e Suíça. Os dados são apresentados na tabela 12.

Tabela 12: Distribuição das empresas pela origem do capital

<i>Origem do Capital</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>
Nacional	278	92.7
Estrangeiro	9	3.0
Misto	13	4.3
Total	300	100.0

Tabela 13: Participação percentual das exportações no faturamento das empresas

<i>Exportações no Faturamento</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>	<i>Percentual Acumulado</i>
Até 5%	77	25.8	25.8
De 6 a 10%	24	8.1	33.9
De 11 a 15%	9	3.0	36.9
De 16 a 20%	9	3.0	39.9
De 21 a 25%	7	2.3	42.3
De 26 a 30%	7	2.3	44.6
De 31 a 100%	9	3.0	47.7
Não Exporta	156	52.3	100.0
Total	298	100.0	
Não Respondeu	2		

Por fim, as empresas foram classificadas com relação à realização de exportações. Quase metade da amostra, 47,7% das empresas pesquisadas, declara realizar exportações. Entretanto, essas exportações representam, na grande maioria dos casos, um percentual pequeno do faturamento total destas empresas. A tabela 13 apresenta os resultados para a participação das exportações no faturamento das empresas.

A análise dos dados apresentados nesta seção permite inferir que uma empresa típica do setor pesquisado seria de porte pequeno ou médio, não tendo muito mais do que 150 funcionários, não tendo mais do que 30 anos de atividade e teria ainda grandes chances de ser uma sociedade limitada de capital nacional com faturamento de até R\$2.400.000,00.

5.2. DESCRIÇÃO DA COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA

Para analisar a complexidade tecnológica das firmas foram utilizados 16 indicadores, dos quais 8 representam o que se chamou de complexidade na produção e 8 representam o que se chamou de complexidade dos produtos. Essas variáveis foram primeiramente levantadas na literatura e posteriormente analisadas em conjunto nas três entrevistas presenciais realizadas, a partir das quais o questionário final foi desenvolvido. Nessa seção, apresentar-se-ão os resultados obtidos para cada variável individualmente, bem como para os agrupamentos formados entre as mesmas a partir de uma análise fatorial.

5.2.1. Indicadores de Complexidade Tecnológica na Produção

A complexidade dos processos produtivos ou complexidade na produção está relacionada ao porte, custo, número de etapas, número de partes envolvidas e outros fatores característicos associados ao aumento na variedade de conhecimentos e informações necessários para realizar a produção. Sendo assim, foram propostas 8 variáveis representativas de complexidade tecnológica na produção: (1) número de funcionários diretamente envolvidos, (2) graus hierárquicos, (3) linhas de produtos, (4) produtos, (5) etapas no processo de produção, (6) firmas fornecedoras de matéria-prima, (7) firmas terceiras envolvidas,

e (8) número de distribuidores. A tabela 14 apresenta as médias e as medianas obtidas para cada uma destas variáveis na amostra coletada.

Tabela 14: Estatísticas de tendência central dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* na produção

INDICADOR	Média	Mediana	n
Funcionários na produção	134	50	299
Graus hierárquicos	3	3	300
Linhas de produto	45	5	296
Produtos	894	120	286
Etapas	7.9	6.0	297
Fornecedores	39	15	300
Terceiros	14	10	299
Distribuição	23	3	299

Tabela 15: Estatísticas de tendência central dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* na produção por setor

INDICADOR	Metalurgia		Produtos de Metal		Máquinas e Equipamentos		Automotores		Equipamentos de Transporte	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Funcionários na produção	166.2	50	96.5	50	108.4	50	67.7	34	309.2	50
Graus hierárquicos	3.2	3	3.2	3	3.4	3	2.7	3	3.6	3
Linhas de produto	175.0	4	16.6	5	9.9	5	8.0	6	8.1	4
Produtos	1364.8	100	479.4	150	1230.4	100	618.0	225	695.0	65
Etapas	6.0	5	7.8	6.0	9.5	6.0	7.6	7.0	8.0	6.0
Fornecedores	27.2	15	28.5	15	53.9	20	12.0	9	68.0	22
Terceiros	12.4	9	14.6	10	15.6	10	9.0	8	16.7	10
Distribuição	7.1	4	47.4	2	7.0	4	8.7	6	7.3	3

A comparação entre média e mediana permite identificar a assimetria da distribuição amostral existente nas seguintes variáveis: funcionários na produção, linhas de produto, produtos, fornecedores e distribuidores. Essa assimetria, identificada pela diferença proporcionalmente elevada de valor entre média e mediana, acontece quando um número pequeno de casos com valores muito distintos dos demais desloca a média para um dos sentidos, neste caso, para cima. Ou seja, isso significa que algumas das firmas na amostra têm um número consideravelmente maior de funcionários na produção, linhas de produto, produtos, fornecedores e distribuidores que as demais firmas (não necessariamente o número é maior para todas essas variáveis simultaneamente). Todavia, a mediana aparece como um indicador mais apropriado de tendência central do que a média (DOWNING E CLARK, 2006). Importante referir que essa análise indica que possivelmente exista alguma heterogeneidade na amostra, pelo menos no que diga respeito às variáveis assinaladas.

Com relação às outras variáveis de complexidade tecnológica, ou seja, *graus hierárquicos, número de etapas e terceiros envolvidos com a produção*, não parece haver diferença significativa entre o valor de média e mediana, o que pode indicar uma maior homogeneidade da amostra com relação à essas variáveis.

A tabela 16 apresenta em decis as distribuições para cada uma das 8 variáveis. É possível observar, assim, a assimetria à direita que aparece para as variáveis: funcionários na produção, linhas de produto, produtos, fornecedores e distribuidores.

Tabela 16: Distribuições de frequência dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* na produção.

DECIS	Funcionários na produção	Graus hierárquicos	Linhas de Produto	Produtos	Etapas	Fornecedores	Terceiros	Distribuição
10	15	2	1	13	4	5	3	0
20	20	2	2	30	4	7	5	1
30	30	3	3	51	5	10	6	2
40	35	3	4	80	5	12	9	2
50	50	3	5	120	6	15	10	3
60	65	3	6	200	6	20	10	4
70	95	3	7	350	8	30	12	5
80	150	4	10	1000	8	40	15	6
90	250	5	20	2000	10	100	25	10
n	299	300	296	286	297	300	299	299

Quanto à variável de funcionários na produção, observa-se que o setor Equipamentos de Transporte é o que apresenta o maior valor: 309,2 funcionários na produção em média. Entretanto, a mediana é de 50 funcionários para esse e os demais setores, com a exceção do setor de Automotores que apresenta mediana de apenas 34 e também exibe a menor média de funcionários na produção (67,7).

Quanto à variável de graus hierárquicos, também se observa certa homogeneidade de comportamento entre os diferentes setores. Mais uma vez, apenas o setor de Automotores apresenta uma média mais abaixo dos demais, ficando em 2,7 níveis, enquanto todos os demais apresentam resultado acima de 3 níveis.

Quanto à variável de linhas de produto, da mesma forma apresenta assimetria à direita, observa-se na tabela 15 que o setor de metalurgia é o que mais se destaca, apresentando uma média de 175 linhas de produtos enquanto que para os demais setores essa média não chega a ultrapassar o número de 16,6 linhas (no setor de Produtos de Metal). Já as medianas, nesse caso, é um indicador mais apropriado que se assemelham e não passam de 6 linhas de produto para todos os setores na amostra.

Quanto à variável de produtos, observa-se um comportamento mais heterogêneo, pois os valores variam mais entre os setores. Os resultados obtidos para Metalurgia e Máquinas e Equipamentos se assemelham a mediana em 100 e médias próximas de 1.300. Os outros três setores apresentam medianas de 65 (Equipamentos de Transporte) e 625 para Automotores.

Quanto à variável de número de etapas, os setores apresentam certa homogeneidade, o setor de Máquinas e Equipamentos apresenta a maior média, de 9,5 etapas na produção, sendo seguido na ordem por: Equipamentos de Transporte, Produtos de Metal, Automotores e Metalurgia.

Quanto à variável de fornecedores, destaca-se o setor de Equipamentos de Transporte, que apresenta maior número: 68 fornecedores em média. Na sequência aparecem Máquinas e Equipamentos com 53,9 fornecedores em média, Produtos de Metal (28,5), Metalurgia (27,2) e Automotores com apenas 12 fornecedores em média.

Quanto à variável de terceiros, é o número de terceiros envolvidos diretamente com a produção, não se observa distinção relevante entre a maioria dos setores, a média fica em 14 e a mediana em 10 terceiros. Apenas o setor de Automotores

aparece com números um pouco menores, sendo que esse setor apresenta 9 terceiros envolvidos, em média.

Por fim, quanto à variável de distribuição, o destaque é do setor de Produtos de Metal, que apresenta média bem acima a dos demais setores: 47,4 firmas envolvidas com a distribuição. Entretanto, as medianas apresentam resultados parecidos para todos os setores, ficando entre a faixa de 2 (Produtos de Metal) e 6 (Automotores) distribuidores por firma.

Os resultados obtidos para essas variáveis demonstram que parece existir certa heterogeneidade na amostra no que diz respeito às firmas, vide diferença acentuada entre médias e medianas em algumas das variáveis. Para tanto, não é possível identificar diferenças consistentes entre os setores analisados. Ou seja, dependendo da variável em questão, um ou outro setor se diferencia, enquanto os demais mantêm um padrão. Levando-se em conta essas variáveis, não se pode afirmar que prevaleça alguma diferença sistemática de complexidade tecnológica na produção entre os 5 setores analisados.

É capaz ainda de se descrever uma firma típica que diga respeito às variáveis propostas de complexidade tecnológica na produção. Essa firma teria aproximadamente 50 funcionários envolvidos diretamente com a produção, distribuídos em 3 níveis hierárquicos e dedicados a não mais do que 6 linhas de produtos diferentes, essas linhas teriam 6 etapas cada uma. A firma produziria uma variedade de pelo menos 100 modelos de produtos, dependendo de aproximadamente 15 fornecedores diferentes, 10 firmas parceiras para a execução da produção e 4 distribuidores. Passar-se-á agora à análise das variáveis características da complexidade de produto.

5.2.2. Indicadores de Complexidade Tecnológica de Produto

As 8 variáveis escolhidas para representar a complexidade tecnológica de produto são: (1) número mínimo de pessoas necessárias para desenvolver um produto típico, (2) duração média dos projetos de desenvolvimento de novos produtos, (3) número de partes do principal produto, (4) grau de formalização das atividades de desenvolvimento, (5) nível de monitoramento dos projetos de desenvolvimento de novos produtos, (6) grau de envolvimento de clientes no desenvolvimento de novos produtos, (7) grau de envolvimento de universidades ou

institutos de pesquisa no desenvolvimento de novos produtos e (8) grau de influência de agentes de regulação no desenvolvimento de novos produtos.

As três primeiras variáveis (1), (2) e (3) foram coletadas em perguntas abertas com resposta em escala razão, da mesma forma que os indicadores de complexidade na produção, apresentados na última seção. Os resultados obtidos para essas três variáveis são apresentados na tabela 17, a seguir.

Tabela 17: Estatísticas de tendência central dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* de produto.

INDICADOR	Média	Mediana	N
Pessoas para desenvolver	8.2	5	298
Duração de projetos	118.4	60	298
Partes do produto	13.3	5	293

Da mesma forma que para alguns dos indicadores de complexidade na produção é possível observar pela diferença entre média e mediana a elevada assimetria à direita na distribuição de frequência para essas três variáveis. Essa diferença pode indicar certa heterogeneidade na amostra coletada. Ou seja, algumas poucas firmas apresentam valores mais elevados que as demais e acabam puxando a média para cima. Os resultados para as demais 5 variáveis coletadas em escala intervalar são apresentados na tabela 18.

Tabela 18: Estatísticas de tendência central dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* de produto II.

INDICADOR	Média	Mediana	N
Grau de formalização dos projetos	4.0	4	299
Nível de monitoramento dos projetos	4.4	5	297
Envolvimento de clientes	4.0	4	297
Envolvimento de instituições de pesquisa	2.3	2	297
Influência de agentes reguladores	2.7	2	296

Os resultados obtidos para os indicadores de complexidade dos produtos em cada um dos setores industriais analisados são apresentados nas tabelas 19 e 20.

Tabela 19: Estatísticas de tendência central dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* de produto por setor.

SETOR	Metalurgia		Produtos de Metal		Máquinas e Equipamentos		Automotores		Equipamentos de Transporte	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
INDICADOR										
Pessoas para desenvolver	10.5	5	7.2	5	7.6	5	8.8	9	9.1	5
Duração de projetos	87.8	30	83.6	45	159.5	90	48.7	22	217.8	150
Partes do produto	7.4	5	8.5	5	13.0	6	26.2	5	39.5	9

Tabela 20: Estatísticas de tendência central dos indicadores de *Complexidade Tecnológica* de produto por setor II.

SETOR	Metalurgia	Produtos de Metal	Máquinas e Equipamentos	Automotores	Equipamentos de Transporte	Geral	
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Sig.
INDICADOR							
Grau de formalização dos projetos	3.90	3.95	3.96	4.20	4.03	3.96	.934
Nível de monitoramento dos projetos	4.51	4.22	4.27	4.80	4.63	4.35	.039
Envolvimento de clientes	3.93	3.86	4.07	3.70	4.40	3.98	.185
Envolvimento de instituições de pesquisa	2.31	2.16	2.34	2.60	2.83	2.32	.122
Influência de agentes reguladores	2.42	2.66	2.75	3.30	2.73	2.67	.442

A tabela 19 apresenta as médias e medianas dos três primeiros indicadores de complexidade de produto por setor. Com relação às diferenças entre os setores analisados, far-se-á algumas observações. Quanto à variável de peças para desenvolver, a maior média ocorreu no setor de Metalurgia (10,5 peças), seguida pelo setor de Equipamentos de Transporte (9,1 peças), todavia a maior mediana ocorreu no setor de Automotores (9).

Quanto à variável de duração de projetos, ao passo que a média geral ficou em 118,4 dias, o setor de Equipamentos de Transporte apresentou média de 217,8 dias de desenvolvimento e o setor de Automotores apenas 48,7 dias. Vale destacar que, para essa variável o valor da média fica aproximadamente da metade do valor da mediana em todos os setores.

Quanto à variável de partes do produto, o setor de Equipamentos de Transporte apresenta maior média (39,5 partes), seguida do setor de automotores com 26,2 partes em média, enquanto o setor de Metalurgia apresenta menor valor, de apenas 7,4 partes. Para essas últimas três variáveis, o setor de Equipamentos de Transporte apresentou sempre as maiores médias e medianas, exceto para a variável de peças para desenvolver, para qual a sua mediana não é a maior.

Para as variáveis medidas em escala intervalar os resultados são apresentados na tabela 20. Quanto à variável de grau de formalização dos projetos, a maior média ocorreu no setor de Automotores (4,2), ao passo que a menor ocorreu no setor de Metalurgia (3,90). Quanto à variável de nível de monitoramento dos projetos, a maior média foi observada mais uma vez no setor de Automotores (4,80), enquanto a menor dessa vez ocorreu no setor de Produtos de Metal (4,22). Quanto à variável de envolvimento dos clientes, a maior média ocorreu no setor de Equipamentos de Transporte (4,40), à medida que a menor se deu no setor de Automotores (3,70).

Quanto à variável de envolvimento de instituições de pesquisa, a maior média ocorreu no setor de Equipamentos de Transporte (2,83), à medida que a menor se deu no setor de Produtos de Metal (2,16). Já quanto à variável de influência de agentes reguladores, a maior média se deu mais uma vez no setor de Automotores (3,30) e a menor mais uma vez no setor de Metalurgia (2,42). Embora se possa observar algumas diferenças nas médias apresentadas em cada setor para essas últimas três variáveis, em um teste de

diferença de médias, a única variável que apresenta diferença significativa ao nível de 95% de confiança entre os setores, é o nível de monitoramento dos projetos.

Entende-se que pode mais uma vez delinear a firma típica, desta vez, no que diz respeito à complexidade tecnológica de produto. Essa firma tipo necessita de pelo menos 5 pessoas diferentes para desenvolver um novo produto. Tal produto tem entre 5 e 13 partes distintas e o seu desenvolvimento dura de 2 a 4 meses. Os custos e prazos de desenvolvimento do projeto são monitorados pela direção, que pode acompanhar um cronograma. Os produtos são desenvolvidos, sobretudo pela demanda dos clientes e têm baixa influência das instituições de pesquisa e dos agentes normativos.

Após esse primeiro olhar sobre os resultados obtidos para essas diferentes variáveis, tem-se uma ideia inicial a respeito de como a complexidade tecnológica varia entre firmas de um mesmo setor industrial e entre setores industriais diferentes. Para avançar na compreensão desse conceito, uma análise do comportamento conjunto dessas variáveis pode ser útil. Com esse propósito, a seção seguinte continua com a aplicação de uma técnica multivariada de análise.

5.2.3. Análise fatorial de componentes principais

A análise fatorial tem como objetivo reduzir o número de variáveis indicativas de complexidade tecnológica e assim facilitar e simplificar a interpretação subsequente dos resultados. Em virtude da exigência de normalidade das variáveis neste tipo de análise multivariada, realizou-se uma transformação logarítmica que permitiu a redução da assimetria à direita identificada na análise prévia dos dados apresentada nas últimas duas seções. Como cada variável tem sua própria escala variando em diferentes proporções, se fez necessário colocar todas sobre a mesma escala. Os dados foram, portanto, padronizados através do procedimento de subtração da média e divisão pelo desvio padrão. Com o objetivo de verificar se existem correlações suficientes que permitam a realização de uma análise fatorial, foi realizado o teste de esfericidade de Bartlett, seguindo as recomendações de Hair *et al*

(2009). O resultado foi significativo para o nível de 95%, indicando que existem correlações suficientes entre as variáveis para se prosseguir com a análise.

Para facilitar a interpretação dos fatores foi realizada uma rotação utilizando o algoritmo VARIMAX. Esse algoritmo maximiza a variância de carga dos campos de entrada em cada fator, ou seja, tem como objetivo encontrar uma rotação de eixos na qual algumas variáveis tenham cargas elevadas e outras, cargas mínimas para cada fator. O número de componentes (fatores) foi, por fim, selecionado com a técnica dos autovalores. Apenas aqueles componentes com autovalores maiores que 1 foram mantidos. Sendo que essa opção garante que nenhum componente com variância menor do que aquela apresentada por apenas uma das variáveis originais individualmente venha a ser incluído no resultado final. A tabela 21 apresentou esses resultados.

Tabela 21: Matriz de análise fatorial de componentes rotacionados por VARIMAX: conjunto completo de variáveis.

Conjunto completo de 11 variáveis		Fator			Comunalidade
		1	2	3	
q1_In	Funcionários na produção	0,712			0,565
q10_In	Duração de projetos	0,690			0,521
q9_In	Pessoas para desenvolver	0,656			0,459
q2_In	Graus hierárquicos	0,623			0,436
q11_In	Partes do produto	0,446			0,379
q7_In	Terceiros		0,816		0,676
q6_In	Fornecedores		0,716		0,567
q8_In	Distribuição		0,600		0,419
q5_In	Etapas		0,416		0,235
q3_In	Linhas de produto			0,808	0,658
q4_In	Produtos			0,718	0,589
					Total
Soma das cargas quadradas (autovalor)		2,986	1,324	1,193	5,503

As cargas fatoriais mais altas apresentadas pelas variáveis das etapas e partes do produto foram respectivamente 0,416 e 0,446. As comunalidades para essas mesmas variáveis foram respectivamente: 0,235 e 0,379. Seguindo as recomendações de Hair *et al* (2009) quanto à significância estatística levando em conta a relação entre os valores de carga, o tamanho da amostra coletada e o valor da comunalidade de cada variável, optou-se por excluir essas duas variáveis do resultado final. A tabela 22 apresenta os resultados da análise fatorial com a exclusão dessas duas variáveis.

Tabela 22: Matriz de análise fatorial de componentes rotacionados por VARIMAX: conjunto reduzido de variáveis (q5_In e q11_In eliminadas).

Conjunto completo de 11 variáveis		Fator			Comunalidade
		1	2	3	
q1_In	Funcionários na produção	0,730			0,584
q10_In	Duração de projetos	0,701			0,541
q9_In	Pessoas para desenvolver	0,666			0,467
q2_In	Graus hierárquicos	0,640			0,454
q7_In	Terceiros		0,840		0,719
q6_In	Fornecedores		0,740		0,603
q8_In	Distribuição		0,611		0,438
q3_In	Linhas de produto			0,831	0,699
q4_In	Produtos			0,734	0,605
					Total
Soma das cargas quadradas (autovalor)		2,659	1,272	1,178	5,109

A análise foi repetida após a exclusão dessas duas variáveis (etapas e partes do produto). Foram então gerados três fatores para representar a complexidade tecnológica, explicando ao todo 56,8% da variância total, sendo esse percentual considerado aceitável (HAIR *ET AL*, 2009). Os três componentes ou fatores elencados através dessa análise permitem acessar dimensões latentes da estrutura de dados.

O primeiro fator apresenta cargas elevadas em 4 das variáveis originais: funcionários na produção, duração de projetos, pessoas para desenvolver e graus hierárquicos. Esse fator foi denominado de Complexidade Interna, já que está relacionado ao número de pessoas envolvidas na produção e no desenvolvimento, bem como à duração dos projetos de desenvolvimento, pois são fatores que dizem respeito à estrutura interna da firma.

O segundo fator apresenta cargas mais elevadas para as seguintes variáveis: terceiros, fornecedores e distribuição. Em contraposição ao primeiro fator, esse componente foi denominado de Complexidade Externa, pois está associado aos agentes externos vinculados às atividades de produção. O terceiro e último fator agrega as variáveis descritivas dos produtos oferecidos pela firma ao mercado. As variáveis linhas de produto e produtos compõem o fator denominado Complexidade do Mix de Produtos.

Muito embora essa análise de componentes principais não tenha sido realizada com o objetivo de confirmar a separação de complexidade

tecnológica em 2 fatores principais: complexidade de produtos e complexidade na produção, observa-se que a formação dos componentes da análise ocorreu de outra forma, dando origem a dimensões distintas dessas duas propostas originalmente.

A análise fatorial de componentes principais permitiu simplificar o conjunto de variáveis representativas de complexidade tecnológica gerando três fatores: Complexidade Interna, Complexidade Externa e Complexidade do Mix de Produtos. Fazendo, assim, um paralelo entre esses componentes gerados e a definição proposta de complexidade tecnológica apresentada no Capítulo 2.

A relação mais evidente aparece entre o que lá foi chamado de Dependências Externas e o fator Complexidade Externa. Também é possível associar a Diversidade de Campos Tecnológicos ao fator denominado Complexidade Interna. Nesse sentido, assume-se que o número de funcionários na produção, bem como o número de graus hierárquicos, a duração dos projetos e, principalmente, o número mínimo de pessoas necessárias para desenvolver um produto, descrevem suficientemente a diversidade de campos tecnológicos presentes nas firmas.

Por último, a relação menos evidente se dá entre o Número de Componentes ou Partes e o que aqui se chamou de Complexidade do Mix de Produtos. Esse último componente descreve uma característica importante do escopo tecnológico de uma firma, o número de produtos e principalmente o número de linhas de produtos descrevem o espectro de atuação das firmas perante o mercado. Enquanto a proposição conceitual originalmente sugeria a formação de um fator aproximadamente do número de componentes ou de etapas no processo de produção (MCEVILY E CHAKRAVARTHY, 2002; NOVAK E EPPINGER, 2001), se observa que para esta amostra o número de produtos e linhas no portfólio das firmas é que melhor se associam na formação de um fator. É possível que o número relativamente pequeno de partes nos produtos na maioria dos cinco setores tenha contribuído para a redução do efeito dessa variável. Explanar-se-á agora a análise das capacidades tecnológicas das firmas na amostra coletada.

5.3. DESCRIÇÃO DAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

A capacidade tecnológica, que representa o grau de acúmulo e domínio de tecnologia na firma, pode ser apreendida através de diferentes funções e graus de complexidade (LALL, 1992; PANDA E RAMANATHAN, 1996). A matriz de capacidades tecnológicas de Lall (1992) permite identificar aquelas atividades que, sendo realizadas pela firma, indicam haver rotinas de uso e desenvolvimento tecnológico em diferentes níveis. No intuito de captar algumas dimensões fundamentais da capacidade tecnológica das firmas neste estudo, foram dirigidas questões que buscam medir o tamanho do esforço despendido para a assimilação e a aplicação de tecnologias. Nesta seção são identificadas e descritas as capacidades tecnológicas das firmas para a amostra coletada.

Tabela 23: Utilização de patentes.

<i>Utilização de patentes</i>	<i>Metalurgia</i>	<i>Produtos de Metal</i>	<i>Máquinas e Equipamentos</i>	<i>Automotores</i>	<i>Equipamentos de Transporte</i>	<i>Geral</i>
Sim	45.0%	42.6%	56.5%	60.0%	60.0%	49.3%
Não	55.0%	57.4%	43.5%	40.0%	40.0%	50.7%

A primeira variável utilizada para medir o nível de capacidade tecnológica das firmas na amostra diz respeito à utilização de patentes como meio de proteção da propriedade intelectual. Ao todo 49,3% das firmas afirmam utilizar depósitos de patentes. Os setores de Automotores e Equipamentos de Transporte são os que declaram fazer uso dessa ferramenta com maior frequência, 60% das firmas em ambos os casos. Já o setor de Produtos de Metal é onde aparece com menor frequência a alegação de que se utilizam patentes.

Considerando a amostra completa, das 148 firmas que afirmam utilizar patentes ou outros mecanismos formais para proteção de propriedade intelectual, 27,0% declaram utilizar algum tipo de mecanismo de proteção sempre que um novo produto ou componente é desenvolvido; 41,2% declaram utilizá-los na maioria das vezes; 27,7% utilizam eventualmente e 4,1% fazem uso desse tipo de proteção raramente. Quanto ao tipo de registro utilizado 42,6% das firmas afirma fazer o Registro de Desenho Industrial; 30,2% declara fazer a Patente de Modelo de Utilidade e 26,8% costuma fazer o Registro de Invenção.

Tabela 24: Utilização de pesquisas de mercado durante o desenvolvimento de produtos.

Pesquisa de Mercado	Metalurgia	Produtos de Metal	Máquinas e Equipamentos	Automotores	Equipamentos de Transporte	Geral
Sim	43.3%	46.1%	64.3%	50.0%	70.0%	53,2%
Não	56.7%	53.9%	35.7%	50.0%	30.0%	46,8%

As ligações com a economia, atividades de *marketing* e vendas, bem como a capacidade de pesquisa de ameaças e oportunidades são fatores associados frequentemente ao acúmulo de capacidades tecnológicas (PANDA E RAMANATHAN,1996). Desse modo, optou-se por apreender essa dimensão através do questionamento quanto à realização de pesquisas de mercado. Na amostra completa, 53,2% das firmas declararam utilizar pesquisas de mercado durante o desenvolvimento de produtos. O setor onde essa prática é apontada com maior frequência é o de Equipamentos de Transporte (70%). O setor de Metalurgia é o que menos a utiliza, apenas 43,3% das firmas alegam realizar pesquisas de mercado.

A habilidade de formar e explorar ligações com fornecedores e parceiros é outra característica associada às capacidades tecnológicas (HOBDDAY, 2004). Das 159 firmas que afirmam realizar pesquisas de mercado, 78,0% declaram realizar essas pesquisas por conta própria; 18,9% realizam pesquisas de mercado em parceria com terceiros e 3,1% declaram que tais pesquisas são realizadas integralmente por terceiros. Esses resultados são apresentados na tabela 25.

Tabela 25: Autoria das pesquisas de mercado realizadas no desenvolvimento de produtos.

Pesquisas de Mercado realizadas	Frequência	Percentual
Pela própria firma	124	78.0
Em parceria com terceiros	30	18.9
Integralmente por terceiros	5	3.1
Total	159	100.0

A realização de pesquisas científicas é outra característica rotineiramente associada aos níveis avançados de capacidades tecnológicas (LALL, 1992). Na amostra completa 41,8% das firmas declaram realizar pesquisas científicas durante o desenvolvimento de seus produtos. O setor no qual esse percentual

foi mais elevado foi o de Máquinas e Equipamentos (56%), enquanto o setor com menor percentual foi o de Automotores (20%).

Tabela 26: Utilização de pesquisas científicas durante o desenvolvimento de produtos.

<i>Pesquisa Científica</i>	<i>Metalurgia</i>	<i>Produtos de Metal</i>	<i>Máquinas e Equipamentos</i>	<i>Automotores</i>	<i>Equipamentos de Transporte</i>	<i>Geral</i>
Sim	26.7%	40.0%	56.0%	20.0%	46.7%	41,8%
Não	73.3%	60.0%	44.0%	80.0%	53.3%	58,2%

Das 125 firmas que declararam realizar pesquisas científicas durante o desenvolvimento de seus produtos, 68,0% afirmaram que realizam essas pesquisas por conta própria, enquanto 28,8% declaram realizar pesquisas em parceria com terceiros e 3,2% contratam terceiros para realizar as suas pesquisas do começo ao fim. Esses resultados são mostrados na tabela 27.

Tabela 27: Autoria das pesquisas científicas realizadas no desenvolvimento de produtos.

<i>Pesquisas Científicas realizadas</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>
Pela própria firma	85	68.0
Em parceria com terceiros	36	28.8
Integralmente por terceiros	4	3.2
Total	125	100.0

Tabela 28: Percentual médio do faturamento investido em P&D nos últimos 5 anos.

<i>Percentual do Faturamento Gasto em P&D</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>	<i>Percentual Acumulado</i>
0	7	2.3	2.3
De 1 a 5	78	26.1	28.4
De 5 a 10	79	26.4	54.8
De 11 a 15	39	13.0	67.9
De 16 a 20	41	13.7	81.6
De 21 a 25	16	5.4	87.0
De 26 a 30	15	5.0	92.0
De 31 a 35	6	2.0	94.0
De 36 a 40	8	2.7	96.7
Mais de 40	10	3.3	100.0
Total	299	100.0	

Tabela 29: Produtos lançados nos últimos 5 anos.

<i>Produtos lançados nos últimos 5 anos</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>	<i>Percentual Acumulado</i>
0	59	19.9	19.9
De 1 a 5	112	37.8	57.8
De 5 a 10	55	18.6	76.4
De 11 a 15	11	3.7	80.1
De 16 a 20	8	2.7	82.8
De 21 a 25	5	1.7	84.5
De 26 a 30	10	3.4	87.8
De 31 a 35	2	0.7	88.5
De 36 a 40	2	0.7	89.2
Mais de 40	32	10.8	100.0
Total	296	100.0	

O volume de recursos despendido com o desenvolvimento de produtos, processos ou tecnologias é outra variável útil na avaliação das capacidades tecnológicas de uma firma. A faixa entre 5% e 10% do faturamento investido em P&D recebeu a maior quantidade de firmas (26,4%), como se pode observar na tabela 28. A inovação interna de produtos é outra variável associada às capacidades tecnológicas avançadas (LALL, 1992). Quanto ao número de produtos lançados nos últimos 5 anos, o maior percentual ficou na faixa entre 1 e 5 produtos. Esse resultado é apresentado na tabela 29. O número de pessoas participando do processo de desenvolvimento foi outra variável utilizada na caracterização das capacidades tecnológicas. O maior percentual observado na amostra ficou concentrado na faixa entre 1 e 5 pessoas. Os resultados são apresentados na tabela 30.

Tabela 30: Número de pessoas que participam do processo de desenvolvimento (P&D).

<i>Pessoas trabalhando em P&D</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>	<i>Percentual Acumulado</i>
0	2	0.7	0.7
De 1 a 5	158	52.7	53.3
De 5 a 10	94	31.3	84.7
De 11 a 15	22	7.3	92.0
De 16 a 20	13	4.3	96.3
De 21 a 25	3	1.0	97.3
De 26 a 30	2	0.7	98.0
De 31 a 35	0	0.0	98.0
De 36 a 40	2	0.7	98.7
Mais de 40	4	1.3	100.0
Total	300	100.0	

As variáveis percentual do faturamento investido em P&D, produtos lançados nos últimos 5 anos e pessoas em P&D foram ainda analisadas na comparação entre os setores estudados. Quanto à variável percentual do faturamento investido em P&D, observa-se que o setor de Máquinas e Equipamentos apresenta a maior média (18,4%) e os setores de Metalurgia e Produtos de Metal apresentam as menores médias (12% ambos). Em todos os casos a assimetria se dá à direita, ou seja, algumas firmas tendem sensivelmente neste caso, a puxar as médias para cima. O *box plot* (gráfico de caixa) apresentado na figura 6 auxilia nessa constatação indicando a presença de casos discrepantes em todos os setores, exceto o de Automotores.

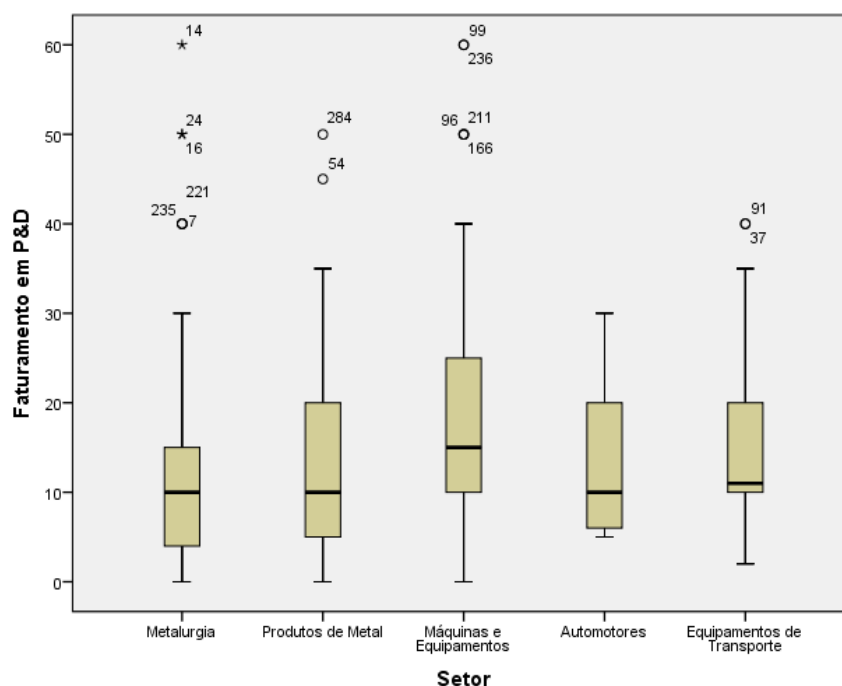


Figura 6: Faturamento em P&D.

Quanto à variável de produtos lançados nos últimos 5 anos o destaque é o setor de Metalurgia com uma média bem superior aos demais (122 produtos), muito embora a mediana (4 produtos) denuncie e distorção na média introduzida por algumas poucas firmas. O setor de Equipamentos de Transporte apresenta resultados mais consistentes, com média de 37 produtos lançados (2ª maior média entre os setores) e mediana de 8 produtos (a maior entre os 5 setores).

Quanto à variável de peças em P&D, observa-se certo equilíbrio entre os setores. A maior média é mais uma vez a do setor de Equipamentos de Transporte (10,1 pessoas), enquanto a maior mediana é a do setor de Automotores (9). A figura 7 ajuda a perceber que as distribuições se aproximam para os 5 setores e em todos eles parece haver um pequeno grupo de firmas (de 2 a 5) que se destacam com valores acima do que se esperaria em uma distribuição normal (casos discrepantes).

Tabela 31: Estatísticas de tendência central dos indicadores de Capacidade Tecnológica por setor.

SETOR	Metalurgia		Produtos de Metal		Máquinas e Equipamentos		Automotores		Equipamentos de Transporte	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
INDICADOR										
Percentual do faturamento investido em P&D	12.6	10	12.6	10	18.4	15	13.2	10	15.7	11
Produtos lançados nos últimos 5 anos	122.0	4	31.3	5	8.6	5	8.7	2	37.0	8
Pessoas em P&D	9.4	5	7.3	5	8.3	5	8.4	9	10.1	7

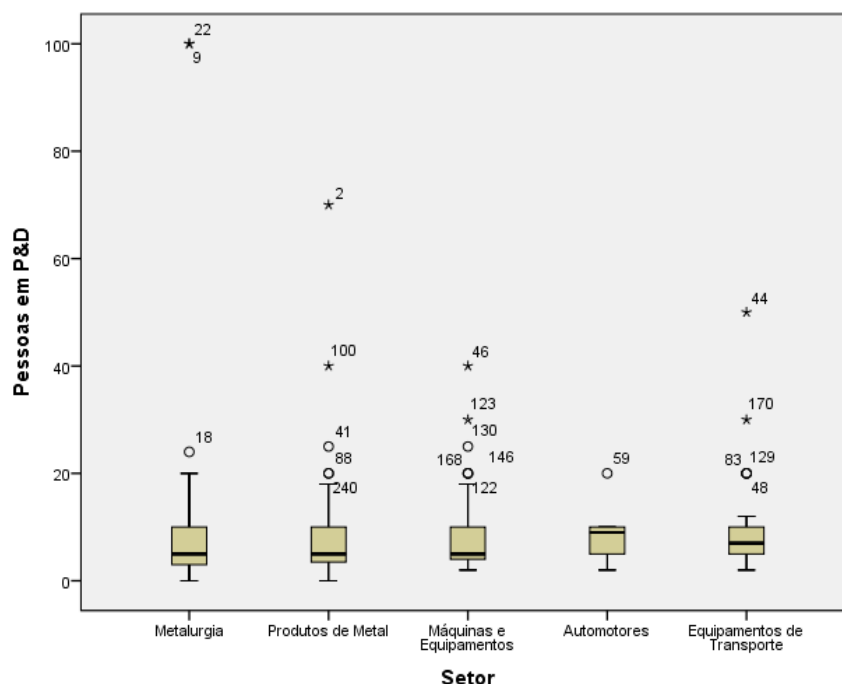


Figura 7: Pessoas em P&D.

A tabela 32 apresenta o ordenamento dos diferentes setores do complexo metal mecânico para cada uma das variáveis de capacidade tecnológica

levantadas nesta pesquisa. Em função das posições obtidas por cada setor neste ordenamento por variável foi realizado um ordenamento final dos cinco setores contemplando simultaneamente as seis variáveis.

Utilizando esse critério, o setor de Equipamentos de Transporte apresenta os níveis mais avançados de capacidades tecnológicas, pois é o setor no qual as firmas declaram utilizar patentes com maior frequência, realizam mais pesquisas de mercado e lançam mais produtos. O setor de Equipamentos de Transporte obteve o segundo desempenho mais elevado, em termos de capacidades tecnológicas, para as variáveis de pesquisas científicas realizadas, % de faturamento em P&D e pessoas em P&D.

Tabela 32: Setores ordenados por indicadores de Capacidade Tecnológica.

SETOR	Metalurgia	Produtos de Metal	Máquinas e Equipamentos	Automotores	Equipamentos de Transporte
INDICADOR	Posição	Posição	Posição	Posição	Posição
Utilização de patentes	3º	4º	2º	1º	1º
Pesquisas de mercado realizadas	5º	4º	2º	3º	1º
Pesquisas científicas realizadas	4º	3º	1º	5º	2º
% do faturamento investido em P&D	4º	4º	1º	3º	2º
Produtos lançados nos últimos 5 anos	4º	2º	3º	5º	1º
Pessoas em P&D	3º	5º	4º	1º	2º

O segundo setor pesquisado que apresenta ter maior nível de capacidades tecnológicas é o de Máquinas e Equipamentos. Os resultados superiores para pesquisas científicas e o percentual de faturamento investido em P&D contribuíram para esse resultado. O setor de Automotores foi considerado o terceiro com nível mais elevado de capacidades tecnológicas em função de empregar mais pessoas em P&D e fazer uso frequente de patentes. Os dois setores que apresentam níveis menores de capacidades tecnológicas são o de Produtos de Metal e o de Metalurgia.

Por fim, como realizado na descrição da complexidade tecnológica, pode-se fazer o delineamento das capacidades tecnológicas de uma firma típica do setor metal mecânico em função da amostra coletada.

Essa firma típica investe até 10% do seu faturamento no desenvolvimento de novos produtos, processos ou tecnologias, lançou aproximadamente 5 produtos novos nos últimos 5 anos e tem em média 5 pessoas dedicadas à P&D.

Além disso, essa firma tem maiores chances de realizar pesquisas de mercado do que pesquisas científicas, muito embora não necessariamente realize formalmente qualquer uma das duas. No caso, quando se realizam essas pesquisas são frequentemente feitas por conta própria do que com a ajuda de parceiros.

5.4. DESCRIÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE DA TECNOLOGIA E CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

Esta seção tem como objetivo explorar a relação entre complexidade tecnológica e as capacidades tecnológicas das firmas estudadas. Os componentes principais descritores de complexidade tecnológica obtidos na seção 5.2, Complexidade Interna, Complexidade Externa e Complexidade do Mix de Produtos, foram utilizados na tentativa de prever a ocorrência de níveis mais elevados de capacidades tecnológicas, caracterizados, por sua vez, pelos indicadores descritos na seção 5.3. A técnica estatística multivariada de análise discriminante foi utilizada para esse fim.

Ainda nesta seção, uma análise de agrupamentos (*clusters*) permitiu a identificação de grupos distintos na amostra no que se refere à complexidade tecnológica. Os agrupamentos de Baixa e Alta complexidade formados foram, então, comparados no que diz respeito às suas capacidades tecnológicas.

5.4.1. Análise Discriminante Múltipla

Como primeira tentativa de estabelecimento da relação entre complexidade tecnológica e capacidade tecnológica, uma análise discriminante

múltipla foi utilizada para avaliar a relação entre complexidade tecnológica e as variáveis: utilização de patentes, pesquisas de mercado e pesquisas científicas.

Sendo assim, os três componentes obtidos através da análise fatorial de componentes principais para os indicadores de complexidade tecnológica foram utilizados para gerar os modelos preditivos de cada um desses indicadores de capacidade tecnológica.

O método de estimação simultânea foi empregado para obtenção de uma função discriminante para as três variáveis dependentes. Seguindo as orientações de Hair *et al* (2009), foram utilizadas em cada caso a medida de *Lambda de Wilks* como critério de aferição da significância estatística do poder discriminatório das funções discriminantes geradas. Os resultados foram validados internamente através da técnica de validação cruzada.

As três variáveis que se busca prever através dessa técnica, utilização de patentes, pesquisas de mercado e pesquisas científicas, são dicotômicas. Ou seja, a amostra original fica dividida nas três análises em dois grupos distintos: as firmas que utilizam e as que não utilizam patentes; as que fazem pesquisas de mercado e as que não fazem e as que realizam pesquisas científicas e as que alegam não realizá-las, respectivamente.

Para fins de análise as firmas que alegam fazer uso de patentes ou realizar pesquisas de mercado ou científicas detêm um nível mais elevado de capacidades tecnológicas que as demais.

Os dois grupos originais, das firmas que utilizam e das que não utilizam patentes, são apresentados nas linhas da tabela 33. Por sua vez, os grupos previstos pelo modelo discriminante são apresentados nas colunas dessa mesma tabela. Das 140 firmas que afirmam não utilizar patentes, o modelo discriminante foi capaz de prever corretamente 97, tendo sucesso em 69,3% dos casos. Já das 139 firmas que declaram utilizar patentes, o modelo discriminante foi capaz de prever corretamente 86, atingindo uma precisão de 61,9%. No geral, o modelo apresentou resultado satisfatório para 65,6% das firmas na amostra, modelo esse que pode ser considerado significativo estatisticamente. Na amostra de validação cruzada o percentual de acerto foi de 65,2%.

Como forma de quantificar a importância relativa de cada componente de complexidade tecnológica, observam-se os coeficientes padronizados da

função discriminante. Na parte inferior da tabela 33, nota-se a maior importância identificada do fator Complexidade Interna em relação aos demais, bem como a menor importância relativa do fator Complexidade do Mix de Produtos na previsão da variável dependente.

Tabela 33: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Utilização de Patentes.

<i>Utilização de Patentes</i>					
		Grupo Real	Grupo Previsto		Total
			Sim	Não	
Amostra Original	#	Sim	86	53	139
		Não	43	97	140
	%	Sim	61,9%	38,1%	100
		Não	30,7%	69,3%	100
Validação Cruzada	#	Sim	86	53	139
		Não	44	96	140
	%	Sim	61,9%	38,1%	100
		Não	31,4%	68,6%	100

Função	Lambda de Wilks	Qui-quadrado	df	Significância
1	0,846	46,169	3	0,000

	Função Discriminante Padronizada
Complexidade Interna	0,941
Complexidade Externa	0,386
Complexidade do <i>Mix</i> de Produtos	0,133

Com relação aos grupos de firmas que realizam e não realizam pesquisas de mercado, os resultados para o mesmo tipo de análise discriminante são apresentados na tabela 34. Das 153 firmas que afirmam fazer pesquisas de mercado, o modelo foi capaz de prever com correção 98. Já das 125 que alegam não fazer tal tipo de análise, o modelo fez a previsão corretamente 91 vezes. Esse modelo apresentou assertividade média de 68,0% tanto para a amostra original quanto para amostra de validação cruzada.

Mais uma vez o fator que apresenta maior importância relativa, ou seja, maior valor de coeficiente padronizado da função discriminante foi o de Complexidade Interna. Nesse caso, observa-se que a componente Complexidade do Mix de Produtos tem influência na direção oposta aos demais

indicando que uma variedade maior de linhas de produtos e de produtos tem relação inversa com a realização de pesquisas de mercado.

Tabela 34: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Pesquisas de Mercado.

<i>Pesquisas de Mercado</i>					
		Grupo Real	Grupo Previsto		Total
			Sim	Não	
Amostra Original	#	Sim	98	55	153
		Não	34	91	125
	%	Sim	64,1%	35,9%	100%
		Não	27,2%	72,8%	100%
Validação Cruzada	#	Sim	98	55	153
		Não	34	91	125
	%	Sim	64,1%	35,9%	100%
		Não	27,2%	72,8%	100%
Função	Lambda de Wilks	Qui-quadrado	df	Significância	
1	0,847	45,721	3	0,000	
Função Discriminante					
			Padronizada		
Complexidade Interna			0,896		
Complexidade Externa			0,481		
Complexidade do <i>Mix</i> de Produtos			-0,218		

A tabela 35 apresenta os resultados da análise discriminante para a variável de pesquisas científicas. Nesse caso, o modelo atingiu o maior nível de assertividade, 71,2% para a amostra original e 70,5% para a validação cruzada. Das 120 firmas que afirmam realizar pesquisas científicas, o modelo foi capaz de prever corretamente e resposta de 81. Das 158 que admitem não realizar tal tipo de atividade, o modelo previu a resposta correta em 117 oportunidades. O padrão de comportamento dos indicadores se manteve em relação aos outros dois modelos: peso maior para a componente Complexidade Interna, peso moderado para a Complexidade Externa e peso pequeno e, ainda, em sentido oposto, como no teste feito para pesquisas de mercado, para a Complexidade do Mix de Produtos.

Tabela 35: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Pesquisas Científicas.

<i>Pesquisas Científicas</i>					
		Grupo Previsto			
		Grupo Real	Sim	Não	Total
Amostra Original	#	Sim	81	39	120
		Não	41	117	158
	%	Sim	67,5%	32,5%	100%
		Não	25,9%	74,1%	100%
Validação Cruzada	#	Sim	81	39	120
		Não	43	115	158
	%	Sim	67,5%	32,5%	100%
		Não	27,2%	72,8%	100%

Função	Lambda de Wilks	Qui-quadrado	df	Significância
1	0,842	47,253	3	0,000

Função Discriminante Padronizada	
Complexidade Interna	0,865
Complexidade Externa	0,556
Complexidade do <i>Mix</i> de Produtos	-0,199

O mesmo tipo de análise foi aplicado para outras variáveis coletadas. Com relação ao setor de proveniência de cada firma, por exemplo, o modelo discriminante gerado a partir dos componentes de complexidade tecnológica não apresentou resultado importante, o resultado foi assertivo em apenas 19,7% dos casos. Já com relação à faixa de faturamento de cada firma, variável que, assim como o setor de origem, tem 5 categorias possíveis, o modelo gerado pelo mesmo método teve melhor desempenho, fazendo a previsão corretamente em 33,3% dos casos para amostra original e em 28,8% dos casos na validação cruzada.

Por fim, um modelo discriminante foi ainda gerado para prever a orientação para exportação de cada firma. O modelo gerado foi assertivo em 70,1% dos casos da amostra original e 69,4% na validação cruzada.

Em suma, evidencia-se uma assertividade moderada de previsão do nível exportação das firmas na amostra, a partir da complexidade tecnológica. Os resultados são apresentados na tabela 36.

Tabela 36: Estatísticas do resumo de análise discriminante para Exportação.

Exportação					
		Grupo Previsto			
		Grupo Real	Sim	Não	Total
Amostra Original	#	Sim	102	39	141
		Não	44	93	137
	%	Sim	72,3%	27,7%	100%
		Não	32,1%	67,9%	100%
Validação Cruzada	#	Sim	102	39	141
		Não	46	91	137
	%	Sim	72,3%	27,7%	100%
		Não	33,6%	66,4%	100%
Função	Lambda de Wilks	Qui-quadrado	df	Significância	
1	0,775	70,096	3	0,000	
Função Discriminante Padronizada					
Complexidade Interna				0,838	
Complexidade Externa				0,660	
Complexidade do <i>Mix</i> de Produtos				0,119	

O fator Complexidade Interna se mostrou, em geral, de maior importância na predição das variáveis representativas de Capacidade Tecnológica. Os resultados deste estudo, de forma geral, sustentam a hipótese de relação entre complexidade e capacidade tecnológica, principalmente no diz respeito ao fator Complexidade Interna.

Entretanto, é importante ressaltar que a assertividade das funções discriminantes geradas não foi tão elevada. Esse fato pode esconder uma relação um tanto mais elaborada para a relação desses dois conceitos, como por exemplo, aquela proposta na figura 5 da seção 3.2. A figura 8, abaixo, apresenta uma síntese da relação identificada entre os construtos analisados e levando em conta aproximadamente a assertividade das funções discriminantes geradas a partir das firmas nesta amostra.

A análise de figura 8 permite inferir que muito embora um nível mais elevado de complexidade na tecnologia de uma firma venha acompanhado de rotinas tecnológicas mais avançadas, ou seja, práticas que caracterizam um nível mais elevado de capacidades tecnológicas, essa relação direta não é

capaz de descrever o fenômeno na sua completude. A regra explica satisfatoriamente apenas dois terços da relação.

	Complexidade Baixa	Complexidade Alta
Capacidade Tecnológica Básica	33% Simples e Tradicional	17% Complexa e Tradicional
Capacidade Tecnológica Avançada	17% Simples e Nova	33% Complexa e Nova

Figura 8: Matriz de classificação tecnológica da relação entre Complexidade e Capacidade.

Aproximadamente um terço da relação contraria a regra mais complexidade, mais capacidade. A parcela restante fica dividida em dois tipos: (i) maior complexidade tecnológica, aparecendo simultaneamente com níveis reduzidos de capacidade tecnológica e (ii) menor complexidade tecnológica acompanhada de níveis mais avançados de capacidade tecnológica. Em síntese: nem toda tecnologia nova parece ser necessariamente complexa, da mesma forma que, nem toda tecnologia difundida ou tradicional é necessariamente simples.

5.4.2. Análise de Agrupamentos

Com o objetivo de explorar a forma com que as firmas presentes na amostra se dividem em relação ao quesito complexidade tecnológica, foram realizadas, ainda, algumas análises de agrupamentos. A análise de agrupamentos é uma técnica analítica multivariada de interdependência que visa identificar subgrupos significativos de objetos em uma amostra ou população com base nas similaridades apresentadas entre os mesmos (HAIR *ET AL*, 2009). Enquanto a análise discriminante, empregada na última seção, buscou identificar a relação entre variáveis e constructos, a análise de agrupamentos visa estabelecer o relacionamento entre os diferentes casos (empresas) da amostra.

Na análise de agrupamentos, foi utilizado um procedimento hierárquico de agrupamento aglomerativo. A medida de similaridade utilizada, ou seja, a forma com que a similaridade entre os casos e agrupamentos é calculada foi a distância *log-likelihood*, pois a mesma apresentou um resultado mais satisfatório quanto ao número de casos em cada um dos agrupamentos criados do que a medida de distância Euclidiana.

O procedimento foi aplicado primeiramente levando em conta as variáveis indicativas de complexidade na produção, o que levou ao agrupamento da amostra em dois *clusters*, um de alta e outro de baixa complexidade tecnológica. Em seguida, o procedimento foi repetido, porém desta vez levando em conta as variáveis indicativas de complexidade de produto. Mais uma vez a estrutura encontrada apresentou-se na forma de dois *clusters*, um de alta e outro de baixa complexidade tecnológica.

Na análise de complexidade na produção foram utilizadas as 8 variáveis métricas descritas na seção 5.2.1. Por sua vez, as três variáveis métricas descritas na seção 5.2.2 foram utilizadas na análise da complexidade de produto. Todas as variáveis utilizadas, em ambos os procedimentos, foram padronizadas antes das análises, de forma que a diferença entre escalas originalmente apresentadas não prejudicasse a formação dos agrupamentos⁸. Utilizou-se, ainda, o critério Schwarz's Bayesian na determinação do número final de agrupamentos. Passar-se-á agora a análise dos resultados de cada um dos procedimentos realizados.

Tabela 37: Agrupamentos de *Complexidade Tecnológica* na produção.

<i>Agrupamento de Complexidade de Produção</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>
Alta Complexidade	27	9.7
Baixa Complexidade	251	90.3
Total	278	100.0

Para a primeira análise, utilizando indicadores de complexidade na produção foram agrupados ao todo 278 casos. O primeiro grupo contendo 90% dos casos válidos participantes da análise e o segundo com os 29 casos

⁸ Quando as variáveis apresentem escalas distintas, aquelas com escalas mais amplas tendem a dominar a formação de agrupamentos e acabam por reduzir desta forma a participação das demais variáveis neste tipo de procedimento.

válidos restantes. A silhueta média, medida da coesão e separação entre os agrupamentos, teve valor de 0,7. Valores acima de 0,2 são considerados aceitáveis e acima de 0,5 são considerados bons.

Tabela 38: Agrupamentos de *Complexidade Tecnológica* de produto.

Agrupamento de Complexidade de Produtos	Frequência	Percentual
Alta Complexidade	29	10.0
Baixa Complexidade	262	90.0
Total	291	100.0

Na segunda análise, utilizando indicadores de complexidade de produtos, foram agrupados 291 casos. O primeiro grupo, de alta complexidade contendo 10% dos casos válidos, o restante sendo agrupado no *cluster* de baixa complexidade. A silhueta média foi teve valor de 0,6.

A formação de dois agrupamentos, tanto para complexidade de produção quanto para complexidade de produto, remete os resultados obtidos nesta análise à divisão entre CoPS e produtos “não complexos” proposta originalmente por Hobday (1998), Hansen e Rush (1998). Não se pode afirmar que os casos aqui classificados como de Alta Complexidade sejam exemplos de CoPS, entretanto, alguns elementos de similaridade podem ser ressaltados.

A partir desses resultados, buscou-se estabelecer uma classificação única de complexidade tecnológica levando em conta tanto complexidade de produção quando de produtos.

Desse modo, as firmas que apareceram nos agrupamentos de baixa complexidade em relação aos dois critérios foram classificadas como sendo de baixa complexidade tecnológica. As firmas que foram agrupadas uma das vezes no grupo de baixa complexidade e da outra vez no grupo de alta complexidade foram classificadas como sendo de média complexidade tecnológica. Por fim, as firmas que apareceram nas duas análises no grupo de alta complexidade, foram classificadas como sendo de alta complexidade tecnológica.

Tabela 39: Agrupamentos de *Complexidade Tecnológica*.

<i>Complexidade Tecnológica</i>	<i>Frequência</i>	<i>Percentual</i>
Alta Complexidade	8	2.9
Média Complexidade	36	13.2
Baixa Complexidade	227	83.5
Total	272	100.0

Esses três agrupamentos foram então cruzados com as três variáveis indicativas de capacidade tecnológica: utilização de patentes, pesquisas de mercado e pesquisas científicas. As diferenças entre as frequências obtidas para cada grupo em relação à essas três variáveis foram então testadas a partir de um teste qui-quadrado. Os resultados foram estatisticamente significativos e demonstram uma maior propensão para essas três práticas naquelas firmas classificadas nos agrupamentos de mais alta complexidade tecnológica. Os resultados são apresentados nas tabelas 40, 41 e 41.

Tabela 40: *Clusters de Complexidade Tecnológica versus Utilização de Patentes.*

		<i>Complexidade Tecnológica</i>					
		Alta		Média		Baixa	
		n	%	n	%	n	%
Utilização de Patentes	Sim	8	100%	25	69%	102	45%
	Não	0	0%	11	31%	125	55%
	Total	8	100%	36	100%	227	100%

Tabela 41: *Clusters de Complexidade Tecnológica versus Pesquisas de Mercado.*

		<i>Complexidade Tecnológica</i>					
		Alta		Média		Baixa	
		n	%	n	%	n	%
Pesquisas de Mercado	Sim	6	75%	29	81%	115	51%
	Não	2	25%	7	19%	111	49%
	Total	8	100%	36	100%	226	100%

Tabela 42: *Clusters de Complexidade Tecnológica versus Pesquisas Científicas.*

		<i>Complexidade Tecnológica</i>					
		Alta		Média		Baixa	
		n	%	n	%	n	%
Pesquisas Científicas	Sim	6	75%	20	56%	92	41%
	Não	2	25%	16	44%	134	59%
	Total	8	100%	36	100%	226	100%

Nessa linha de entendimento, tal como observado na última seção, nota-se que os grupos de firmas formados a partir dos valores mais elevados de complexidade tecnológica ajudam a prever a prática de atividades de um nível mais avançado de capacidade tecnológica. Muito embora, mesmo para o grupo de firmas consideradas de baixa complexidade tecnológica apareça a utilização das práticas características de capacidade tecnológica mais avançada. Os resultados da análise de agrupamentos corroboram o que foi observado na análise discriminante.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A firma para existir, como agente econômico de produção que transaciona em um mercado, depende sempre da aplicação de alguma parcela de conhecimento. Nas suas rotinas de busca e de operação, a firma acaba cedo ou tarde por cristalizar uma estrutura tecnológica que lhe dá sustentação. Essa estrutura, arranjo lógico forjado pela *práxis* produtiva inerente à natureza desse agente, se não for perene, parece mudar apenas de forma assintótica ao longo do tempo. Tende sempre a se transformar incrementalmente no sentido de um ideal inalcançável de perfeição e simplicidade. Movimento tal que será apenas rompido e, por conseguinte, completamente transformado no evento de uma revolução causada invariavelmente pela introdução de uma nova tecnologia.

Na firma pouco parece permanecer imune a uma revolução tecnológica. Se a natureza da firma é a produção e o seu limite é a coordenação, o meio é invariavelmente a tecnologia. Se essa última muda, todo o entorno é afetado e também se transforma. Como sistema complexo (GRANT, 1996), onde as partes se interligam e se realimentam constantemente, a firma caminha numa trajetória de adaptação, ao longo da qual absorve tudo o que é capaz. Transformando e se transformando a firma prossegue no seu movimento até que seja, de forma derradeira, rejeitada pelo mesmo mercado que um dia no passado lhe deu vida.

Como as firmas usuárias da tecnologia, os setores também se transfiguram com o tempo. Os ciclos econômicos, curtos ou longos, trazem e levam tecnologias do mundo das ideias ao mundo físico. A grande revolução dos tempos atuais, das tecnologias da informação e comunicações não só trouxeram novas gigantes como Apple, Microsoft e Google, como também levaram aos museus antigos dispositivos engenhosos de aplicação quase que universal. Ficou no passado junto com essas tecnologias, hoje obsoletas, a habilidade das pessoas de usá-las, a capacidade de produzi-las, de reproduzi-las, de adaptá-las.

Não é recente o interesse de pesquisadores e estudiosos pela introdução de novas tecnologias. Desde Joseph Schumpeter (SCHUMPETER, 1985),

visionário que desvendou o efeito crucial da mudança tecnológica como força propulsora do crescimento econômico, muito esforço de pesquisa vem descrevendo as firmas na sua busca incessante para atingir e avançar na fronteira do conhecimento. Diversos estudos setoriais buscam enquadrar as firmas em tipologias que determinam a distância que cada uma está para a fronteira tecnológica e o que a fez chegar até onde está. Essa medida é dada em termos do quanto de novos conhecimentos cada firma é capaz de absorver em suas rotinas e do quão rápido ela transmite ao mercado suas novas realizações. A complexidade aumenta com a proximidade da fronteira do conhecimento e se mostra absoluta além dela. São necessárias folgas para adentrar ao desconhecido e, talvez um dia, converter em lucro qualquer prática produtiva diferente.

Entretanto, nesta trajetória das firmas, nem toda incerteza advém do enfrentamento do novo, certamente o fator dominante no esforço de descrição do fenômeno. Nem toda dificuldade parece estar onde se enfrenta o desconhecido. É possível observar arranjos intrincados de produção em setores tradicionais, já maturados pelo tempo, de tecnologia razoavelmente difundida. No âmago de setores lapidados pela história e pela necessidade alheia, reside uma complexidade inerente às suas tecnologias, da qual firma nenhuma parece ser capaz de escapar. Existe sempre um custo perpétuo necessário para se continuar fazendo o que há muito tempo já se faz. Eis o custo da complexidade tecnológica.

Mas, o que é afinal complexidade tecnológica? Por que os setores mais tradicionais não são capazes de eliminar toda complexidade das suas rotinas? Esse resíduo de complicação inerente à forma de produzir é capaz de levar as firmas a desenvolver estruturas semelhantes daquelas presentes quando se busca efetivamente absorver novas tecnologias (visão tradicional de capacidades tecnológicas)?

Parece então que nem toda capacidade tecnológica existente nas firmas se desenvolve em função da busca por novas tecnologias, dado que, a complexidade inerente a alguns produtos e formas de produção requer também a existência de capacidades, ou algo semelhante. Assim, firmas e setores industriais que operam tecnologias tradicionais também apresentam suas capacidades tecnológicas. Sendo que essas capacidades são um reflexo da

complexidade residual dessas tecnologias, que depuradas ao longo do tempo pela inovação incremental, encontram invariavelmente limites intransponíveis para a sua simplificação.

Simultaneamente, nem toda novidade precisa ser complexa só porque é nova. A definição de complexidade tecnológica *absoluta* proposta neste estudo permite enquadrar aquela parcela de novas tecnologias que, embora pouco conhecidas e difundidas, são essencialmente simples. Em suma, o novo não precisa ser necessariamente complexo. O estudo realizado no setor metal mecânico dá indícios da existência de firmas com níveis elevados de capacidades tecnológicas e, ao mesmo tempo, pouca complexidade na tecnologia. Então, a partir da análise realizada sobre a amostra coletada pode-se enunciar principalmente quatro conclusões, tais como:

1. A complexidade tecnológica pode ser descrita através de três fatores principais: Complexidade Interna, Complexidade Externa e Complexidade do *Mix* de Produtos.
2. A relação direta “quanto mais complexidade tecnológica, então mais capacidade tecnológica”, se confirma parcialmente.
3. O fator Complexidade Interna parece ser o mais relevante na previsão das capacidades tecnológicas de uma firma;
4. Um terço do fenômeno é exceção à regra, abrindo a relação entre complexidade da tecnologia e capacidade tecnológica para outras possibilidades.

Sugestões para outros trabalhos

Da reflexão proposta e dos resultados deste estudo, outras perguntas emergem: que distinções existem nas capacidades tecnológicas das firmas que manipulam tecnologias complexas, porém tradicionais? Pode-se afirmar que as firmas que operam com tecnologias complexas são mais bem-sucedidas? Como se dão as capacidades tecnológicas das firmas que detêm tecnologias simples, porém novas? O que inibe melhor a imitação: a novidade ou a complexidade da tecnologia?

Esses e outros questionamentos relacionados à complexidade do conteúdo tecnológico das firmas não parecem estar plenamente esclarecidos. A falta de uma definição precisa de complexidade tecnológica, assim como a ausência de métricas aceitas para a verificação empírica, parece ter contribuído para essa situação e suscitaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, P. M.; STRATHERN, M.; BALDWIN, J. S. Complexity and the limits to learning. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 17, pp. 401–431, 2007.

ALVES, A. C.; ZEN, A. C.; PADULA, A.D. Rotinas, Capacidades e Inovação: um Estudo de Dois Casos no Setor Vitivinícola Brasileiro. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 25., 2010, Vitória. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2010. CD-ROM.

ANDERSON, P. Complexity Theory and Organization Science. **Organization Science**, v. 10, p. 216-232, 1999.

ARTHUR, W. B. *et al.* Complexity and the Economy. **Science**, v. 284, p. 107-109, 1999.

BACCARINI, D. The concept of project complexity: a review. **International Journal of Project Management**, v. 14, pp. 201-204, 1996.

BARNEY, J. B. Resource-based Theories of Competitive Advantage: a ten-year retrospective on the resource-based view. **Journal of Management**, v. 27, p. 643-650, 2001.

BARRAS, R. Towards a theory of innovation in services. **Research Policy**, v. 15, p. 161-173, 1986.

BROWN, S. L.; EISENHARDT, K. M. The Art of Continuous Change: linking complexity theory and time-paced evolution in relentlessly shifting organizations. **Administrative Science Quarterly**, v. 42, p. 1-34, 1997.

CASTRO, A. C. The catching-up of the Brazilian agrifood system: National development strategies, institutions and firms. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 35º, 2007, Recife. **Anais...** Recife (PE) ANPEC, 2007.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Business Research Methods**. 7. ed. McGraw-Hill/Irwin, 2000.

CSETE, M. E.; DOYLE, J. C. Reverse Engineering of Biological Complexity. **Science**, v. 295, p. 1664-1669, 2002.

DAY, G. S.; SCHOEMAKER, P. J. H. Driving Through the Fog: managing at the edge. **Long Range Planning**, v. 37, p. 127-142, 2004.

DESS, G. G.; BEARD, D. W. Dimensions of organizational task environments. **Administrative Science Quarterly**, v. 29, pp. 52-73, 1984.

DOWNING, D.; CLARK, J. **Estatística Aplicada**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

FIERGS – Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul. **Cadastro das Indústrias, Fornecedores e Serviços**. Porto Alegre: Ebge, 2010. CD-ROM.

FIGUEIREDO, P. N. **Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

FLEMING, L.; SORENSON, O. Technology as a Complex Adaptive System: evidence from patent data. **Research Policy**, v. 30, p. 1019-1039, 2001.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behavior. In: DOSI, G. *et al.* **Technical Change and Economic Theory**. Londres: Pinter Publishers, 1988. p. 38-66.

FURTADO, A. T.; CARVALHO, R. Q. Padrões de Intensidade Tecnológica da Indústria Brasileira: um estudo comparativo com os países centrais. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, p. 70-84, 2005.

GALLOUJ, F., WEINSTEIN, O. Innovation in services. **Research Policy**, v. 26, p. 537-556, 1997.

GRANT, R. M. Toward a knowledge-based theory of the firm. **Strategic Management Journal**, v.17, pp. 109-122, 1996.

HAMEL, G.; PRAHALED, C. K. The Core Competence of the Corporation. **Harvard Business Review**, May-June, p. 79-91, 1990.

HANSEN, K. L.; RUSH, H. Hotspots in complex product systems: emerging issues in innovation management. **Technovation**, v. 18, pp. 555-561, 1998.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIR, J. F. *et al.* **Essential of Business Research Methods**. Willey, 2003.

HATZICHRONOGLU, T. Revision of the high-technology sector and product classification, **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, 1997/2, OECD Publishing, 1997.

HENDERSON, R., CLARK, K. B. Architectural Innovation: the reconfiguration of existing. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, p. 9-30, 1990.

HOBDAY, M. Product complexity, innovation and industrial organization. **Research Policy**, v. 26, pp. 689-710, 1998.

HOBDAY, M., RUSH, H., BESSANT, J. Approaching the innovation frontier in Korea: the transition phase to leadership. **Research Policy**, v. 33, pp. 1433-1457, 2004.

HUANG, Y., CHEN, C. The impact of technological diversity and organizational slack on innovation. **Technovation**, v. 30, pp. 420-428, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Anual 2008**. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/empresas/2008/defaulttabzip.shtm>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

KAPSALI, M. Systems thinking in innovation project management: a match that works. **International Journal of Project Management**, v. 29, pp. 396–407, 2011.

KIM, L. Building technological capability for industrialization: analytical frameworks and Korea's experience. **Industrial and Corporate Change**, v. 8, n. 1, p. 11-136, 1999.

LALL, S. Technological capabilities and industrialization. **World Development**, v.20, pp. 165-186, 1992.

McEVILY, S. K., CHAKRAVARTHY, B. The persistence of knowledge-based advantage: an empirical test for product performance and technological knowledge. **Strategic Management Journal**, v. 23, pp. 285-305, 2002.

METCALFE, J. S. Technology and economic theory. **Cambridge Journal of Economics**, v.34, pp. 153-171, 2010.

MOREL, B., RAMANUJAM, R. Through the looking glass of complexity: the dynamics of organizations as adaptive and evolving systems. **Organization Science**, v. 10, n. 3, pp. 278-293, 1999.

MORIN, E., **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2007.

MORIN, E., **O método 1: a natureza da natureza**. Porto Alegre: Sulina, 2005.

NELSON, R. R; WINTER, S. G. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica**. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

NELSON, R. R; WINTER, S. G. Evolutionary theorizing in Economics. **The Journal of Economic Perspectives**, v.16, pp. 23-46, 2002.

NIGHTINGALE, P. The product–process–organisation relationship in complex development projects. **Research Policy**, v. 29, pp. 913–930, 2000.

NOVAK, S., EPPINGER, S. D. Sourcing by design: product complexity and the supply chain. **Management Science**, v. 47, pp. 189-204, 2001.

PANDA, H.; RAMANATHAN, K. Technological capability assessment of a firm in the electricity sector. **Technovation**, v. 16, n. 10, p. 561-588, 1996

PATEL, P.; PAVITT, K. The technological competencies of world's largest firms: complex and path-dependent, but not much variety. **Research Policy**, v.26, p. 141-156, 1997.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, p. 343-373, 1984.

PAVITT, K. Technologies, products and organization in the innovating firm: what Adam Smith tells us and Joseph Schumpeter doesn't. **Industrial and Corporate Change**, v. 7, n. 3, p. 433-452, 1998.

PEINE, A. Understanding the Dynamics of Technological Configurations: a conceptual framework and the case of Smart Homes. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 76, p. 396-409, 2009.

PEREZ, C. Structural Change and Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems. **Futures**, v. 15, p. 357-375, 1983.

PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. The Design Theory Nexus. **MIS Quarterly**, v. 32, p. 731-755, 2008.

SIMON, H. A. **Administrative Behavior**: a study of decision-making processes in administrative organizations. New York: The Free Press, 1997.

SCHUMPETER, J. A. (1912). **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1985. (Os Economistas).

STRUMSKY, D.; LOBO, J.; TAINTER, J. A. Complexity and the Productivity of Innovation. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 27, p. 496-509, 2010.

THOMAS, J.; MENGEL, T. Preparing Project Managers to Deal with Complexity: advanced project management education. **International Journal of Project Management**, v. 26, pp. 304-315, 2008.

THOMPSON, J. D.. **Dinâmica organizacional**: fundamentos sociológicos da teoria administrativa. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1976.

TORRES, C. V.; ALLEN, M. W. Influência da cultura, dos valores humanos e do significado do produto na predição de consumo: Síntese de dois estudos multiculturais na Austrália e no Brasil. RAM. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 10, p. 127-152, 2009.

TUSHMAN, M. L.; ANDERSON, P. Technological Discontinuities and Organizational Environments. **Administrative Science Quarterly**, v. 31, p. 439-465, 1986.

ULRICH, K. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy**, v. 24, p. 419-440, 1995.

UTTERBACK, J. M., ABERNATHY, W. J. A dynamic model of process and product innovation. **Omega**, v. 3, pp. 639-656, 1975.

VESTERBY, V. Measuring Complexity: things that go wrong and how to get it right. *E:CO*, v. 10, n. 2, 90-102, 2008.

VIDAL, L., MARLE, F., BOCQUET, J. Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Project Management**, In Press, Corrected Proof, Available online 29 September 2010.

WILLIAMSON, O. E. Transaction-Cost Economics: the governance of contractual relations. **Journal of Law and Economics**, v. 22, p. 233-261, 1979.

WILLIAMSON, O. E. **The Economic Institutions of Capitalism**. New York: Free Press, 1985.

WILLIAMSON, O. E. Transaction Cost Economics: the natural progression. **Journal of Retailing**, v. 86, p. 215-226, 2010.

WONGLIMPIYARAT, J. Does Complexity Affect the Speed of Innovation? **Technovation**, v. 25, p. 865-882, 2005.

ZAWISLAK, P. A relação entre conhecimento e desenvolvimento: essência do progresso técnico. **Análise**, v. 6(1), pp. 125-149, 1995.

ZAWISLAK, P. A. Uma abordagem evolucionária para a análise de casos de atividade de inovação no Brasil. **Ensaio FEE**, v. 17, p. 323-354, 1996.

ZHOU, K. Z., WU, F. Technological capability, strategic flexibility, and product innovation. **Strategic Management Journal**, v. 31, pp. 547-561, 2010.

APÊNDICE A – Questionário**Parte I**

As perguntas, a seguir, se referem somente a esta unidade de produção, desconsidere as demais no caso da sua empresa ter outras unidades.

1. Quantos funcionários estão diretamente envolvidos com a produção?

2. Quantos níveis hierárquicos existem na área de produção?

3. Quantas linhas de produtos são fabricadas nesta unidade?

4. Aproximadamente, quantos produtos diferentes estão cadastrados no estoque de saída?

5. Em quantas etapas o processo produtivo do seu principal produto pode ser dividido?

6. Com quantos fornecedores de matéria prima a empresa trabalha regularmente?

7. Quantas empresas prestadoras de serviços estão envolvidas diretamente com a produção?

8. Quantas empresas prestadoras de serviços estão envolvidas com a distribuição dos produtos da empresa?

Para responder as próximas questões considere o PRINCIPAL PRODUTO fabricado nesta unidade e tente se lembrar de como foi o desenvolvimento deste produto.

9. Quantas pessoas são necessárias para desenvolver um novo produto?

10. Quanto tempo dura, em média, o desenvolvimento de um novo produto?

11. Quantas partes têm o principal produto desta fábrica?

Quanto aos projetos de desenvolvimento:

12. São acompanhados formalmente com cronogramas e indicadores de desempenho.

01. 02. 03. 04. 05.

13. As previsões de término e os custos dos projetos são acompanhados pela direção.

01. 02. 03. 04. 05.

14. São comuns as parcerias com os clientes para o desenvolvimento dos produtos.

01. 02. 03. 04. 05.

15. São comuns as parcerias com universidades ou institutos de pesquisa para o desenvolvimento dos produtos.

01. 02. 03. 04. 05.

16. O governo e os agentes regulatórios têm influência no desenvolvimento dos produtos.

01. 02. 03. 04. 05.

Parte II

17. A empresa utiliza depósitos de patentes ou algum outro mecanismo formal de proteção à propriedade intelectual (IP's) para os seus produtos ou partes componentes dos mesmos?

1. Sim
2. Não

Se a resposta for "Não", pule as próximas 3 questões e vá para a questão 21.

18. Com que frequência estes mecanismos são utilizados?

1. Sempre que se desenvolve um novo produto ou componente
2. Na maioria das vezes que se desenvolve um novo produto ou componente
3. Às vezes
4. Raramente

19. Quais os mecanismos utilizados (múltipla):

1. Patente de invenção
2. Patente de modelo de utilidade
3. Registro de desenho industrial
4. Outro. Qual:

20. Quantos depósitos de patentes foram solicitados pela empresa nos últimos 5 anos?

21. A empresa se utiliza de pesquisas de mercado durante o desenvolvimento dos seus produtos?

1. Sim
2. Não

Se a resposta for "Não", pule a próxima questão e vá para a questão 23.

22. As pesquisas de mercado são realizadas:

1. Pela própria empresa
2. Pela empresa em parceria com terceiros (institutos de pesquisa, universidades)
3. Por terceiros

23. A empresa se utiliza de pesquisas científicas durante o desenvolvimento dos seus produtos?

1. Sim
2. Não

Se a resposta for "Não", pule a próxima questão e vá para a questão 25.

24. As pesquisas científicas são realizadas:

1. Pela própria empresa
2. Pela empresa em parceria com terceiros (institutos de pesquisa, universidades)
3. Por terceiros

25. Na média, que percentual do faturamento da empresa foi investido no desenvolvimento de novos produtos, processos ou tecnologias nos últimos 5 anos?

%

26. Quantos produtos novos a empresa lançou nos últimos 5 anos?

27. Quantas pessoas participam do processo de desenvolvimento de produtos, processos ou tecnologias?

28. Das pessoas que participam do processo de desenvolvimento, quantas tem cada uma das seguintes qualificações:

Qualificação Profissional	Funcionários Atuando no Desenvolvimento
1. Ensino Médio	<input type="text"/>
2. Nível Técnico	<input type="text"/>
3. Graduação em Engenharia	<input type="text"/>
4. Graduação em outras áreas	<input type="text"/>
5. Pós-graduação ou MBA	<input type="text"/>
6. Mestrado ou Doutorado	<input type="text"/>

Parte III

Dados Gerais da Empresa e do Respondente

29. Ano de fundação da empresa:

30. % de exportações no faturamento:

%

31. Setor e Ramo de atuação:

1. Metalurgia
2. Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos
3. Fabricação de máquinas e equipamentos
4. Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias
5. Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores

32. Faturamento em 2011:

R\$

33. Número de funcionários:

34. Origem do capital:

1. Nacional
2. Estrangeiro
3. Nacional e Estrangeiro

Se Estrangeiro ou Nacional e Estrangeiro. Qual a Origem?

35. Estrutura legal:

1. Sociedade Anônima
2. Sociedade Limitada

36. Nome da empresa:

36. Nº da empresa:

37. Nome do respondente:

38. Cargo do respondente:

39. Formação do respondente:

40. Anos de atividade do respondente na empresa:

41. Anos de atividade do respondente no ramo:

42. Entrevistador: